

ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN STAHLBAUVEREINES



# Stahlbau

*Kundschau*

SONDERHEFT  
ÖSTERREICHISCHE  
STAHLBAUTAGUNG 195  
SALZBURG

# Inhalt

Zum Geleit . . . . .	Seite 1
Zur Eröffnung der Österreichischen Stahlbautagung 1955 . . . . .	Seite 3
Stahlwasserbau . . . . .	Seite 5
Österreichischer Stahlwasserbau . . . . .	Seite 17
Neuere österreichische Druckrohrleitungen und Druckschächte . . . . .	Seite 27
Druckrohrleitungen aus Österreich in aller Welt . . . . .	Seite 101
Die Stahlkonstruktion im neuzeitlichen Krafthausbau . . . . .	Seite 111
Maste aus Stahl bei Übertragungsleitungen . . . . .	Seite 121
Neuzeitliche Wege der Stahlherstellung für den Stahlbau . . . . .	Seite 129
Eigenschaften der Stähle im Druckrohrleitungs- und Stahlwasserbau sowie deren Abnahmebedingungen . . . . .	Seite 137
Schlußwort . . . . .	Seite 150



Titelbild: Blick auf die Druckrohrleitung Reifheck (Laufwerksleitung und Trasse der Speicherstufenleitung, beides links im Bild) mit Überführung der Tauernbahn-Südrampe. Blick auf den Talgrund (eingeschüttete Druckrohrleitung unsichtbar) und auf das Krafthaus Kolbnitz am Ufer der Möll.

# Stahlbau

## Rundschau

Zeitschrift des Österreichischen Stahlbauvereines

**SONDERHEFT: ÖSTERREICHISCHE STAHLBAUTAGUNG 1955**

### *Zum Geleit!*

Mit der Österreichischen Stahlbautagung 1955, der zweiten ihrer Art in Österreich, die vom 22. bis 25. September in Salzburg abgehalten wurde, trat der im November 1954 durch die österreichische Stahlbauindustrie ins Leben gerufene Österreichische Stahlbauverein zum ersten Male an die Öffentlichkeit. Er knüpfte damit an die vom Ausschuß für Stahlbau des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines im Jahre 1952 abgehaltene erste Österreichische Stahlbautagung in Linz an, deren so erfolgreicher Verlauf zeigte, wie sehr Stahlbautagungen in Österreich sinnvoll und wünschenswert sind.

Auch der Stahlbautagung 1955 in Salzburg war ein voller Erfolg beschieden, dies bestätigt die große Teilnehmerzahl aus dem In- und Ausland und das Echo, das die Tagung in der Fachwelt gefunden hat. Mit dem der Tagung zu Grunde gelegten Motto „Der österreichische Stahlbau im Dienste der Energiewirtschaft“ wurde ein Zweig unserer Wirtschaft behandelt, dem heute im In- und Ausland erhöhte Bedeutung beigemessen wird und dem daher besondere Aktualität zukommt.

Die fortschreitende Vergrößerung unserer Industrieanlagen und Produktionsstätten bringt es zwangsläufig mit sich, daß der Ausbau von Energieerzeugungs- und -verteilungsanlagen intensiver betrieben werden muß, um eine ausreichende Versorgung aller Bedarfsträger mit elektrischer Energie zu sichern.

Deshalb sollten die für die Tagung gewählten Themen nicht nur einen möglichst umfassenden Überblick über die Leistungen der österreichischen Stahlbauanstalten auf diesem Gebiet geben, sondern darüber hinaus wurden auch die wichtigsten damit zusammenhängenden technischen und wirtschaftlichen Probleme von namhaften Fachleuten behandelt und die dem Stahlbau in dieser so außerordentlich wichtigen Sparte zufallenden Aufgaben aufgezeigt.

Das vorliegende Heft, ein Sonderheft unserer Schriftenreihe „Stahlbau-Rundschau“, bringt nun ungekürzt alle auf der Stahlbautagung 1955 in Salzburg gehaltenen Vorträge und in zusammengefaßter Form die im Anschluß an die einzelnen Vorträge stattgefundenen Aussprache.

Wir hoffen und wünschen, daß durch diese Sonderschrift über unsere Stahlbautagung diese allen Teilnehmern in nachhaltiger Erinnerung bleibt, jenen Freunden im In- und Auslande aber, denen es nicht möglich war, der Tagung beizuwohnen, ein zusammenfassender und lebendiger Eindruck des dort Gesprochenen vermittelt wird.

Der Vorstand des Österreichischen Stahlbauvereines

# Zur Eröffnung der Österreichischen Stahlbautagung 1955

Prof. Dr. Ing. Fritz Reinitzhuber, Vorsitzender des Vorstandes des Österreichischen Stahlbauvereines

Meine Damen und Herren!

Ich habe die Ehre, die Österreichische Stahlbautagung 1955 zu eröffnen, zu der ich Sie im Namen des Vorstandes des Österreichischen Stahlbauvereines herzlich willkommen heiße und Ihnen für Ihr Erscheinen danke.

Ich begrüße insbesondere den Herrn Landeshauptmann Hasenauer des Landes Salzburg, Herrn Bürgermeister Pacher der Landeshauptstadt Salzburg und von den Gründerfirmen unseres Vereines die Herren Generaldirektor Dr. Weitzer, Direktor Dr. Klinger und Direktor Dr. Laschtowiczka.

Ferner begrüße ich den Altpräsidenten des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines, Herrn Generaldirektor Dipl.-Ing. Liebl, den Altmeister des österreichischen Stahlbaues.

Insbesondere begrüße ich noch die Herren Prof. Dr. Beer von der Technischen Hochschule in Graz und Prof. Dr. Sattler von der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg. Wir freuen uns nicht nur sehr, daß Prof. Beer und Prof. Sattler uns die Ehre erwiesen haben, unserer Veranstaltung beizuwohnen, sondern begrüßen es auch, damit Gelegenheit zu haben, ihnen zu ihrem 50. Geburtstag, den sie in diesem Monat feiern, auf das allerherzlichste zu gratulieren.

Ich darf des weiteren die vielen ausländischen Gäste begrüßen aus den Ländern: Belgien, Deutschland, Frankreich, Holland, Italien, Jugoslawien, Saarland, Schweden und Schweiz.

Mit ihnen sind folgende ausländische Organisationen hier vertreten:

Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, Brüssel; Deutscher Stahlbau-Verband, Köln; Walzstahlvereinigung Düsseldorf; Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, Frankfurt/Main; Deutsche Bundesbahnen; Chambre Syndicale des Entrepreneurs de Constructions Métalliques de France, Paris; Schwedische Staatliche Kraftwerksverwaltung, Stockholm; Verband Schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbau-Unternehmungen, Zürich.

Besonders begrüße ich die Vertreter der ausländischen Technischen Hochschulen Berlin-Charlottenburg, Dresden, Karlsruhe, Stuttgart und Ljubljana.

Ich begrüße weiters die Vertreter des Bundesministeriums für Verkehr und verstaatlichte Betriebe, des Bundesministeriums für Handel und Wiederaufbau und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, die Vertreter der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen und der Bundesbahndirektionen, weiters den Präsidenten des Österreichischen Patentamtes sowie Vertreter der Technischen Hochschulen Wien und Graz sowie der Montanistischen Hochschule Leoben und der Hochschule für Bodenkultur in Wien, Vertreter der Landes- und Kommunalbehörden, der Ingenieurkammern sowie der Verbundgesellschaft, der Landes- und Sondergesellschaften der Österrei-

chen Elektrizitätswirtschaft, des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes und des Österreichischen Betonvereines.

Weiterhin begrüße ich die hier anwesenden Herren der Presse. Und nicht zuletzt begrüße ich die Herren aus den Kreisen unserer Mitgliedsfirmen, die heute dieser Sitzung beiwohnen.

Mit dieser Begrüßung möchte ich noch unseren herzlichen Dank an die Herren Vortragenden verbinden, die sich zur heutigen Tagung zur Verfügung gestellt haben, insbesondere Herrn Präsident Dr. Kollbrunner vom Verband Schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbau-Unternehmungen, der sich trotz anderweitiger Verpflichtungen für unsere Tagung frei machen konnte.

Die Österreichische Stahlbautagung 1955 ist die zweite ihrer Art. Während die erste in Linz im Jahre 1952 abgehaltene Stahlbautagung vom Verein der Ingenieure und Architekten in Oberösterreich zusammen mit dem Ausschuß für Stahlbau des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines veranstaltet wurde, wird die heutige Tagung von dem in der Zwischenzeit gegründeten Österreichischen Stahlbauverein veranstaltet.

Gestatten Sie mir daher, daß ich mit ein paar Worten die Gründe, die zur Bildung dieses neuen Vereines führten, hier darlege und Sie mit den Zielen unseres Vereines vertraut mache.

Alle in Österreich am Stahl und dem Stahlbau interessierten Kreise in einer Organisation zusammenzuschließen, wurde schon bald nach Kriegsende von Persönlichkeiten der Wissenschaft und Industrie für notwendig erachtet, so daß es zur Gründung des Stahlbauausschusses im Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein kam.

Die beiden Vorsitzenden dieses Ausschusses, Herr Prof. Girkmann, der leider zufolge seiner angegriffenen Gesundheit heute nicht anwesend ist, und Herr Hofrat Schweda, der wegen dringender dienstlicher Obliegenheiten heute nicht bei uns hier sein kann, haben in dem Ausschuß viel wertvolle Arbeit für den Stahlbau geleistet. Es sei ihnen daher hier von dieser Stelle herzlich gedankt für alles, was sie für den Stahlbau getan haben.

Die Kleinheit unseres Landes mit der verhältnismäßig großen, den Inlandmarkt weit übersteigenden Kapazität der österreichischen Stahlbauindustrie ließ es bei der scharfen Konkurrenz zu anderen Bauweisen zweckmäßig erscheinen, eine Vereinigung auf firmenmäßiger Basis zu schaffen.

Die Firmen Oesterreichisch-Alpine Montangesellschaft, Wien, Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke A. G., Linz, und Waagner-Biró A. G., Wien-Graz, als Gründerfirmen zusammen mit 26 anderen Firmen haben sich daher im November vergangenen Jahres zum Österreichischen Stahlbauverein zusammengeschlossen.

Während der Stahlbauausschuß im Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein rein tech-

nisch-wissenschaftliche Zielsetzungen hat, sind die Zielsetzungen des Österreichischen Stahlbauvereines allgemeiner Art. Der Verein hat sich zur Aufgabe gestellt, für die Verbreitung der Stahlbauweise zu wirken und sie in jeder Hinsicht zu fördern. Aber auch bei der Lösung wissenschaftlicher Aufgaben wollen wir, soweit es uns möglich ist, mithelfen und mitwirken. Mit Persönlichkeiten und Institutionen ähnlicher Zielsetzung soll zusammengearbeitet werden, um so die für den technischen Fortschritt notwendige Verbindung zwischen Theorie und Praxis enger zu gestalten.

Gestatten Sie mir nun, noch einiges zum Motto, das wir dieser unserer heutigen Tagung zugrundegelegt haben, zu sagen:

Wir haben die Tagung unter das Motto „Der österreichische Stahlbau im Dienste der Energiewirtschaft“ gestellt.

Von der Fülle der Sparten, die der Stahlbau umfaßt, dem Hoch- und Brückenbau, Mastbau, Kranbau, Behälter-, Kessel- und Rohrleitungsbau und nicht zuletzt dem Stahlwasserbau, haben in Österreich die klassischen Sparten des Stahlbaues, nämlich der Hoch- und Brückenbau, gegenüber den anderen Sparten nicht mehr ganz dieselbe Bedeutung wie zu den Zeiten, wo der Stahlbau groß wurde. Es ist eine Verschiebung des Schwerpunktes von den klassischen Sparten des Stahlbaues, dem Hoch- und Brückenbau, zu anderen Sparten eingetreten.

Dies liegt wohl hauptsächlich daran, daß in Österreich heute die Bauaufgaben weniger am Sektor des Verkehrs und des Städte- bzw. Industriebaues liegen, sondern vielmehr am Energiesektor. Dazu kommt, daß in Österreich die Anlageverhältnisse im Brücken- und Hochbau zu keinen Rekorden zwingen, bei uns haben die Ströme keine solchen Breiten, daß wir Brücken mit überdimensionalen Spannweiten bauen müßten, die Preise des Bodens in den Städten sind nicht so hoch, daß der Bau von Wolkenkratzern aus wirtschaftlichen Gründen notwendig sein würde. Wohl aber haben wir bei uns die hohen Alpen und wasserreichen Flüsse mit den vielen noch unausgenützten Wasserkräften.

Was lag also näher, als diese Sparten, die wir nun vordringlich zu betreiben haben und die manchem unserer älteren Stahlbauer noch fremd sind, in einer Stahlbautagung herauszustellen.

Welche Bedeutung für den österreichischen Stahlbau die österreichische Energiewirtschaft und umgekehrt für die österreichische Energiewirtschaft der österreichische Stahlbau haben, mögen ein paar Zahlen aufzeigen:

Die ausbauwürdigen Wasserkräfte Österreichs werden auf 40 Mrd. kWh im Regeljahr beziffert. Die derzeitige Jahresproduktion an elektrischer Energie beträgt dagegen erst 10 Mrd. kWh, wovon etwa 2,5 Mrd. kWh aus kalorischen Kraftwerken stammen. Es ist also nicht einmal ein Viertel der österreichischen Wasserkräfte ausgenutzt, mehr als drei Viertel harren noch der Erschließung.

Rechnet man nun aus den modernen, zuletzt gebauten österreichischen Kraftwerken den Bedarf an Stahlkonstruktionen zurück, so kommt man auf Werte, die je nach den Anlageverhältnissen recht verschieden sind und zwischen 500 t bis 2000 t

Stahlkonstruktion je 100 Mill. kWh schwanken. Wird im Durchschnitt mit 1000 t Stahlkonstruktion je 100 Mill. kWh gerechnet, so heißt dies, daß beim Bau von Kraftwerken mit einem jährlichen Arbeitsvermögen von 10 Mrd. kWh etwa 100.000 t Stahlkonstruktion notwendig wären.

Nun sind aber nicht 10 Mrd. kWh, sondern noch mehr als 30 Mrd. kWh in Österreich ausbauwürdig. Das heißt, es wären noch 300.000 t Stahlkonstruktion notwendig, wenn es zum Vollausbau der österreichischen Wasserkräfte kommt.

Welch enorme Menge an Stahlkonstruktion dies ist, zeigt die folgende Vergleichsziffer. Es wiegen z. B. die stählernen Überbauten der gesamten Eisenbahnbrücken Österreichs 140.000 t, also nicht einmal die Hälfte der vorhin errechneten 300.000 t Stahl, die unsere künftigen Wasserkraftwerke beim Vollausbau an Stahlkonstruktionen noch benötigen. Dabei ist die jährliche Produktion unserer österreichischen Stahlbauanstalten einschließlich der neu eingegliederten USIA-Betriebe nur etwa 70.000 bis 80.000 t.

Bedenkt man, daß der österreichische Stahlbau auch noch die anderen Sparten des Stahlbaues zu befriedigen hat, daß er außerdem entsprechend der Exportgebundenheit der österreichischen Wirtschaft auch in erheblichem Maße exportieren soll, sich in den nächsten Jahren an den österreichischen Reparationslieferungen nach Rußland wird beteiligen müssen, so braucht man kein Prophet zu sein, um zu sagen, daß dem österreichischen Stahlbau noch wirklich große Aufgaben bevorstehen.

Und selbst wenn es nicht zum Vollausbau der österreichischen Wasserkräfte käme, sondern schon früher zum Bau von Atomkraftwerken, so braucht uns um den Stahlbau erst recht nicht bang zu sein, denn in den Atomkraftwerken steckt auch noch genug Stahl, vielleicht noch mehr als in den Wasserkraftwerken.

Bevor ich nun schließe, noch ein paar Worte zu Salzburg, dem Ort unserer heutigen Tagung.

Daß wir in Salzburg tagen, hat vor allem zwei Gründe: Zunächst wollen wir unsere Tagung an einem Ort abhalten, der für Exkursionen zu interessanten Bauten, die in Verbindung mit dem Motto unserer Tagung, also der Energiewirtschaft, stehen, günstig liegt. Und dies trifft wohl für Salzburg im besonderen Maße zu. Das Kraftwerk Jochenstein als Niederdruckanlage und das Hochdruckspeicherwerk Kaprun, beides modernste Kraftwerke, liegen zu Salzburg günstig.

Zum anderen wollten wir aber auch den vielen ausländischen Teilnehmern — es ist nahezu ein Drittel der Teilnehmer aus dem Ausland — etwas von einem unserer schönsten Teile Österreichs zeigen, und dies ist wohl Stadt und Land Salzburg.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich noch Stadt und Land Salzburg, aber auch der Donaukraftwerke Jochenstein A. G. und der Tauernkraftwerke A. G. für ihre Hilfe und Unterstützung bei den Vorbereitungen für unsere Tagung recht herzlich danken.

Damit schließe ich meine einleitenden Ausführungen und komme zurück auf die eigentlichen Aufgaben des heutigen Tages, an dem es ein umfangreiches Programm abzuwickeln gibt.

Ich bitte nun als ersten Redner Herrn Präsident Kollbrunner das Wort zu ergreifen.

# Stahlwasserbau

Von Dr. sc. techn. C. F. Kollbrunner, Präsident des Verbandes Schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbau-Unternehmungen

## I. Einleitung

Eines der interessantesten Gebiete des Stahlbaues ist der Stahlwasserbau, d. h. die Konstruktion von Stahlbauten, die in direkte Berührung mit dem Wasser kommen. Die wichtigsten Stahlwasserbauten sind die Schützen, d. h. die beweglichen Wehrverschlüsse.

Die fortschreitende Entwicklung der Theorie auf dem Gebiete der Festigkeitslehre und der Hydromechanik, die neuesten Ergebnisse der Schweißtechnik, wie auch die großen Erfahrungen, die im Materialprüfungswesen und bei hydraulischen Versuchen gesammelt wurden, ermöglichen es heute dem Ingenieur, seine Konstruktionen nicht nur besser, sondern auch bedeutend wirtschaftlicher zu gestalten, als dies nach dem zweiten Weltkrieg, d. h. vor zirka zehn Jahren der Fall war. Dank den ausgezeichneten Eigenschaften des Stahls, wie hohe und gleichmäßige Festigkeit, Elastizität und Zähigkeit, eignet sich dieser Baustoff wie kein anderer für die Herstellung von Schützen. Da der Stahl ein homogener und isotroper Baustoff gleichmäßiger Güte ist, sind die Voraussetzungen der Berechnungen weitgehend erfüllt, so daß der innere Kräfteverlauf zutreffend erfaßt werden kann.

Da beim Stahlwasserbau gegenüber den anderen Stahlbauten als weiteres Medium das Wasser mit seinen statischen und dynamischen Eigenschaften und seinen Kraftwirkungen zu berücksichtigen ist, müssen die Stahlwasserbauer die mathematischen Grundlagen der Hydromechanik (Hydrostatik und Hydrodynamik) wie auch die versuchsmäßigen Erfahrungen der Hydraulik beherrschen. Dabei wird, um die den Wehrkonstrukteur interessierenden Probleme einer theoretischen Erfassung zugänglich zu machen, mit zweidimensionalen Strömungen gerechnet. Dies sind Flüssigkeitsbewegungen, bei welchen sich die einzelnen Teilchen nur parallel einer Ebene verschieben, so daß alle Phänomene in zu einer Ausgangsebene parallelen Ebenen identisch sind. In Wirklichkeit kommen diese idealisierten Strömungen zwar nicht vor; zur Berechnung der Schützen ist diese Annahme jedoch nicht nur vorteilhaft, sondern absolut unerlässlich. Korrekturen an den Randgebieten des betrachteten Bereichs können durch nachträglich vorgenommene, genauere Berechnungen berücksichtigt werden.

Das reichhaltige Gebiet des Stahlwasserbauers erfordert nicht nur eine große Kenntnis der notwendigen Hilfswissenschaften, wie Festigkeitslehre, Mechanik, Mathematik, Physik und Chemie, sondern auch ein vertieftes Wissen über die Eigenschaften des Stahls, Betons und Baugrundes. Nur durch Abwägung der Vor- und Nachteile, wie auch des Zusammenwirkens der verschiedenen Baustoffe und von Bauwerk und Baugrund, kann das für einen gegebenen Fall günstigste Projekt durchdacht, skizziert, entworfen, berechnet, ausgezeichnet und verwirklicht werden. Dabei ist es selbstverständlich, daß ein einzelner bei der Vieltätigkeit und Reichhaltigkeit der Anforderungen wie auch der Großzahl der in den verschie-

densten, über die ganze Welt verstreuten Fachzeitschriften erscheinenden Veröffentlichungen nicht auf allen Teilgebieten mit der Zeit Schritt halten und zur restlosen Beherrschung aller Spezialprobleme vordringen kann. Stahlwasserbauten entstehen daher stets durch enge Zusammenarbeit gut aufeinander abgestimmter und eingearbeiteter Fachleute, die einander verstehen, ergänzen und unterstützen.

Schon Lao-Tse hat im 78. Spruch des Tao-Te-King vor über 2500 Jahren folgendes festgehalten:

Auf der ganzen Erde  
gibt es nichts Weicheres  
als das Wasser.  
Und doch in der Art,  
wie es dem Harten zusetzt,  
kommt nichts ihm gleich.

Diese alte chinesische Weisheit wird auch heute nicht bezweifelt. Jeder neue Bau stellt den Stahlwasserbauer vor neue Aufgaben und Probleme. Stets hat er in mühevoller Kleinarbeit den richtigen, wirtschaftlichsten und den den gegebenen Verhältnissen am besten angepaßten Weg zu suchen, zu finden und zu verwirklichen, wobei oft enttäuschende Rückschläge nicht zu vermeiden sind. (Ich denke dabei an die Rückschläge bei der Kontrolle der Nachkalkulationen!)

Schon im Altertum wurden teilweise die Grundgesetze der Hydrostatik entwickelt. Den Ursprung der Hydrodynamik müssen wir jedoch dem großen Universalgenie Leonardo da Vinci zuschreiben, der auf diesem Gebiete sowohl Theoretiker wie Praktiker war und der die Bewegungen des Wasserabflusses scharfsinnig beobachtete. Die Blütezeit der Entwicklung der theoretischen Hydromechanik findet man im 17. und 18. Jahrhundert. Die Beziehungen dieser Wissenschaft zur Praxis stammen aus dem 19. Jahrhundert, hauptsächlich durch Bélanger, Bousinesq, Darcy und Bazin. Diese Forscher betrachteten die Hydraulik als Teil der Mechanik. In dieser Zeit finden wir auch die grundlegenden experimentellen Forschungen über den Abfluß des Wassers.

Der Satz von Bernoulli und die klassischen Euler'schen Bewegungsgleichungen stellen auch heute noch die Grundlagen des Rüstzeuges dar, mit denen man die Erscheinungen des Wasserabflusses zu erfassen versucht.

Mit der zunehmenden Entwicklung der Wasserbauten, wie auch mit den stets wachsenden Anforderungen, den vielfältigen Unstetigkeiten des Wasserabflusses bei Wehren, konnte diese Entwicklung jedoch nicht Schritt halten, war es doch unmöglich, die Berechnungen mit einfachen Ansätzen durchzuführen. Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts wurde daher die Hydraulik zu einer reinen Erfahrungswissenschaft ausgebaut.

Diese Zeit entwickelte sich zur Blütezeit der empirischen Bewerte und der Erfahrungsformeln, die in großer Zahl für ein und denselben Vorgang des Wasserabflusses aufgestellt wurden und deren Aufbau mit den wirklichen Vorgängen

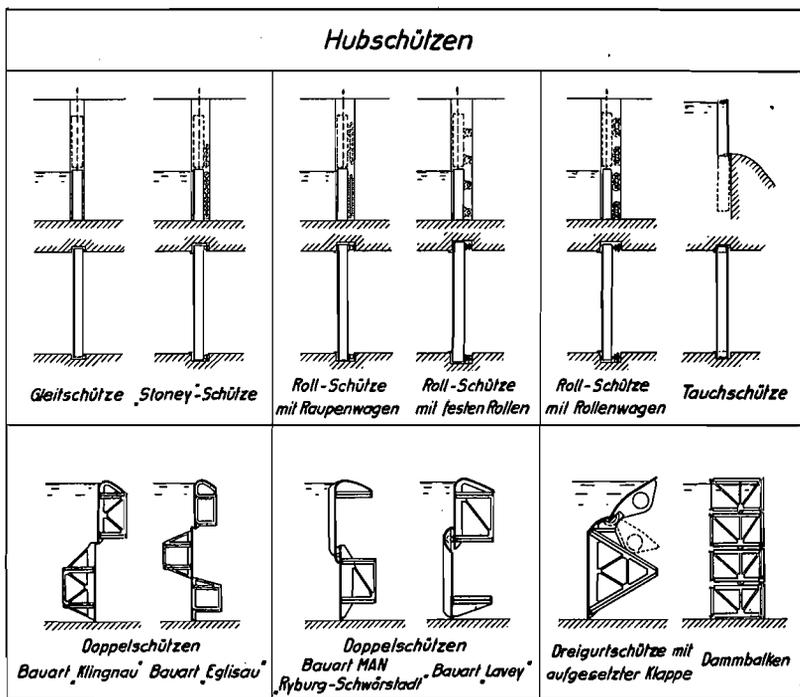


Bild 1: Hubschützen

Bild 2: Segment- und Sektorschützen mit gewölbtem Staublech

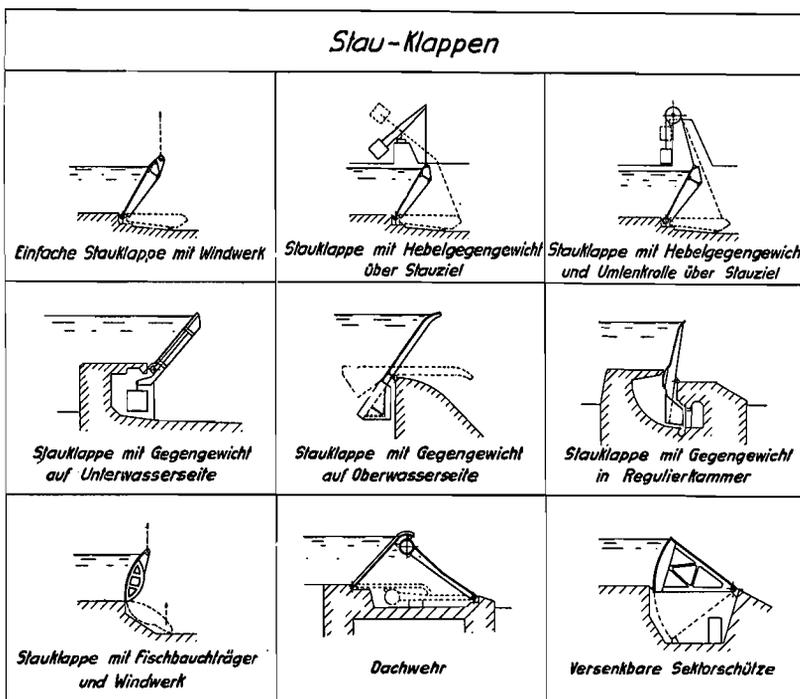
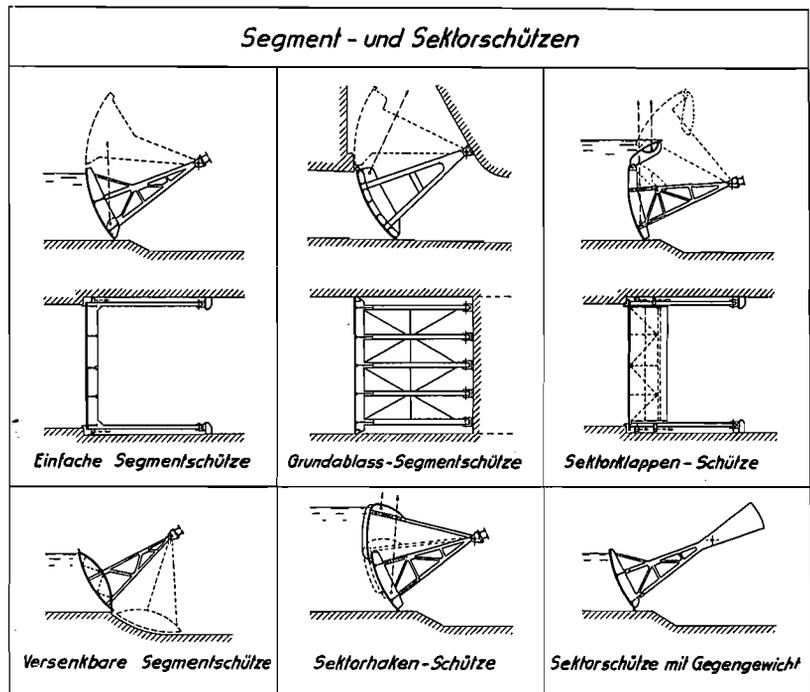
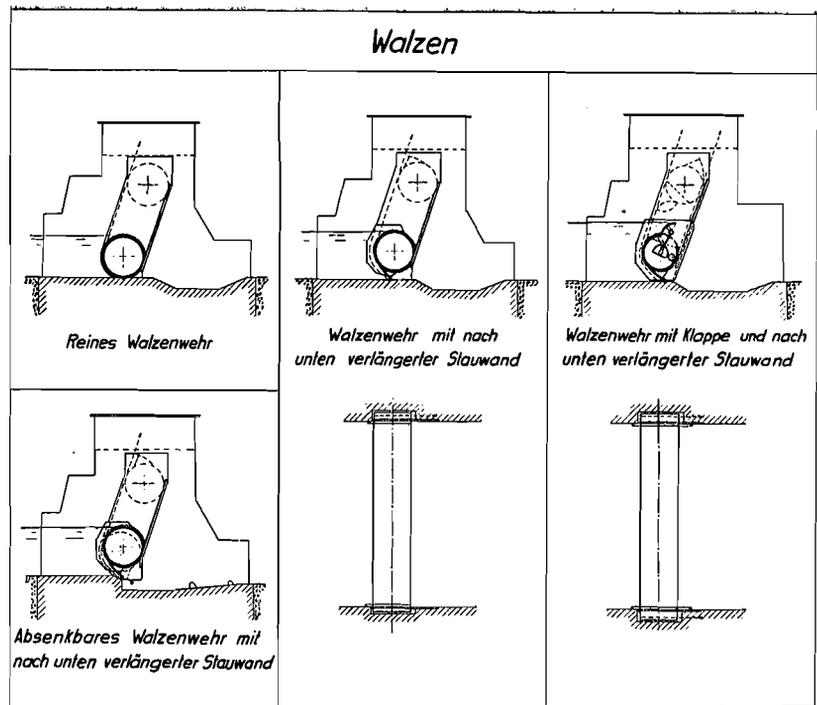


Bild 3: Klappenschützen mit ebenem oder gewölbtem Staublech

Bild 4: Walzenschützen



oft nur einen sehr kleinen Zusammenhang hatte und den theoretischen Grundgesetzen der Hydro-mechanik nicht entsprach. Die neuzeitlichen Forscher (Theoretiker und Praktiker) mußten diese Formeln wieder aus der Literatur ausmerzen und ihre Benutzung in der Praxis auf das unbedingt notwendige Maß einschränken.

Währenddem zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine weite Kluft zwischen der theoretischen Grundwissenschaft der Hydromechanik und ihrer praktischen Anwendung im Wasserbau bestand, viele Wasserbauer eine rein theoretisch fundierte Behandlung eines Problems ablehnten und auf die aus ihren praktischen Erfahrungen gewonnenen empirisch-statischen Erkenntnisse schworen, haben sich heute die Theoretiker und Praktiker zur gemeinsamen Arbeit zusammengefunden.

Noch vor zirka 50 Jahren führten die Theoretiker und Praktiker ein völlig getrenntes Dasein. Damals standen auf der einen Seite die Forscher, d. h. diejenigen Ingenieure, die Versuche aus den Laboratorien und Großversuche auswerten und die alle hydraulischen Probleme versuchsmäßig erklären wollten. Sie fühlten sich auf Grund ihrer Versuche, Erfahrungen und Erkenntnisse verpflichtet, auf die bestehenden Widersprüche zwischen Versuchsergebnissen und Theorie hinzuweisen. Auf der anderen Seite standen die Theoretiker, welche die mathematische Allgemeingültigkeit der theoretischen Ableitungen bewiesen und gegen die Einwände der Forscher zu verteidigen suchten.

Zwischen den Forschern und den Theoretikern steht jedoch die große Zahl der praktischen Ingenieure, welche Stahlwasserbauten zu berechnen und auszuführen haben und die für die Bauten die volle Verantwortung übernehmen müssen.

Die wissenschaftliche Forschung, die Durchführung von Versuchen führten zu neuen Erkenntnissen und Einsichten, wie auch zu einer Ver-

mehrung des Wissens über Tatbestände, Naturgesetze und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Baustoffen und zwischen Wasser und Schütze. Die streng mathematische Theorie gibt die Grundlage, auf der die Berechnungen aufgebaut werden können, wobei für die stark variierenden Wasserabflußprobleme stets weitgehende Vereinfachungen angenommen werden müssen. Nur wenn die Theorie mit der wissenschaftlich durchgeführten, jedoch von den Praktikern vorgeschriebenen Versuchsforschung koordiniert wird, kann tieferer Einblick in die vielfältigen Probleme des Stahlwasserbaues erlangt werden, kann man die Bauwerke den örtlichen Verhältnissen anpassen, einordnen, berechnen und ökonomisch bauen.

Die modernen Schützen mit Spannweiten von teilweise 30 bis 45 m stellen an die Berechnung grundsätzlich neue, verfeinerte Ansprüche; Ansprüche, die die empirische Hydraulik nicht zu vermitteln vermochte, sondern die nur durch rein theoretische Abklärung der Probleme, verbunden mit wissenschaftlich durchgeführten Versuchen, befriedigt werden konnten. Heute werden alle mathematisch nicht erfahrbaren Wasserbauprobleme durch Modellversuche abgeklärt. Diese Modellversuche stellen eine wissenschaftlich fundierte und praktisch erprobte Umgehung der meisten Schwierigkeiten dar.

Neben den Modellversuchen mußte nach Berechnungsmethoden gesucht werden, die nur in engster Anlehnung der technischen Hydraulik an die Hydromechanik zu finden waren. Dabei waren mannigfache und einschneidende Vereinfachungen notwendig. Nach vielen zu komplizierten Methoden gelang es, die Potentialtheorie für den praktischen Gebrauch zu vereinfachen, so daß die Potential- und Stromlinien ohne allzu umfangreichen mathematischen Aufwand für das durch die Randbedingungen vorgeschriebene Strömungsfeld bestimmt werden konnten.

Die praktische Hydraulik sucht seit zirka zwanzig Jahren eine immer stärkere Anlehnung an die Hydromechanik, kann doch nur durch Praxis und Theorie zusammen die Erkenntnis der Wahrheit erforscht werden. Zudem müssen für komplizierte Probleme Modellversuche durchgeführt werden. Diese dienen dazu, Klarheit über verwickelte Probleme zu erhalten und geben eine Kontrolle der Berechnungen. Immer sollen aber die Versuche nur ein Hilfsmittel darstellen, allerdings ein Hilfsmittel, auf welches oft nicht verzichtet werden kann. Stets ist es grundsätzlich richtiger, zunächst den durch die Theorie ermittelten Strömungsverlauf festzulegen und diesen, wenn nötig, durch empirische Beiwerte zu korrigieren, als von Anfang an eine empirische Formel zu benutzen.

Die Lösung der hydraulischen Probleme muß den jeweiligen vorhandenen Verhältnissen ange-

Bild 5 a und 5 b: Seitendichtung aus Gummi

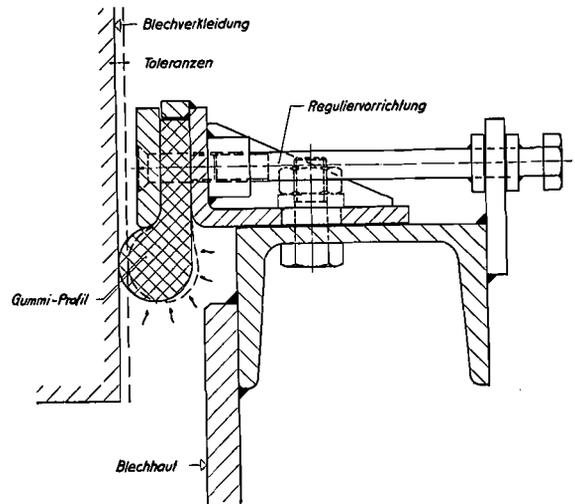
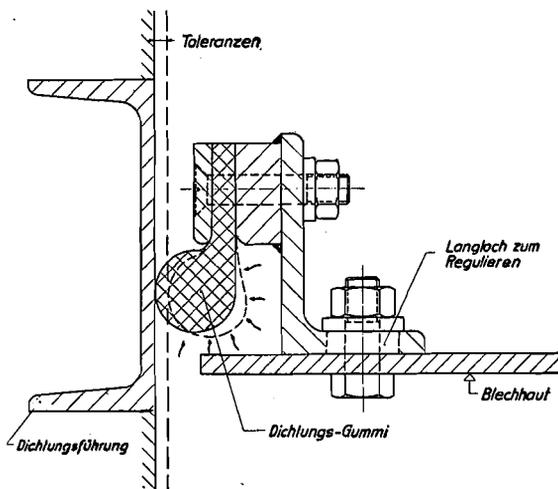
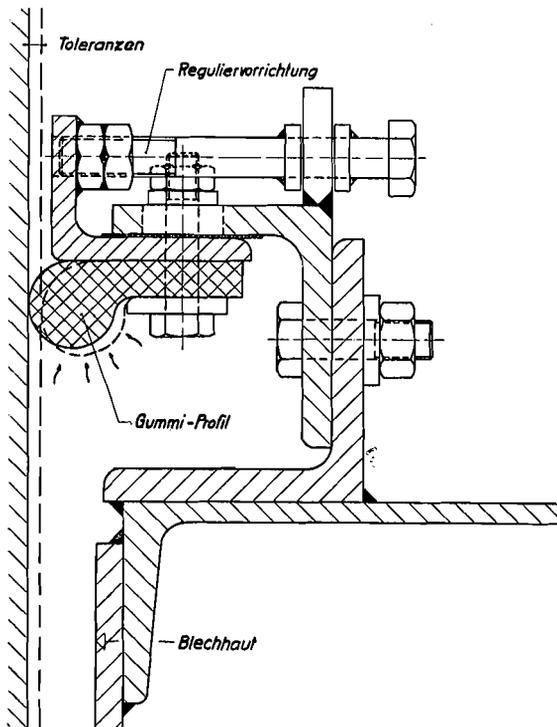


Bild 6: Seitendichtung aus Gummi

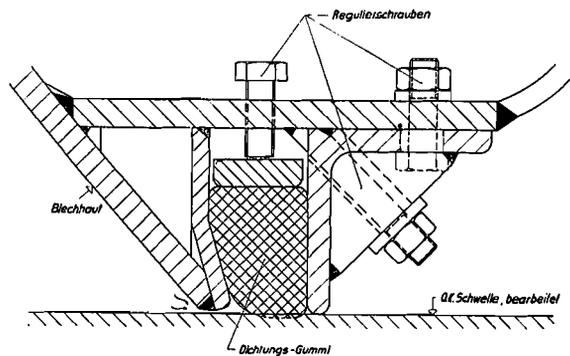


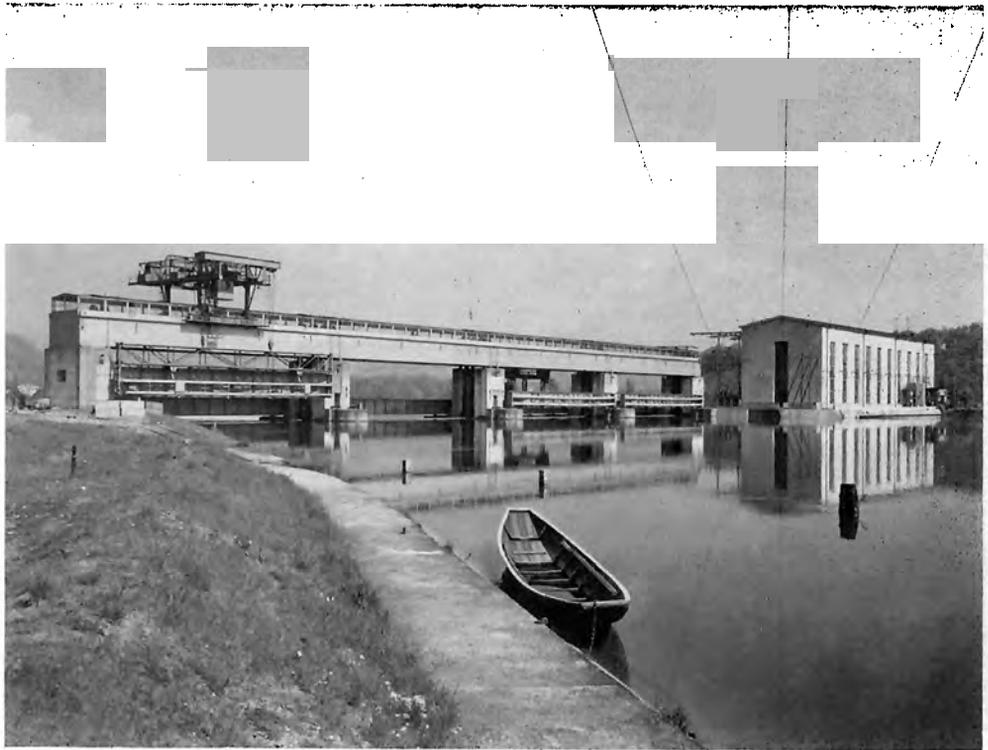
Bild 7: Sohlendichtung aus Gummi

paßt werden. Die Wahl der Spannweite der Öffnungen und der Stauhöhe ist durch primäre Gesichtspunkte bestimmt. Da beim Schützenbau im allgemeinen große Abmessungen vorkommen und daher die Kostentfrage größtes Gewicht besitzt, müssen folgende drei Forderungen begleitend berücksichtigt werden:

1. Maximales Abflußvermögen bei gegebenen Dimensionen der Öffnungen (Hochwasser).
2. Größtmögliche Entlastung der Huborgane (Ketten und Windwerke).
3. Einwandfreier Betrieb zu jeder Zeit (Vermeidung von Schwingungen und Vereisung).

Bei der Wahl eines beweglichen Wehrverschlusses sind neben den primären Forderungen des Betriebes und des Abflußregimes weitgehend wirtschaftliche Gesichtspunkte maßgebend. Da die Huborgane jedes Schützentyps im Einheitspreis allen anderen Kostenanteilen weit voranstehen, kommt einer sparsamen und doch stets betriebssicheren Bemessung der mechanischen und elektrischen Ausrüstung sehr große Bedeutung zu. Daß dabei die Größe der Aufzugs- und Absenkkräfte der Windwerke eine entscheidende Rolle spielt, ist offensichtlich. Schon die Hubketten allein stellen bei großen Öffnungen einen beträchtlichen Teil der Kosten eines Windwerkes dar. Da aber die Hubgeschwindigkeiten im allgemeinen innerhalb relativ engen Grenzen gehalten werden (und da-

Bild 8: Doppelte  
Rollschützen des  
Kraftwerkes  
Klingnau.  
1932. Aare.  
(4 Öffnungen)  
L. W. = 30,0 m  
Höhe = 7,0 m  
Ansicht vom  
Oberwasser



mit bei gegebener Aufzugskraft die erforderliche Leistung der Windwerke), ist dieser Einfluß auf die Kosten der Windwerke nicht bedeutend. Es hat sich zudem gezeigt, daß innerhalb der üblichen Größenverhältnisse, d. h. 50 bis 300 t Aufzugskraft, die Kosten der Windwerke inklusive Ketten einigermaßen proportional der Größe der Hubkräfte verlaufen.

Eine technisch einwandfreie Bemessung der Konstruktion der Winden und Ketten bedingt die möglichst genaue Kenntnis des Verlaufes der angreifenden Kräfte im ganzen Hub- und Absenkbereich, genügt doch die Kenntnis der Grenzwerte dem Windwerkslieferanten höchstens für ein generelles Vorprojekt.

Dabei bin ich mir bewußt, daß es in der Natur aller ähnlichen Probleme des Stahlwasserbaues liegt, daß die statischen und dynamischen Berechnungen mit einem heute noch relativ hohen Grad an Unsicherheit und Zufallseinflüssen behaftet sind. Einerseits rührt das von der unvollkommenen Erfassung der hydrodynamischen Einflüsse, wie z. B. Belüftung und Reibung her, andererseits können auch die Reibungskräfte zwischen Schützen und festen Teilen noch nicht genügend genau berechnet werden. Zudem können Belastungsfälle auftreten, die außerhalb jeder zahlenmäßigen Erfassung der Probleme liegen und unter den Begriff „zufällige Lasten“ fallen. Alle diese Probleme, die auch heute noch nicht streng theoretisch erfaßt und berechnet werden können und für welche noch langjährige Versuche durchgeführt werden müssen, sind jedoch in den Grundlagen durch die jahrzehntelangen Erfahrungen der Stahlwasserbauer teilweise gelöst worden. Es ist heute möglich, Schützen nach den neuesten Erkenntnissen und Erfahrungen leichter und ökonomischer zu konstruieren und trotzdem die notwendige Sicherheit zu gewährleisten.

Die Aufgabe der Windwerke ist es, die Schützen bei Bedarf in einer wirtschaftlich tragbar kurzen Zeit zu heben oder zu senken. Die Betriebssicherheit verlangt, daß diese Bewegungen unter allen möglichen Bedingungen ausgeführt werden können, wie bei erschwerten Verhältnissen, z. B. Hochwasser mit Treibzeug, Eisgang, Vereisung der Schützen etc. Dabei handelt es sich, je nach Schützensausführung, um ein vertikales Herausheben, ein Herausdrehen um eine feste Achse oder um ein Herauswälzen des Verschlusskörpers, d. h. um die Überwindung der bei diesen Vorgängen auftretenden oder möglichen Bewegungswiderstände. Diese Bewegungsarten weisen gleichzeitig auf die Grundtypen der Schützen hin, nämlich:

1. Hubschützen mit vertikaler Stauwand.
2. Segment- und Sektorschützen mit meist kreisförmig gewölbtem Staublech.
3. Klappenschützen (Stauklappen) mit ebenem oder gewölbtem Staublech.
4. Walzenschützen.

Das für eine bestimmte Anlage zweckmäßigste Schützensystem ist von Fall zu Fall im Zusammenhang mit den hydraulischen und tiefbaulichen Belangen zu bestimmen.

In Bezug auf die Wirkungsweise von Doppelschützen und der entsprechenden Huborgane muß stets zwischen kombiniertem und getrenntem Antrieb unterschieden werden. Im ersten Fall werden beide Schützenkörper (obere und untere Schütze) einer Öffnung durch eine einzige Antriebsgruppe und je einen zusammenhängenden Kettenstrang pro Nische betätigt, während im zweiten Fall jeder Verschluss teil durch einen eigenen Antrieb und separaten Kettenstrang bewegt wird. Beim kombinierten Antrieb muß beim Heben des Schützenpaketes die Summe aller Widerstände beider Schützenkörper gezogen werden, während die

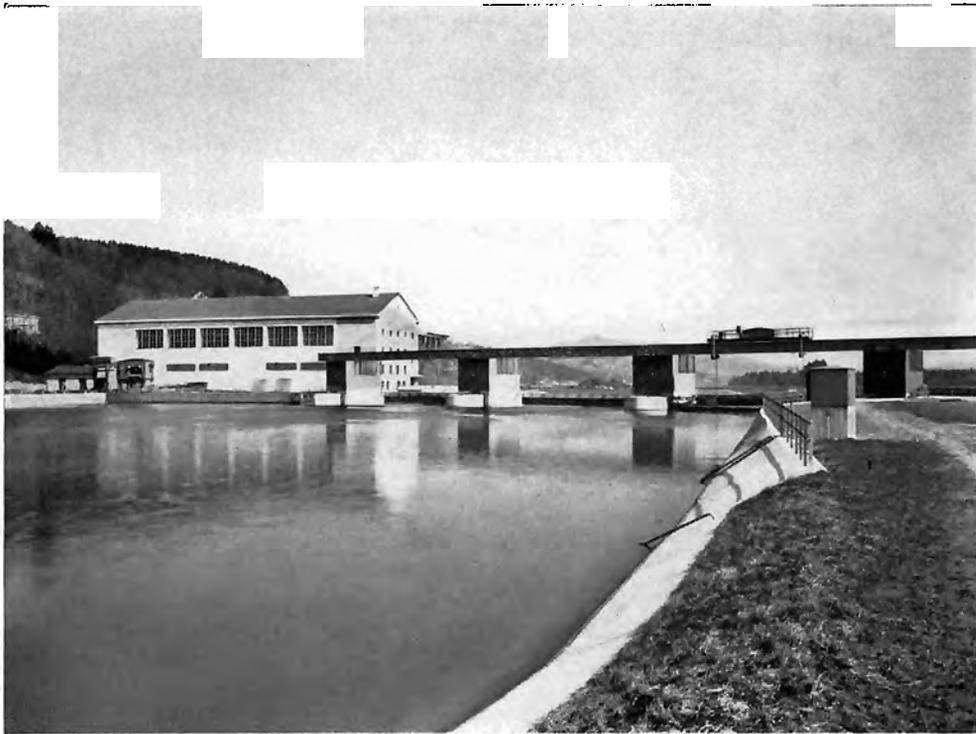


Bild 9: Sektor-Hakenschützen des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein. 1943.  
Aare.  
L. W. = 22,0 m  
Höhe = 8,0 m  
Ansicht vom Oberwasser

Kettenkraft pro Strang gleich der Hälfte dieser Summe ist und die Hubgeschwindigkeit des Schützenpaketes bei gleicher Tourenzahl des Ritzels nur die Hälfte derjenigen der oberen Schütze wird. Grundsätzlich sind stets folgende Einflüsse der Bewegungswiderstände zu untersuchen und zu superponieren:

1. Eigengewicht der Schütze.
2. Kräfte, verursacht durch den Druck des ruhenden Wassers.
3. Kräfte, verursacht durch das strömende Wasser.
4. Reibungen.
5. Zufällige oder unvorhergesehene Widerstände.

## II. Grundprinzipien der Schützen

Grundprinzip der Schützen ist, daß dieselben in der Abschlußlage gut dichten. Dabei müssen die Dichtungen so ausgebildet sein, daß sie bei Bewegung der Verschlusskörper einem möglichst geringen Verschleiß unterworfen sind und die Bewegungskräfte nur unwesentlich beeinflussen. Zudem muß der Wehrverschluss in jeder Lage den auf ihn einwirkenden Wasserdruck aufnehmen und ohne Schwingungen in seiner Position verharren können. Der über oder unter dem Verschlusskörper durchfließende Wasserstrahl darf sich auf die Wehrschwelle und das anschließende Flußbett nicht nachträglich auswirken, d. h. es darf keine Beschädigung der Wehrschwelle, noch unerwartete Kolkbildung im Flußbett auftreten. Daß solche Schäden nicht mehr entstehen können, ist der jahrzehntelangen engen Zusammenarbeit von Stahlwasserbauer, Tiefbauingenieur, Betriebsingenieur, Hydrauliker und Geologe zuzuschreiben.

Von Flußregulierwehren, wie sie für größere Kraftwerke vorkommen, wird folgendes verlangt:

1. Einhaltung des vorgeschriebenen Staues bei jeder Wasserführung.

2. Betriebssicherheit durch einfache und zuverlässige Bedienung.
3. Kleine Unterhaltskosten.
4. Unauffälliges Einfügen in die Landschaft.

Dabei dürfen die Stauwehrverschlüsse, d. h. die Schützen, nicht für sich allein beurteilt werden. Die gesamte Wehranlage, angefangen von den Fundamenten bis zu den mechanischen Teilen und zum Maschinenhaus, muß ein organisches Ganzes bilden.

## III. Konstruktion der Schützen

Die Schützenkonstruktionen sollen möglichst aus einfachen, gut zugänglichen Profilen bestehen und eine hydraulisch einwandfreie Gestalt aufweisen.

Die Form des Überfallbleches wird so gewählt, daß bei Überströmung keine Teile der Schützen durch den Wasserstrahl getroffen werden und die Wasserauflast, ohne daß dabei am Überfallblech unerwünschte Unterdrücke entstehen, ein Minimum wird.

Meist wird bei Doppelschützen jede Schütze durch ihr eigenes Windwerk unabhängig von der anderen bewegt, so daß alle möglichen Kombinationen zwischen Überströmen und Unterströmen möglich sind. Um ein schädliches Auseinanderfahren der Schützen zu verhindern, werden die Mechanismen gegeneinander verriegelt und gesichert.

Um die Bewegungsmöglichkeit der Schützen zu jeder Zeit, also auch bei sehr tiefen Temperaturen, zu sichern, werden die gegeneinander verschieblichen Teile durch elektrische Heizelemente gewärmt.

Der Schutz der Stahlkonstruktion gegen Korrosion erfolgt auf die gesandstrahlte Fläche durch einen spritzverzinkten Überzug von zirka 1 kg/m<sup>2</sup> mit zusätzlichen 2 bis 3 Deckanstrichen.

Währenddem früher die Schützen vorwiegend als offene Konstruktionen, z. B. als Fachwerkträger

ausgebildet und genietet wurden, haben jetzt die ruhig und ästhetisch wirkenden vollwandigen und geschweißten Konstruktionen mehr und mehr die unterhaltsreichen Fachwerke verdrängt. Durch die Schweißverbindungen wird das Gewicht der Schütze verringert, ein hydraulisch günstiges Profil (ohne Nietköpfe) erzielt und der Korrosion entgegengewirkt (keine Fugen und Kanten). Diese Schützen bedingen eine im technischen Büro entwickelte sachgemäße Schweißkonstruktion, eine gründliche Materialkenntnis, die Wahl der für die betreffenden Stahlsorten günstigsten Elektroden, einen planmäßigen Schweißvorgang, der die Schrumpfspannungen auf ein Minimum reduziert, und eine langjährige Handfertigkeit der Schweißer.

Da basische Elektroden bessere Gütewerte der Schweißnähte ergeben als saure Elektroden, somit eine erhöhte Sicherheit gegen Spröd- und Trennbruch erzielt wird, und außerdem bei Stählen mit höheren Kohlenstoffgehalten noch rißfest und bei Stählen mit höheren Schwefelgehalten noch porenfrei gearbeitet werden kann, werden die Schweißnähte der Schützen heute meist folgendermaßen ausgeführt:

Alle Nähte in den Druckzonen werden mit sauren, alle Nähte in den Zugzonen in den Grundläufen mit basischen und im Decklauf mit sauren Elektroden geschweißt.

Voraussetzung für gemischte Schweißungen (basisch-sauer) ist, daß das Schweißgut der verwendeten Elektroden sich miteinander „verträgt“ und auf den gewählten Stahl abgestimmt ist. Diesbezüglich werden zur Zeit in der Schweiz großangelegte Versuche durchgeführt. Man geht jetzt so weit, daß auch Elektroden verschiedener Firmen in der gleichen Schweißnaht verwendet werden.

In jüngster Zeit werden diejenigen Flächen der Schützen, die mechanisch beansprucht sind, in rostfreiem Stahl ausgeführt. Durch die Anwen-

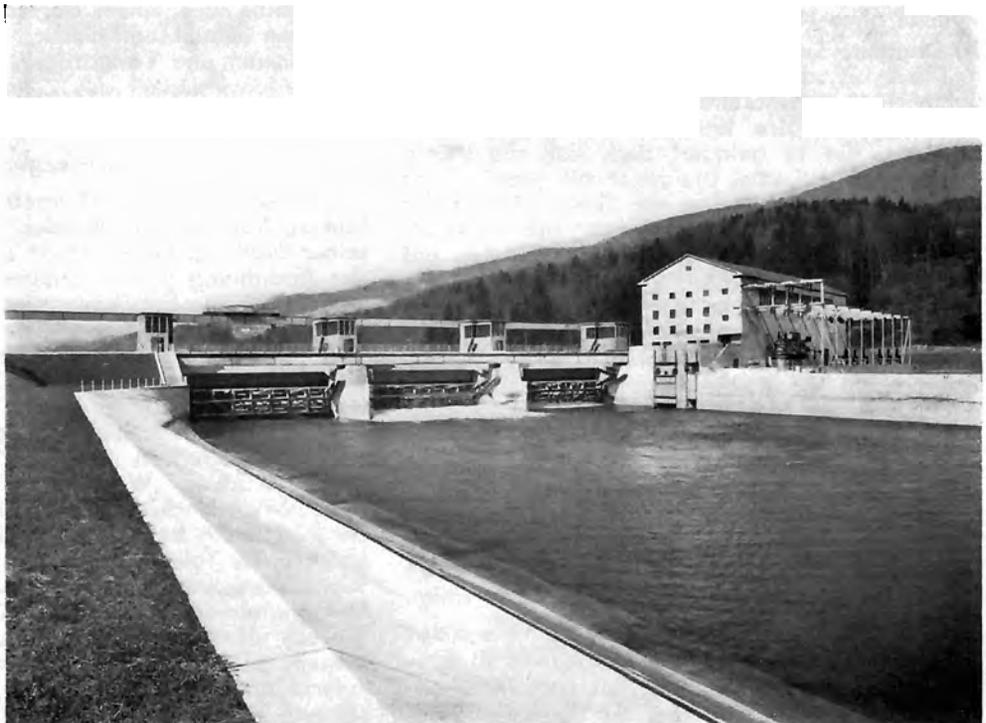
dung der Schweißung werden die Übergangsstellen vom rostenden zum rostfreien Material absolut glatt ausgebildet. Dabei werden Elektroden großer Zähigkeit verwendet. Die Überfallbleche besitzen heute keine störenden Lamellen und Nietköpfe mehr, wodurch ein ungestörtes Überströmen garantiert wird.

Da die Schützen zu den kompliziertesten Stahlbauten gehören und dynamisch beansprucht sind, ist es klar, daß diese Konstruktionen in geschweißter Ausführung nur von erstklassigen Firmen ausgeführt werden können, die geprüfte Schweißer besitzen und dieselben mit eigenen Röntgenapparaturen stets überwachen.

Heute werden kleinere Schützen in der Werkstatt vollkommen geschweißt. Bei Schützen, wo dies wegen dem Transport unmöglich ist, werden möglichst große Teile in der Werkstatt zusammengeschweißt und die Montagestöße entweder genietet oder ebenfalls geschweißt. Dabei ist jedoch stets daran zu denken, daß auch Montageschweißungen hinsichtlich statischer und dynamischer Festigkeit (Ermüdung) wie auch hinsichtlich Trennbruch- und Sprödbruchsicherheit dem Grundmaterial ebenbürtig sein müssen. Den Schrumpfspannungen ist entweder durch sinngemäße, steife Haltevorrichtungen große Aufmerksamkeit zu schenken oder aber es ist, ohne jede Haltevorrichtung, auf die freien Auswirkungen der Schrumpfspannungen Rücksicht zu nehmen.

Auf der einen Seite werden somit provisorische, steife Halteverbindungen, die das Schrumpfen wesentlich behindern, ausgeführt, auf der anderen Seite, hauptsächlich in Schweden, wird jedoch vor dieser Schrumpfbehinderung gewarnt. Die Montagestöße werden in Schweden so gelegt, daß die Schrumpfspannungen auf die Passungen und Dichtungen keinen oder nur einen untergeordneten Einfluß haben. (Die Schützen werden grundsätzlich horizontal unterteilt.)

Bild 10: Wie Bild 9. Ansicht vom Unterwasser



#### IV. Verschiedene Schützen-Typen

##### 1. Hubschützen mit vertikaler Stauwand (Bild 1)

###### a) Gleitschützen:

Dies ist die älteste und einfachste Ausführungsart der Schützen. Das Heben der Schütze geschieht durch Überwindung der gleitenden Reibung zwischen den Rändern der Schütze und dem Führungsrahmen. Diese Ausführungsart ist auf kleine Öffnungsweiten und geringe Stauhöhen beschränkt.

###### b) Einfache Rollschützen:

Um die lästigen Reibungswiderstände der Gleitschütze auf ein Minimum zu reduzieren, wurde die Rollschütze entwickelt.

Da die zuerst ausgeführten *Stoney*-Schützen hochgradig unbestimmte Auflagerungen der zahlreichen Rollen besaßen, wurde hauptsächlich in der Schweiz, in Deutschland und Österreich dieser Typ bald durch Schützen mit Laufrädern ersetzt, wobei die Räder mit Kugellagern statisch bestimmt gelagert wurden.

###### c) Doppelte Rollschützen:

Da mit den einfachen Rollschützen weder eine genaue und rasche Stauregulierung noch eine Geschwemmselabführung ohne wesentliche Wasserverluste bewerkstelligt werden können, wurden die Doppelschützen entwickelt. Die modernsten Doppel-Rollschützen sind die Rollhakenschützen.

##### 2. Segment- und Sektorschützen mit gewölbtem Staublech (Bild 2)

###### a) Einfache Sektorschützen:

Die einfache Sektorschütze besitzt eine kreiszylindrische Blechhaut mit starken Aussteifungen. Die Stauwand wird an jedem Ende von zwei Stielen gestützt, welche die Kräfte durch ein Drehgelenk in die Pfeiler übertragen.

Hydrostatisch und hydrodynamisch besitzt diese Schütze viele Vorteile: Die Hubkräfte werden gegenüber den Rollschützen stark verkleinert; es existiert keine rollende Reibung mehr, sondern nur noch die Reibung der Lagerzapfen; die Pfeiler können ohne Nischen ausgeführt werden.

###### b) Doppelte Sektorschützen:

Die von der A. G. Conrad Zschokke im Jahre 1943 entwickelte Sektor-Hakenschütze ist eine Doppelschütze, bestehend aus zwei Sektorschützen, die so gelagert sind, daß die untere Schütze sich auf zwei Drehlager mit gemeinsamer Achse stützt, währenddem die obere, die vor der unteren abgesenkt werden kann, sich einerseits auf die Drehlager, andererseits mittels Rollen auf die untere Schütze abstützt.

Dieser Schützentyp ist gegenüber den gewöhnlichen Doppelschützen und den Rollhakenschützen sowohl technisch wie wirtschaftlich von Vorteil. Er vereinigt die Vorteile der Sektorschütze mit denjenigen der Hubhakenschütze. Zudem werden die Unterhaltskosten verkleinert.

###### c) Sektor-Klappen-Schützen:

Die Sektor-Klappen-Schütze ist eine Sektorschütze, deren Stauwand im Oberteil durch eine aufgesetzte, bewegliche Klappe verlängert ist. Dadurch werden die Vorteile der Sektorschütze mit denjenigen der zweiteiligen Schützen vereinigt.

##### 3. Klappenschützen mit ebenem oder gewölbtem Staublech (Bild 3)

Hierhin gehören alle Schützen mit einer horizontalen Drehachse, welche in der Sohle des Stau-



Bild 11: Sektor-Hakenschütze. Hochwasserentlastungsanlage der Staumauer Rossens. Werkstattaufnahme. Ansicht vom Unterwasser

wehres liegt und sich zudem in der Ebene der Staufläche befindet. Die wichtigsten Klappenschützen (oder Stauklappen) sind die Dachwehre.

##### 4. Walzenschützen (Bild 4)

Die Walzenschützen (Walzenwehr) bestehen zur Hauptsache aus einem auf schrägen Führungen rollenden Stahlblechzylinder, der innen durch Querrahmen und Längsträger ausgesteift ist. Da die Torsionsfestigkeit des Zylinders groß ist, geschieht der Antrieb stets nur von einer Seite aus.

#### V. Dichtungen

Der Wert jedes Staukörpers (Schütze, Damm, Balken, Schleuse) steigt oder fällt mit der Güte seiner Dichtung. Heute ist es möglich, den Grad der Abdichtung durch wohldurchdachte Konstruktion, sorgfältige Fabrikation und Verwendung der bestgeeigneten Rohstoffe den höchsten Ansprüchen anzupassen und Anlagen zu erhalten, die als praktisch vollkommen dicht bezeichnet werden dürfen.

Jeder Wehrverschluß benötigt eine den örtlichen Verhältnissen Rechnung tragende individuelle Dichtung. Wasserdruck, Abnutzung, Zugänglichkeit, Nachstellbarkeit, Unstimmigkeiten bei der Ausführung, Bewegungsmöglichkeiten innerhalb festgesetzter Toleranzen infolge Deformation und Wärmeausdehnung, Schwingungserscheinungen und Montagetoleranzen müssen berücksichtigt werden.

Nach den neuesten Ausführungen und Erfahrungen stellt die moderne Gummidichtung mit jederzeitiger Reguliermöglichkeit, auch unter Wasserdruck, die ideale Dichtungsart dar (Bild 5, 6, 7).

## VI. Huborgane

Als Huborgane der Schützen werden mechanische und hydraulische Antriebe verwendet. Die Windwerke werden neuerdings als geschlossene, im Ölbad laufende Getriebe hergestellt, deren Wellen auf Kugellager laufen, wobei spezielle Vorrichtungen Schlaffkettenbildung und Überlastung der Ketten anzeigen und verhüten.

## VII. Neuere ausgeführte Schützen

Durch einige Abbildungen werden verschiedene Schützen charakterisiert (Bild 8 bis 17).

### Sektor-Hakenscützen des Kraftwerkes Ruppertswil-Auenstein

Die Form des hydraulisch günstig konstruierten Überfallbleches der oberen Sektor-Hakenscütze von Ruppertswil-Auenstein wurde so gewählt, daß keine Teile der Schützen bei Überströmung durch den Wasserstrahl getroffen werden können und die Wasserauflast, ohne daß dabei am Überfallblech unerwünschte Unterdrücke entstehen, ein Minimum wird. Infolge der Drehung der Scütze ergibt die Überfallform nach Escande in jeder Stellung nur eine minimale Wasserauflast, so daß die Aufzugskräfte entsprechend klein ausfallen. Seitlich wird der Überfallstrahl durch Blechschilde geführt. Da alle tragenden Teile der unteren Scütze, wie Hauptträger, Spanten und Aussteifungen, gegen Unterwasser gekehrt sind, die Vertikalspanten der oberen Scütze jedoch gegen Oberwasser, kann die obere Scütze vor der unteren abgesenkt werden. Die Spanten sind vollwandig und zum Teil geschweißt. Die untere Scütze besitzt zwei, die obere einen einwandigen, parallelgurtigen, genieteten Fachwerkhauptträger. Diese bilden mit den Jochstielen zusammen zweistielige Rahmen mit sehr steifen Riegeln. Die Jochstiele der unteren Scütze laufen im Drehpunkt der Scütze zusammen und stützen sich dort gemeinsam mit dem Doppelstiel der oberen Scütze auf ein kräftiges Drehlager aus Stahlguß, das auf einer Eisenbetonkonsole des Pfeilers, die von der Wasserströmung nicht getroffen werden kann, verankert ist.

Währenddem sich die untere Scütze auf zwei Drehlager mit gemeinsamer Achse abstützt, stützt

sich die obere Scütze einerseits auf diese Drehlager, andererseits mittels Rollen, die am unteren, kastenförmigen Ende der Scütze befestigt sind, auf die untere Scütze ab. Durch diese Anordnung wird der gesamte Wasserdruck einer Öffnung durch nur zwei bewegliche, gut zugängliche Lager auf die Pfeiler übertragen.

Da jede Scütze durch ihr eigenes Windwerk (Gesellschaft der Ludwig von Roll'schen Eisenwerke A. G., Gießerei Bern) unabhängig von der anderen bewegt wird, sind alle Kombinationen und Variationen von Über- und Unterströmen des Staukörpers leicht auszuführen.

Die Mechanismen sind dabei so gegeneinander verriegelt, daß die Höchstlage, bei welcher die untere Kante der unteren Scütze 7,5 m über der Schwelle liegt, nicht überfahren werden kann. Die Windwerke, die durch Elektromotoren angetrieben sind, sind mit Fernsteuerung von der Zentrale des Kraftwerkes aus eingerichtet. Das Windwerk der oberen Scütze wurde für 75 t, dasjenige der unteren Scütze für 80 t konstruiert. Die Aufzugs- und Absenkungsgeschwindigkeit der Scützen beträgt 0,2 m/min.

Bei der Ermittlung der Aufzugskräfte hat sich die Sektor-Hakenscütze wirtschaftlicher als die Rollenschützen erwiesen. Da sich die Resultierende der vertikalen Lasten zwischen Kettenaufhängepunkt und Drehlager befindet, werden die vertikalen Lasten teilweise durch die Lager aufgenommen. Zudem sind, infolge des großen Hebelarmes, die Reibungskräfte viel kleiner als bei den Rollenschützen. Aus diesem Grunde konnten die Windwerke für eine kleinere Aufzugskraft dimensioniert werden, als dies für eine gleich große und gleichartige Hubschütze zu geschehen hätte.

Es wurden weitgehend elektrische und mechanische Sicherungen, wie automatische Endabstellungen, Rutschkupplungen zum Schutz gegen Überlastungen, Differentialmechanismen zur Verhütung des Zusammen- und Auseinanderfahrens beider Scützen, Indikatoren, Nothandantrieb etc. vorgesehen. Da die Mechanismen tief auf die Pfeiler gelagert wurden und in kleinen Windwerkshäuschen untergebracht sind, ist die übliche, schwere,

Bild 12: Sektor-Klappenschütze.  
K.-W. Wildegg-Brugg.  
Hauptwehr, 4 Öffnungen.  
Gewicht pro Öffnung = 63 t  
Höhe = 8,0 m  
Lichte Weite = 15,0 m  
Geschweißt mit Ausnahme der Montagestöße (Trapezförmiger Hauptträger in der Werkstätte vollkommen zusammengesweißt. Gew. = 21 t).  
Montageaufnahme. Ansicht vom Unterwasser in gehobener Stellung (Absolut glatter Überfallrücken der Klappe).

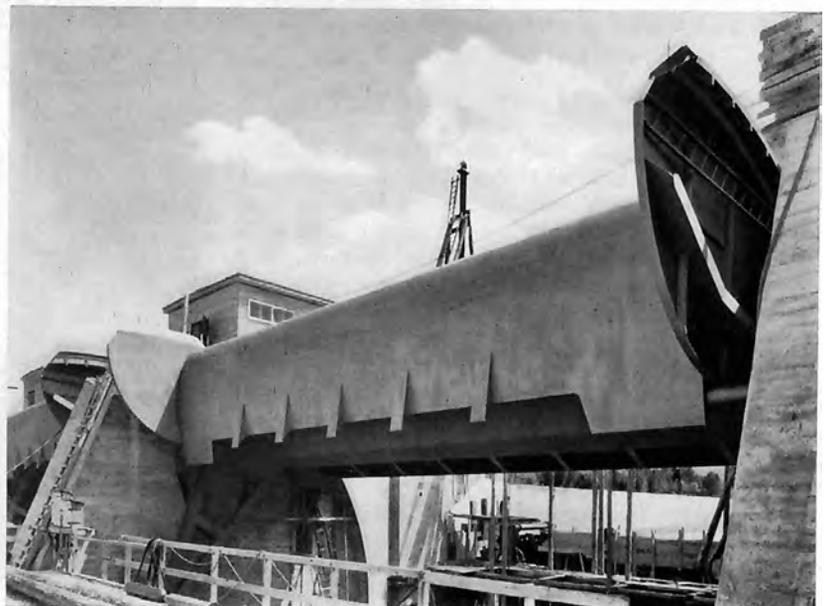




Bild 13: Sektor-Klappenschütze. K.-W. Massagno. Wasserfassung am Cassarate. Automatisch gesteuerte Regulierschütze.  
 Gewicht = 13,5 t  
 Höhe = 2,75 m  
 Max. Stauhöhe = 5,0 m  
 Lichte Weite = 12,0 m  
 Geschweißt mit Ausnahme der Montagestöße, Baujahr 1954.  
 Montageaufnahme. Ansicht vom Unterwasser

alles überragende und das Tal versperrende Windwerksbrücke nicht mehr vorhanden. Sie ist durch einen leichten Träger für den Dammbalkenversetzkran ersetzt.

Die Pfeiler und Windwerkhäuschen sind durch eine auf der Höhe der Dammkrone erstellte Eisenbetonbrücke, die auch die Kabelkanäle und die Kraftübertragungswellen der Windwerke enthält, zugänglich.

Der Wegfall der schweren Windwerksbrücke bedeutet für die Gesamtanlage nicht nur eine ausschlaggebende, sehr wesentliche Baukostensparnis, sondern verleiht ihr überdies ein leichtes, aufgelöstes und gefälliges Aussehen, das den Eindruck des brutal versperren Tales vermeidet.

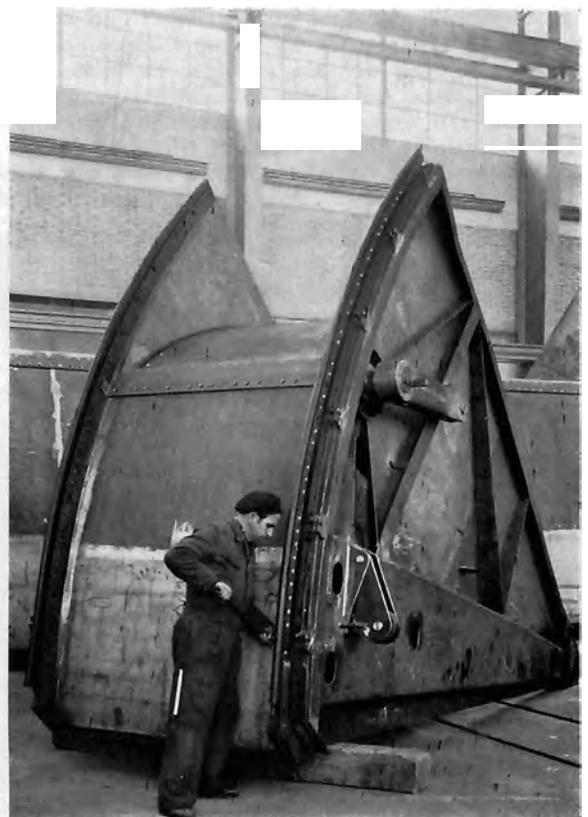
#### Dachwehr-Schützen des Hilfswehres Schinznach-Bad

Das Dachwehr wird durch zwei Klappen gebildet, deren horizontale Drehachsen am festen Unterbau gelagert sind. Die oberwasserseitige Klappe stützt sich auf die Unterwasserklappe mittels einer Anzahl Rollen, deren Lager an dem mit der Unterwasserklappe fest verbundenen Auftriebszylinder befestigt sind. Die Spanten der oberen Klappe sind oberhalb, diejenigen der unteren Klappe unterhalb der Blechhaut angeordnet.

Die 6 Wehrröffnungen des Kraftwerkes Donzère-Mondragon sind mit Sektor-Klappen-Schützen ausgebildet ( $5 \times 31,50$  m und  $1 \times 45,00$  m). Die ursprüngliche Stauhöhe von 9,15 m wurde im Jahre 1952 auf 9,45 m erhöht.

Die Sektor-Klappen-Schütze für die Schiffsöffnungsöffnung von 45 m lichte Weite ist die größte Schütze in dieser Ausführung, die bis jetzt hergestellt wurde.

Bild 14: Sektor-Klappenschütze. Spülschütze des K.-W. Riddes. Wasserfassung Dranse.  
 Gewicht = 5,5 t Max. Wasserdruck = 6,8 m  
 Höhe = 3,4 m Lichte Weite = 1,5 m  
 Hauptträger, Klappe und Seitenschilder je vollständig geschweißt. Mechanisch stark beanspruchte Flächen aus rostfreiem Stahl. Werkstattaufnahme. Ansicht vom Oberwasser mit gehobener Klappe. Baujahr 1955



## Sektor-Taucherglockenschütze (Bild 16)

Diese Schütze wurde bis heute noch nicht ausgeführt. Das Bild zeigt Ihnen lediglich die Idee, wie eine solche Schütze konstruiert werden kann.

Es handelt sich dabei um eine Sektor-Schütze, deren Stauwand als Taucherglocke ausgebildet ist. Der Staukörper wird gehoben, indem Druckluft in die Taucherglocke gepreßt wird. Das Senken erfolgt durch Ablassen der Druckluft.

Würde die Taucherglocke unten offen ausgebildet, so würde bei gehobener Schütze infolge des Druckverlustes des unter der Schütze durchströmenden Wassers, das Wasser in der Taucherglocke zum Teil oder ganz ausfließen. Aus diesem Grunde ist die Taucherglocke unten geschlossen. Dagegen sind in den Seitenschildern Öffnungen vorhanden, welche in eine Nische in den Widerlagern münden. Diese Nischen stehen ihrerseits durch eine Rohrleitung mit dem Oberwasser in Verbindung. Wird die Schütze durch Einpressen von Druckluft gehoben, so wird das Ausfließen des Wassers in den Nischen durch eine an die Seitenschilder der Schütze angebaute Blende verhindert. Der Hohlraum der Taucherglocke steht also immer mit dem Oberwasser in Verbindung.

**Vorteile:** An Stelle von Windwerken einfache Kompressoranlage. Automatische Regelung mit einfachen Mitteln möglich.

**Nachteile:** Schwere Konstruktion, da zwei Blechhäute ausgeführt werden müssen. Die Schütze kann höchstens bis Oberwasser Spiegel minus Eigengewicht gehoben werden.

Bei einem Leck der Taucherglocke ist der Betrieb in Frage gestellt.

### VIII. Schlußbemerkungen

Die skizzierten verschiedenen Schützentypen geben lediglich einen Ausschnitt von der Entwicklung im Bau von Wehrverschlüssen.

Auch wenn heute die Sektor-Hakenschützen und die Sektor-Klappen-Schützen als technisch einwandfreie und ökonomischste Schützen angesehen werden, ist stets daran zu denken, daß damit, wie mit allen Neuerfindungen und Weiterentwicklungen, nicht ein Schlußstrich unter eine jahrzehntelange Entwicklung gesetzt wird.

Durch stete Weitervervollkommnung und Weiterforschung muß darnach getrachtet werden, mit der Zeit Schritt zu halten. Vielleicht ist man heute vom ökonomischen Standpunkt aus der Zeit schon vorausgeeilt, indem die Schützen heute teilweise keine reinen Stahlkonstruktionen im überlieferten Sinn mehr sind, sondern Maschinen mit zu hohen Einheitspreisen, die der Bauherr nicht mehr zahlen will.

Die hydromechanischen Berechnungsgrundlagen sind heute vorhanden. Wer jedoch tieferen Einblick in dieses schwierige Gebiet hat, weiß, daß für komplizierte Probleme unbedingt hydraulische Versuche durchgeführt werden müssen. Nur dank wissenschaftlich einwandfreien Versuchen kann entweder die mathematische Berechnung untermauert oder korrigiert werden, so daß mit kleineren Sicherheitsfaktoren operiert werden kann.

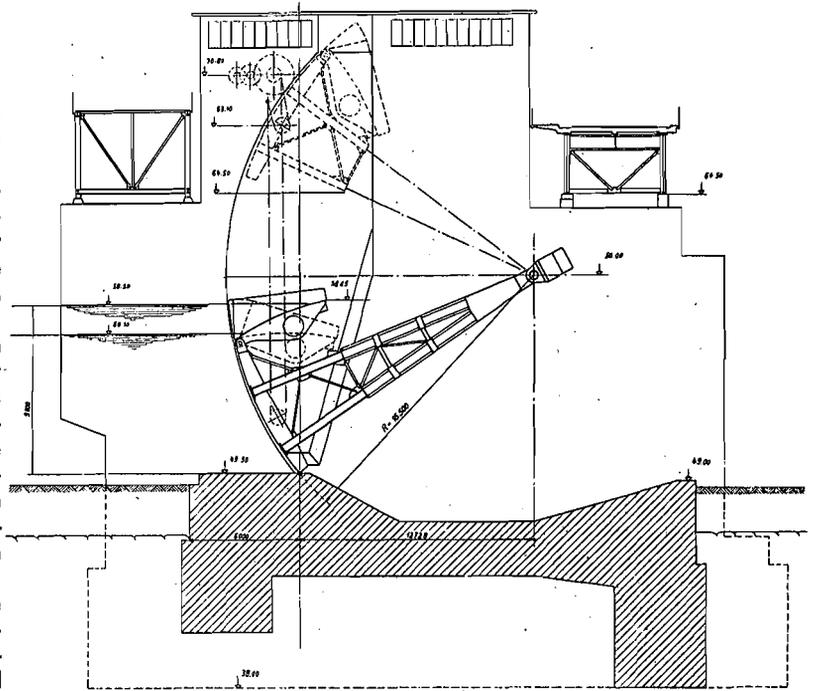
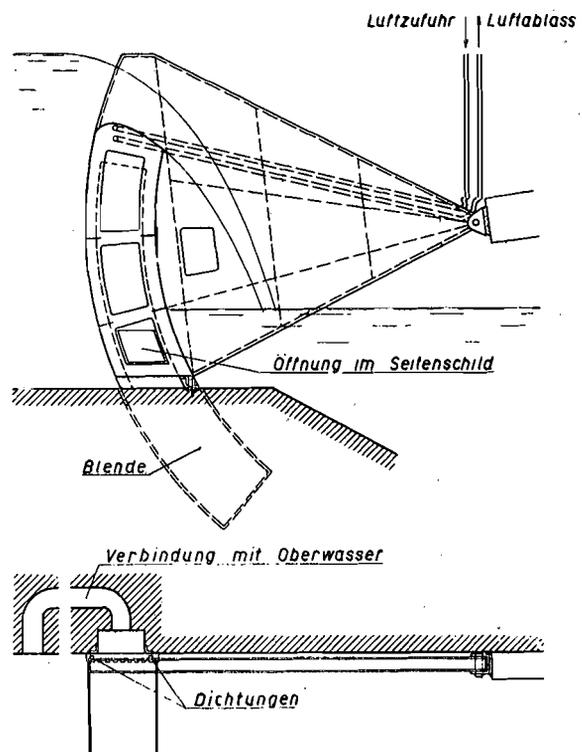


Bild 15: Querschnitt durch die Sektor-Klappenschützen des K.-W. Donzère-Mondragon

Bild 16: Sektor-Taucherglockenschütze



Das statische und dynamische Rüstzeug für die Berechnung der Stahlkonstruktionen ist seit Jahren einwandfrei vervollkommen. Die bei den Schützen auftretenden Stabilitätsprobleme können heute sowohl im elastischen wie auch im plastischen Gebiet mit äußerst guter Genauigkeit gelöst werden, so daß man sich fragt, wieso die Sicherheit beim vorzüglichen Baustoff Stahl nicht noch mehr vermindert werden soll.

Für alle mechanisch beanspruchten Teile wird heute bei den Schützen meist rostfreier Stahl verwendet, währenddem die übrigen Stahlkonstruktionen durch eine einwandfreie Spritzverzinkung und zwei bis drei Deckanstriche vor der Korrosion geschützt werden.

Alle neuzeitlichen Dichtungen sind aus Gummi. Sie können auch unter Wasserdruck, ohne Einsetzen der Dammbalken, nachgestellt und reguliert werden. Heute wird im ersten Moment des Schützenverschlusses nur noch mit zirka 0,02 l/m/sec. Wasserverlust gerechnet. Nach kurzer Zeit geht auch dieser Wasserverlust infolge der durch das Wasser mitgeführten Schwebstoffe praktisch auf Null zurück.

Es ist immer in Betracht zu ziehen, daß unter vielen technischen Lösungen für einen bestimmten Fall nur eine die wirtschaftlichste und zweckmäßigste sein kann. Da sich die Problemgrundlagen jedoch von Fall zu Fall sehr stark ändern und die Bauherren zudem gewisse Spezialwünsche haben, sind die Schützenkonstruktionen diesen Grundlagen und Wünschen anzupassen.

Nie wird es für die Schützen einen für alle Fälle brauchbaren, einfachen Normalschützentyp geben. Der zweckmäßigste und wirtschaftlichste Typ, der zudem auch immer der einfachste Typ ist, muß für jede Problemstellung neu gesucht werden.

Die Erkenntnis und Anwendung des Wahren, Besten und Günstigsten kennzeichnet den fortschrittlichen Stahlwasserbaukonstrukteur, der den Weg der technischen Zuverlässigkeit, Zweckmäßigkeit, Betriebssicherheit und Formschönheit beschreitet und bis zum Endziel weiter verfolgt.

#### Literatur.

##### P. Böß:

Hydromechanik und technische Hydraulik, ihre gegenseitigen Beziehungen. — Aus Lehre und Forschung. Technische Hochschule Fridericiana, Karlsruhe, 1948.

##### C. F. Kollbrunner:

Die Sektor-Hakenschütze des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein. Mitteilungen über Forschung und Konstruktion im Stahlbau, Heft Nr. 3, 1946. (Leemann, Zürich.)

L'évacuateur de crues de l'usine hydro-électrique de Rossens avec vannes-secteur doubles. La Houille Blanche, No. 4, 1950, S. 421. Hydraulic steel gates. Proceedings of Research and Construction on Steel-Engineering. Nr. 13, 1950. (Leemann, Zürich.)

Schützen aus Stahl. — Hubschützen mit vertikaler Stauwand. Sektor-Schützen. Walzenschützen und Klappenschützen. Stahlbau-Berichte Nr. 11/1950, Nr. 12/1950, Nr. 13/1951, Nr. 14/1951.

Bewegliche Wehrverschlüsse des Kraftwerkes Wildegg-Brugg. Stahlbau-Bericht Nr. 10/1952.

Development in the construction of hydraulic gates. Electrotechnics. Indian Institute of Science Bangalore, India, 1952, S. 27.

Sektor-Haken- und Sektor-Klappen-Schützen. Schweiz. Bauzeitung 1953, Nr. 23, S. 335.

Geschweißte Schützen. Institut International de la Soudure. Assemblée annuelle 1955.

##### H. Preß:

Stauanlagen und Wasserkraftwerke. II. Teil: Wehre. Wilhelm Ernst und Sohn, 1954.

Bild 17: Aufsicht auf Klappe der Sektor-Hakenschützen des K.-W. Donzère-Mondragon (Strahlbrecher). Aufnahme während der Montage



# Osterreichischer Stahlwasserbau

Von Dr. techn. R. Heckel und Dipl.-Ing. H. Mittermayr, Waagner-Biró A. G., Wien-Graz

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Entwicklung des Stahlwasserbaues in Österreich, die wesentlichen ausgeführten Anlagen und einige interessante Problemstellungen dieses Spezialgebietes gegeben werden.

Der Fortschritt jeder Produktionssparte hängt von den gestellten Aufgaben ab. Unser Land besitzt keine Häfen mit großen Docks, keine Schiffshebewerke und keine Großbauten für Bewässerungszwecke. Der einzige schiffbare Strom, der die Anlage von Schleusen erfordert, wird erst jetzt ausgebaut. Um die Entwicklung des Stahlwasserbaues in Österreich zu skizzieren, genügt daher ein Rückblick auf den Ausbau unserer Wasserkräfte.

Österreich ist — bedingt durch seine geographische Lage — ein Land mit reichem Energieangebot, dessen Nutzung schon frühzeitig Interesse erweckte. Allerdings war in der Zeit um den ersten Weltkrieg der Bedarf an hydroelektrischer Energie noch nicht so groß, daß größere Anlagen für bauwürdig befunden worden wären. In dieser Zeit entstanden die damals noch größtenteils gemeindeeigenen Elektrizitätswerke, die fast ausschließlich nur der Stromversorgung einzelner Ortschaften dienten. Darüber hinaus schlossen sich mit wachsender Elektrifizierung der Industrieanlagen Mühlen- und Sägewerksbesitzer und die Eigentümer größerer Fabriken zur Errichtung eigener Kraftanlagen. Dabei war immer die Höhe der Baukosten ein ausschlaggebender Faktor. Darauf ist es zurückzuführen, daß damals zum Beispiel Dachwehre, die heute im allgemeinen als überholte Wehrkonstruktion gelten, häufig angewandt wurden. Da für einen derartigen Verschluss keine Windwerke benötigt werden, die Stauhöhe automatisch geregelt wird und da für wesentliche Teile billiges Holz statt Stahl verwendet werden konnte, waren derartige Verschlüsse für Lichtweiten von 10 bis 20 m und kleinere Stauhöhen kaum zu schlagen.

Für die Großanlagen, die zwischen den beiden Weltkriegen in Österreich entstanden — es seien nur die Illwerke, die Wasserkraftanlagen der mittleren Steiermark, die bahneigenen Kraftwerke und das Achenseewerk angeführt —, lieferten einheimische Firmen wesentliche Teile der Stahlkonstruktionen. Die Verschlüsse und ihre mechanische Ausrüstung wurden jedoch noch vielfach im Ausland beschafft.

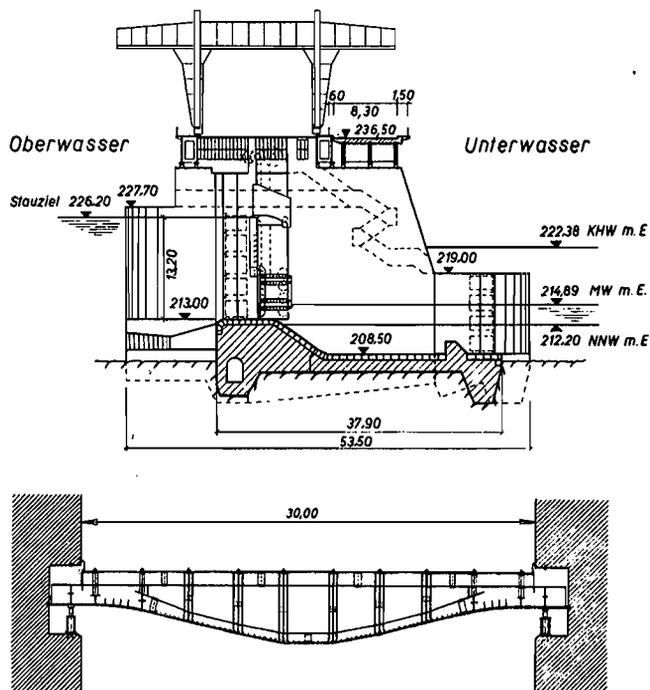
Viele Projekte der damaligen Zeit wurden vor allem aus wirtschaftlichen Gründen immer wieder aufgeschoben. Ein typisches Beispiel hierfür bilden die Kraftwerke an der Enns. Bereits vor dem ersten Weltkrieg befaßte man sich mit dem Gedanken, die Enns in mehreren Stufen auszubauen. Zwischen 1921 und 1926 wurden dann mehrere Projekte ausgearbeitet und zur Genehmigung vorgelegt. Auch Wasserrechte wurden für einzelne Stufen bereits erteilt. Der Baubeginn fällt aber bei Ternberg auf den Herbst 1939, bei Stanning auf 1941 und bei Groß-Raming gar erst auf den Herbst 1942. Eine ähnliche Situation liegt ja auch bei dem größten österreichischen Flußkraftwerk Ybbs-

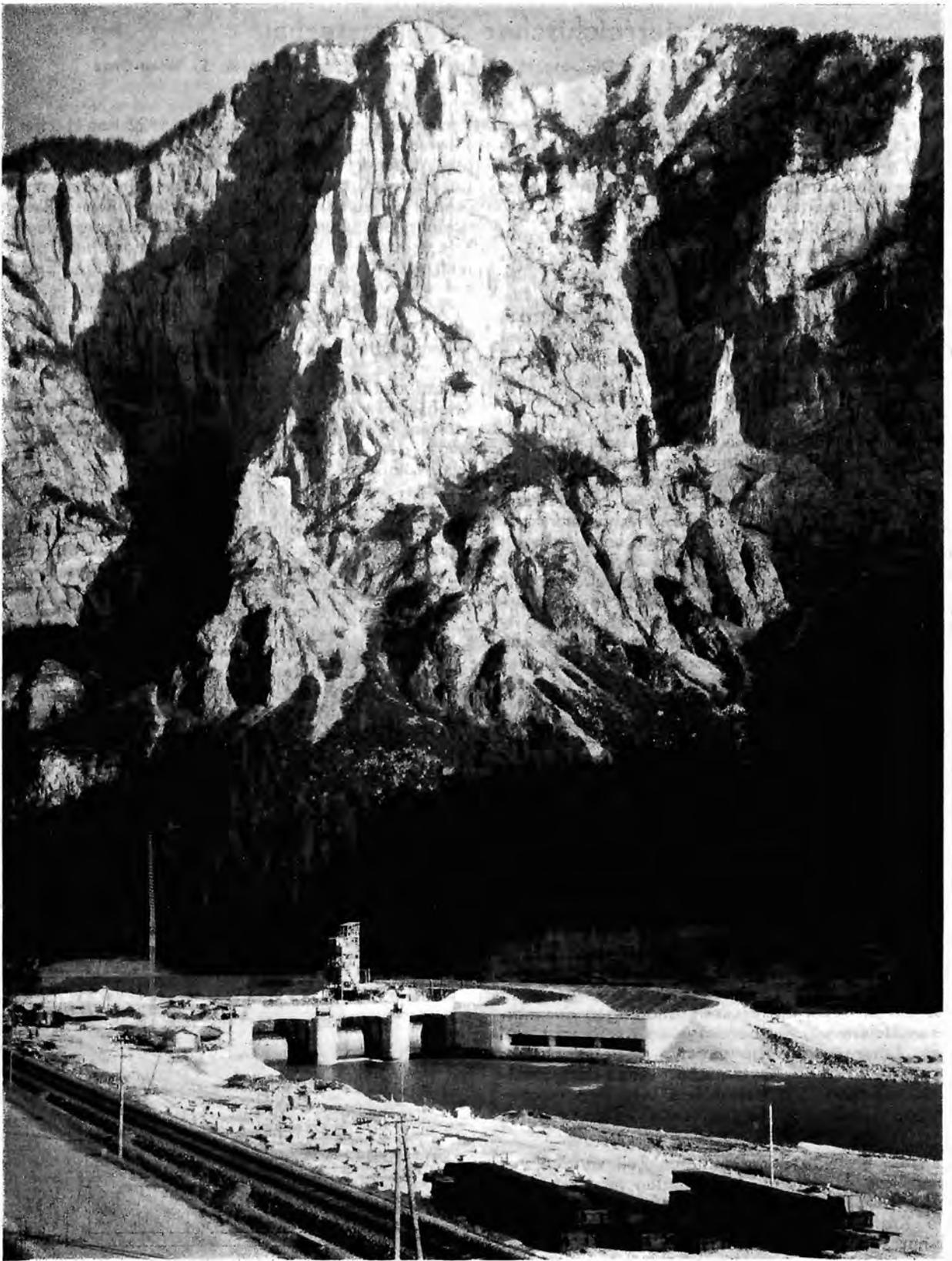
Persenbeug vor. Schon im Jahre 1922 hat Höhn sein erstes Projekt vorgelegt. Jedoch erst im zweiten Weltkrieg wurde die Errichtung einer Staustufe bei Ybbs ernstlich in Angriff genommen. Man kam jedoch bis zum Jahre 1945 über die teilweise Einrichtung der Baustelle nicht hinaus. Erst nach dem Kriege entstand ein letztes ausführungsfähiges Projekt, sodaß nunmehr vor nicht allzu langer Zeit der endgültige Baubeginn erfolgen konnte.

Wie für alle Sparten der Wirtschaft und Industrie schuf das Jahr 1938 auch für den Ausbau der Wasserkräfte eine vollkommen neue Situation. Das rasche Wachsen und der ungeheure Energiebedarf der Rüstungsindustrie und in den späteren Kriegsjahren auch der Ausfall größerer Industriezentren in Westdeutschland rückte die Wasserkräfte der Alpen in den Vordergrund der Wirtschaftsplanung. Mit äußerster Intensität ging man an den Ausbau heran. Für die Zulieferung der Stahlbauteile waren damals natürlich die Gesichtspunkte der Arbeitsteilung in einem Großwirtschaftsraum maßgebend, sodaß man auch die Ausrüstung dieser Anlagen noch nicht als wirklich österreichische Konstruktionen bezeichnen kann.

Nach dem Zusammenbruch im Jahre 1945 stand dann Österreich vor der zwingenden Situation, die Fertigstellung der begonnenen Anlagen mit eigenen Mitteln zu betreiben und unverzüglich den Entwurf und Ausbau neuer Kraftwerke in Angriff zu nehmen, um den Energiebedarf der Industrie und Verkehrsmittel zu befriedigen und die Außenhandelsbilanz durch Drosselung der Kohleneinfuhr und durch Stromexport zu entlasten.

Querschnitt durch ein Wehrfeld des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug und Draufsicht auf die Unterschütze





Baustelle des Wehres Gstaatterboden für das Kraftwerk Hieflau

Damit nahmen nun auch die den Stahlbau-firmen gestellten Aufgaben einen derartigen Umfang an, daß diese eigene Spezialabteilungen einrichten mußten, die sich nur mit dem Entwurf, der Konstruktion und Weiterentwicklung von Stahlwasserbauten beschäftigen. Die Vielfalt der statischen, dynamischen, hydraulischen und maschinenbaulichen Probleme, welche der Bau von Verschlusskörpern mit ihrer mechanischen und elektrischen Ausrüstung stellt, erfordert dabei von vornherein ein Teamwork von Stahlbau-, Maschinenbau- und Elektroingenieuren. Richtige und rasche Anwendung der Fortschritte auf dem Gebiete der Schweiß- und Materialtechnik hat, verbunden mit Erfindungen, Modellversuchen und wissenschaftlicher Forschung, den Stahlwasserbau in Österreich auf eine beachtenswerte Höhe gebracht. Die Produktion der beiden in dieser Sparte hauptsächlich tätigen Firmen betrug in den letzten acht Jahren, einschließlich des noch in Ausführung befindlichen Auftragstandes, etwa 27.500 t (ohne Rohrleitungsbau). Die Zahl beweist, daß die Bemühungen der österreichischen Firmen um den Stahlwasserbau nicht ohne Erfolg geblieben sind. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß in dieser Produktionsziffer auch die mechanischen und hydraulischen Hubwerke, die Laufarmaturen, Dichtungen etc. enthalten sind, sodaß die Tonne Stahlkonstruktion im Wasserbau besonders lohnintensiv ist und etwa den doppelten Wert darstellt, wie im Hoch- und Brückenbau. Das steigende Bedürfnis nach Wasserkraftenergie und Bewässerungsspeichern in der ganzen Welt erklärt das Bestreben der Stahlbauanstalten, ihre Produktion auf diesem aussichtsreichen Sektor noch mehr auszuweiten.

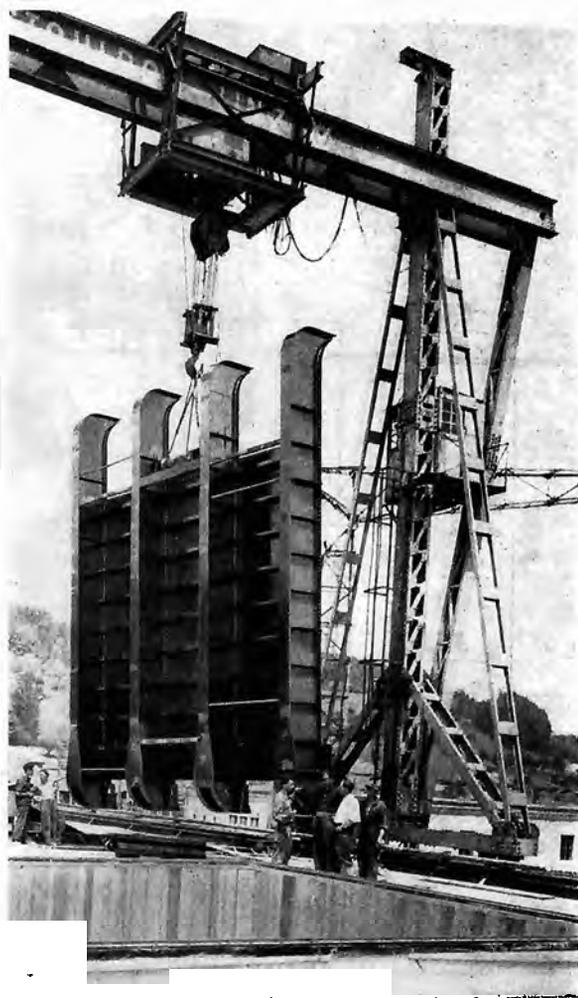
Wenn nunmehr kurz auf ausgeführte Anlagen eingegangen werden soll, so ist es infolge der Vielfalt der Objekte natürlich nur möglich, einzelne Fälle herauszugreifen. Dabei sollen die Flufkraftwerke und die Hochdruckanlagen gesondert behandelt werden.

Bei den Flufwehren mit niedriger Stauhöhe in den kleineren inländischen Flüssen hat sich die einseitig aufgehängte Fischbauchklappe durchgesetzt. Diese Klappen werden entweder mit einer Gegengewichtssteuerung, mit einem Zahnstangen- oder Kettenwindwerk, oder auch mit Öldruckservomotoren angetrieben. Bei größeren Lichtweiten erfolgt der Antrieb von beiden Seiten aus. Auch Durchflufweiten über 50 m sind dann ohne besondere Schwierigkeiten zu bewältigen.

Bei größeren Stauhöhen — soweit diese nicht durch einen betonierten Staubalken unterteilt sind — beherrscht die Doppelhakenschütze das Feld. Besonders bemerkenswert durch die niedrige Konstruktion der Windwerke und die dadurch außerordentlich harmonische Einfügung in die Landschaft ist das Kraftwerk Rosenau an der Enns, das Ende 1950 begonnen wurde. Verschlüsse dieser Bauart wurden auch bei den in Gemeinschaftsarbeit mit Deutschland an den Grenzflüssen errichteten Kraftwerken Braunau (5 Felder mit je 23 m Lichtweite und 13,5 m Stauhöhe) und Jochenstein (5 Felder mit je 24 m Lichtweite und 11,8 m Stauhöhe) verwendet. Doppelhakenschützen von 31,3 m Stützweite und für eine Stauhöhe von 13,5 m kommen schließlich auch zum Einbau bei dem ersten innerösterreichischen Donauwehr Ybbs-Persenbeug. Für die Unterschützen dieser Anlage

wurde eine Sonderkonstruktion entwickelt, bei der durch die Verwendung von leicht gekrümmten Stublechen die örtlichen Biegespannungen zwischen den lotrechten Hauptspannen weitgehend vermieden werden, sodaß eine wesentliche Einsparung an Stahlgewicht erzielt werden konnte. Diese Bauweise, welche im Prinzip bereits bei den Dammbalken des Wehres Jochenstein erprobt wurde, ist für große Wehrverschlüsse vor allen Dingen deshalb besonders geeignet, weil zum Unterschied von den Belastungen der Hochbauten und Brücken die Wasserlasten bis auf Eis- und Schiffsstöße etc. immer als Gleichlasten wirken. Es liegt in der allgemeinen Entwicklung, daß man sich bemüht, Stahlteile im Wasser, die früher nach der vorherrschenden Meinung zur Vermeidung der Schwingungs-, Klemm- und Rostgefahr besonders schwer ausgeführt werden mußten, jetzt richtiger zu dimensionieren. Man wendet große Mittel an einen geeigneten Oberflächenschutz, versucht die hydrodynamischen Verhältnisse zu erforschen und die Schwingungserregung selbst zu verhindern und kann damit die Konstruktionen so weit auf die statischen Anforderungen zurückführen, daß unter Anwendung moderner Berechnungsmethoden wesentliche Gewichts- und damit auch Preisersparnisse möglich sind.

Montage der Oberlafel einer Doppelschütze im Enns-kraftwerk Rosenau



In jüngster Zeit werden bei Anlagen mittlerer Lichtweite und größerer Stautiefe auch Segmente mit Aufsatzklappen angewandt. Erstmals ausgeführt in Österreich wurden solche Verschlüsse bei dem Ennswehr Gstatterboden des Kraftwerkes Hieflau. Es handelt sich hierbei um 3 Wehrfelder von je 12 m Lichtweite und 9,5 m Verschlusshöhe, wovon die Aufsatzklappen eine Höhe von 3,0 m freigeben können. Bemerkenswert ist die Ausbildung der Segmentlager als Mauerkegel, die in das Flußprofil kragende schwere Betonkonsolen entbehrlich machen und im Gegensatz zu ähnlichen Ausführungen in der benachbarten Schweiz die vollkommen nischenlosen Pfeiler, die einen störungsfreien Durchfluß durch das Wehrfeld ermöglichen. Im Oberwasser liegende Hubketten mußten dabei in Kauf genommen werden. Drei Verschlüsse ähnlicher Konstruktion mit 13 m Lichtweite und 10 m Verschlusshöhe erhält auch das in Bau befindliche Wehr Runserau des Kraftwerkes Prutz-Imsf.

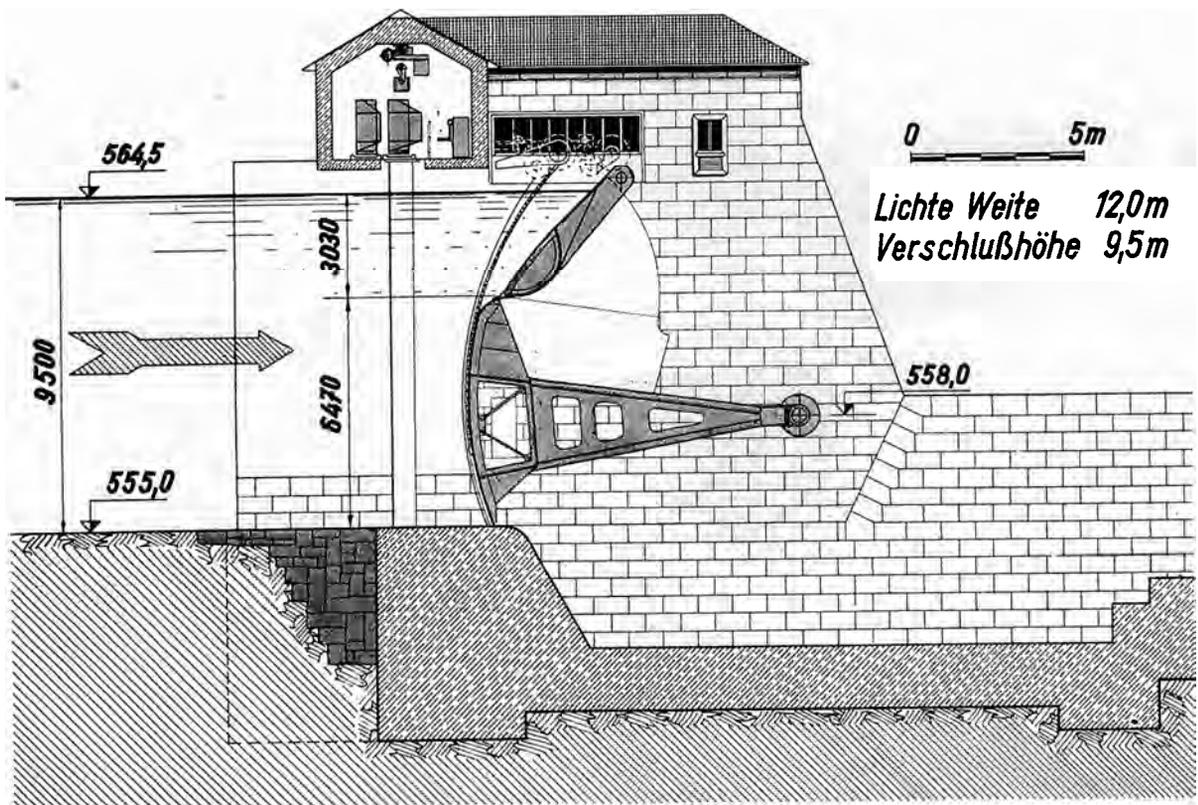
Neben dem Bau von reinen Laufwerken hat der Ausbau von Speicherräumen in Österreich wie auf der ganzen Welt an Bedeutung gewonnen. Während bei uns die Stauseen hauptsächlich wertvolle Spitzenenergie speichern, dienen sie in den riesigen subtropischen Trockenheitsgürteln der Welt zunächst vor allem der Bewässerung. Später, wenn durch Bewässerung in diesen Landstrichen eine gewisse Entwicklung in Gang gebracht ist,

werden dann auch diese Anlagen immer häufiger zu Mehrzweckbetrieben ausgebaut.

Die großen Talsperren hat der Stahlwasserbauer außer mit Entlastungsanlagen auf der Krone auch mit Tiefverschlüssen auszurüsten. Solche Verschlussorgane fast aller im In- und Ausland gebräuchlichen Typen — von der Stoneyschütze bis zum amerikanischen Caterpillargate — sind heute in den österreichischen Stahlbauanstalten im Bau. Darunter befinden sich z. B. die Regulierschützen im Umleitungstunnel der gigantischen, 207 m hohen Bhakrasperre in Indien, die mit einer Betonkubatur von 4 Mio. m<sup>3</sup> einen Stauraum mit 7000 Mio. m<sup>3</sup> Nutzinhalt abschließen wird. (Zum Vergleich Limbergsperre Kaprun mit 0,45 Mio. m<sup>3</sup> Betonkubatur und 84,5 Mio. m<sup>3</sup> nutzbarem Speichergehalt.) Die dabei zu bewältigenden hydraulischen Probleme werden deutlich, wenn man bedenkt, daß jede der dort zum Einbau gelangenden Schützen eine Leistung von etwa 700 000 PS abzuführen hat und damit die größten ähnlichen Konstruktionen auf unserem Kontinent um ein Mehrfaches übertrifft.

Die auf einen Verschlusskörper wirkenden Kräfte und die Funktionen, welche die Armaturen, Führungen und Dichtungen zu erfüllen haben, multiplizieren sich beim hydraulischen Tiefverschuß mit einer gegenüber dem Flußwehr oft vielfachen Druckhöhe. Zur Veranschaulichung kann dienen, daß bei den schwersten Lokomotiven und Straßen-

### Segmentschütz mit aufgesetzter Klappe



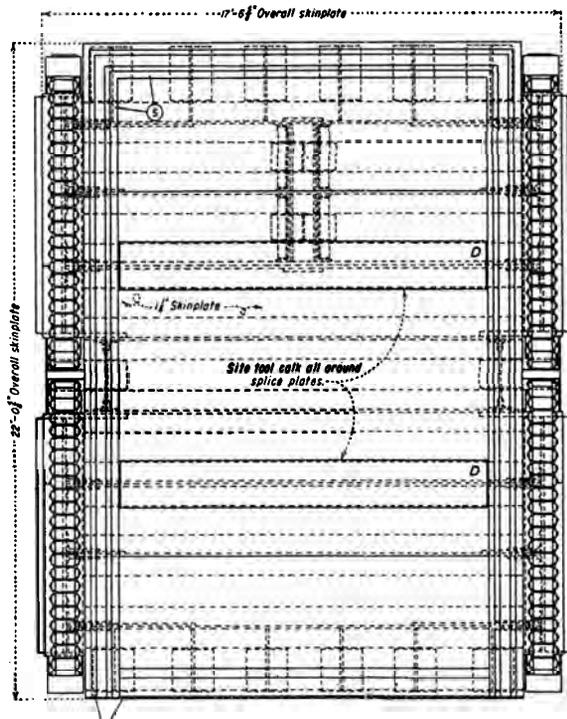
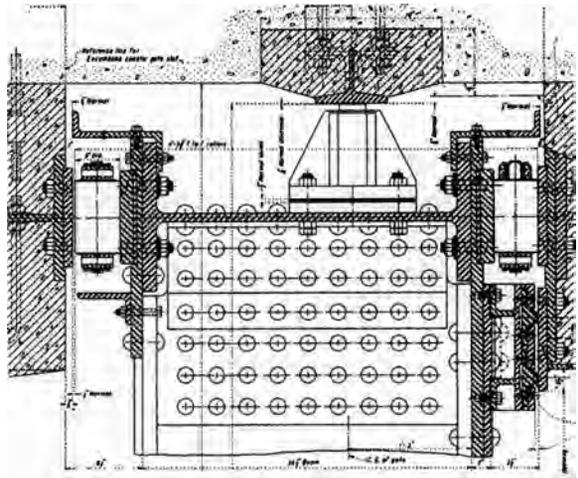
Querschnitt Wehr Hieflau-Gstatterboden

sonderfahrzeugen, welche der Bemessung unserer Brücken zugrundeliegen, die Flächenlast  $4 \text{ t/m}^2$  nicht übersteigt. Der 25-fache Flächendruck belastet aber eine Schützentafel in 100 m Wassertiefe.

Das bedeutet, daß bei der tragenden Stahlkonstruktion einer solchen Schütze oft weniger die Dimensionierung auf Biegung ausschlaggebend ist, als die Möglichkeit, die Auflagerpunkte auszubilden und die Einleitung der Kräfte und die Schweißprobleme zu beherrschen. Das bedeutet aber auch, daß eine solche Tiefschütze, die manchmal die gleiche Wasserlast wie das ganze Wehrfeld eines Donauwehres trägt, auch die gleichen Laufarmaturen aufweisen muß. Sie werden sogar noch ungünstiger beansprucht, weil statisch bestimmte Lagerungen infolge Raummangels kaum möglich sind. Die Verschlusskörper sind andererseits gedrungene und meist sehr eigensteife Konstruktionen und daher gegen Auflagerdifferenzen empfindlich. An die Stelle von Kipplagern und lastverteilenden Balanciers muß dann maschinenbauliche Präzision in der Anarbeitung und im Einbau der Tafel und ihrer Armaturen treten.

Das Gewicht eines Tiefverschlusses beträgt oft nur etwa 3% des auf ihm lastenden Wasserdruckes. Notverschlüsse sollen aber unter Eigen­gewicht schließen. Der entwerfende Ingenieur muß daher dasselbe Augenmerk, welches er den Spannungen zu schenken gewohnt ist, auch der Verfolgung und Erforschung der Laufwiderstände und der oft beträchtlichen Reibungskraft in den Führungen und Dichtungen zuwenden. Denn das Steckenbleiben eines Notverschlusses kann für die Gesamtanlage dieselben katastrophalen Folgen haben, wie sein Bruch. Ein verlässlicher Weg, um bei wichtigen Anlagen solcher Art Lauffehler auszuschalten, ist reichliche Anwendung von Federn. Federnd zentrierte Rollen und federnde Seitenführungen geben elastisch nach, wenn eine Tafel im Rahmen der möglichen Toleranz schiefläuft, während Rollen und Gleitkufen, die schon beim Einfahren in den Druckbereich starr anliegen, verhängnisvolle Klemmkkräfte verursachen können. Besonders empfindlich gegen unerwartete Seitenkräfte sind die großen Nadellager, welche bei schweren Laufarmaturen gerade im Stahlwasserbau häufig verwendet werden.

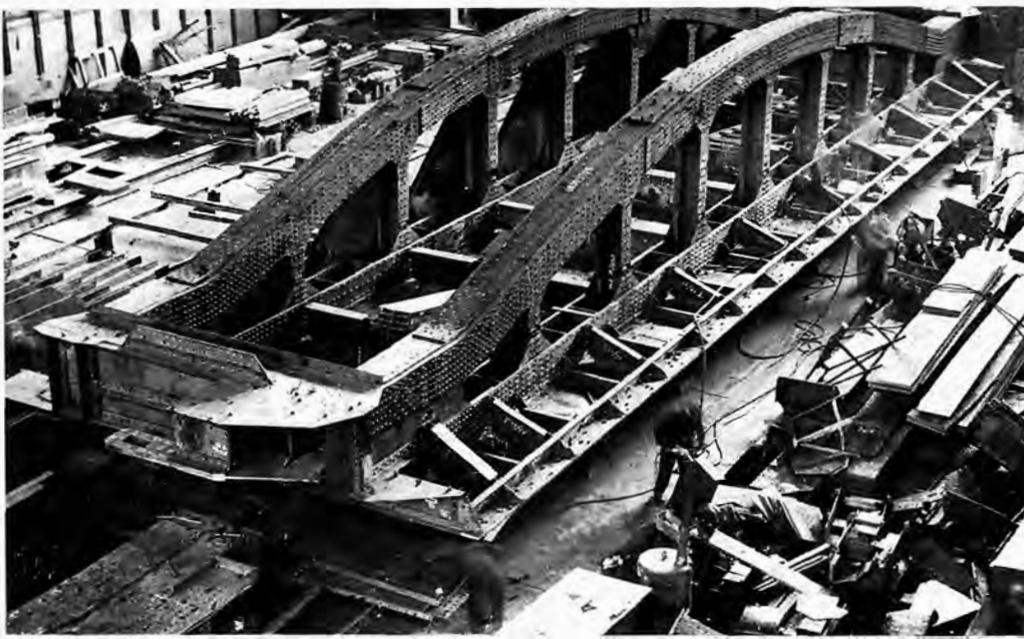
Bei den Laufarmaturen der in Österreich im Bau befindlichen Notverschlüsse für die Turbineneinläufe des Nilkraftwerkes Assuan wurde ein neuer Weg beschritten. Die über 100 t schweren, für 2800 t Wasserdruck bemessenen Tafeln werden an ihren Ecken durch Spurkranzlaufrollen geführt, die mit großen Kegelrollenlagern ausgestattet sind. Diese Wälzlager übertragen die beträchtlichen Seitenkräfte der Spurhaltung fast reibungslos. Die mittleren, in Büchsen gelagerten Rollen werden durch ihre Spurkränze am seitlichen Anlaufen im Rollenträger gehindert, so daß die kaum exakt abzuschätzende Nabenstirnreibung vollkommen vermieden wird, ohne daß rostfreie Tellerfedern oder ähnliche Konstruktionselemente bei dieser Schütze verwendet werden müssen. Eine besonders sorgfältige Berücksichtigung der oberen und unteren Grenzwerte aller zu erwartenden Reibungskräfte war hier nötig, um einerseits verlässliches Schließen unter allen Bedingungen zu gewährleisten und um andererseits



Schnitt durch die Führungsnische einer Rollenketten-(Caterpillar-)schütze und Ansicht der Schützentafel. Zwei solche Schützen sind in Österreich im Bau für das Eucumbene und Tumut-Projekt der Snowy Mountains H. E. A., Australien

eine wesentliche Überbelastung des Hubwerkes sicher auszuschalten, weil diese Verschlüsse nicht von ölhdraulischen Servomotoren, sondern von einem 150-t-Wehrkran im strömenden Wasser betätigt werden müssen.

Wenn das Eigengewicht einer Schützentafel zum Überwinden der Reibung beim Schließen nicht ausreicht, wird meist Betonballast angeordnet. Der eigentlich naheliegende Gedanke, diesen Beton auch mittragend zu verwenden, wurde erst in jüngster Zeit aufgegriffen und die Entwicklung solcher „Verbundschützen“ ist noch nicht abgeschlossen. Es ist aber zu erwarten, daß diese Bauweise sich in vielen Fällen wegen der Kostenersparnis durchsetzen wird. Außerdem hat eine solche Schütze, die im Prinzip aus einem ausbeton-



Unterschütze des Innkraftwerkes Braunau beim Zusammenbau in der Werkstätte

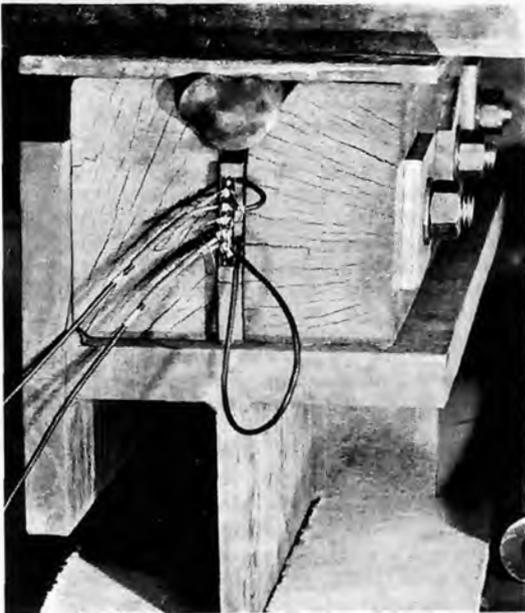
nierten Stahlhohlkörper besteht, dessen Haut mit der Füllung schubfest verbunden ist, noch den hydraulischen Vorteil, daß sie auf beiden Seiten vollständig glatt ist und keinen Anlaß zur Wirbelbildung gibt.

Bei den Dichtungen kann der hohe Wasserdruck auch als Anpreßdruck ausgenützt werden. Daher ist das Dichthalten der Tiefverschlüsse meist nicht so schwierig wie die Reduzierung der auftretenden Dichtungsreibung und des Verschleißes. Zwei Wege werden vorzugsweise beschriften: entweder werden die Dichtungen mit Metall gepanzert, wodurch Verschleiß und Reibung vermindert werden, oder der Innendruck der Dichtung wird durch Ventile so gesteuert, daß er während der Bewegung der Schütze mit dem Unterwasser in Verbindung gebracht wird. Erst in der Verschlussstellung wird automatisch der Oberwasserdruck eingeleitet und preßt die Dichtung an. Eine Dichtungsreibung trifft dabei überhaupt nicht auf. Dabei muß aber sorgfältig überlegt und oft an maßstabgetreuen Modellen untersucht werden, ob nicht in irgend einer Zwischenstellung ein gefährliches Vibrieren der gesamten Dichtung eintreten kann.

Wenn bei Tiefverschlüssen die tragende Stahlkonstruktion auf der Oberwasserseite der Stauhaut angeordnet werden muß, treten beim Öffnen und Schließen unter einseitigem Druck gewaltige Sogkräfte durch strömendes Wasser auf. Für die schon vorhin erwähnten Notverschlusstafern der Einlaufbauwerke in Assuan — die mit  $14 \times 8,6$  m bei 34 m Wasserdruck zu den größten ihrer Art in der Welt gehören — wurde durch theoretische Überlegungen eine Sonderkonstruktion mit besonders günstigen hydraulischen Eigenschaften gefunden und im Modellversuch überprüft. Die tragende Stahlkonstruktion dieser schweren Schütze ist als Fallwerk ausgebildet. Sie wird in lotrechter Richtung durchströmt und damit von Sogkräften wesentlich entlastet. Diese Bauform hat sich vorteilhafter erwiesen als Verschlusskonstruktionen, die in Amerika mit großem Aufwand an Modellversuchen für ähnliche Verhältnisse entwickelt wurden.

Der österreichische Stahlwasserbau hat sich gegen schwere internationale Konkurrenz heute eine bedeutende Stellung auf dem Weltmarkt erkämpft. In den letzten vier Jahren haben österreichische Stahlbauunternehmen 9400 t Exportaufträge im Stahlwasserbau erhalten, das sind 34% der gesamten Produktion, ein höherer Anteil als in anderen Zweigen des Stahlbaues. Bei der Einschätzung der Gesamtziffer muß wiederum die besondere Lohnintensität des Stahlwasserbaues berücksichtigt werden.

Es ist bekannt, daß das Exportgeschäft besonders hohe Anforderungen stellt. Die Schwierig-



Versuch mit der aus tropischem Hartholz Azobe bestehenden Dichtung der  $19,15 \times 8,20$  m Saugrohrverschlüsse eines afrikanischen Kraftwerkes

Unten: Modell zur Untersuchung der Wirkungsweise einer Tiefschützendichtung, die durch einen Ventilmechanismus während der Bewegung vom Anpreßdruck vollkommen entlastet wird

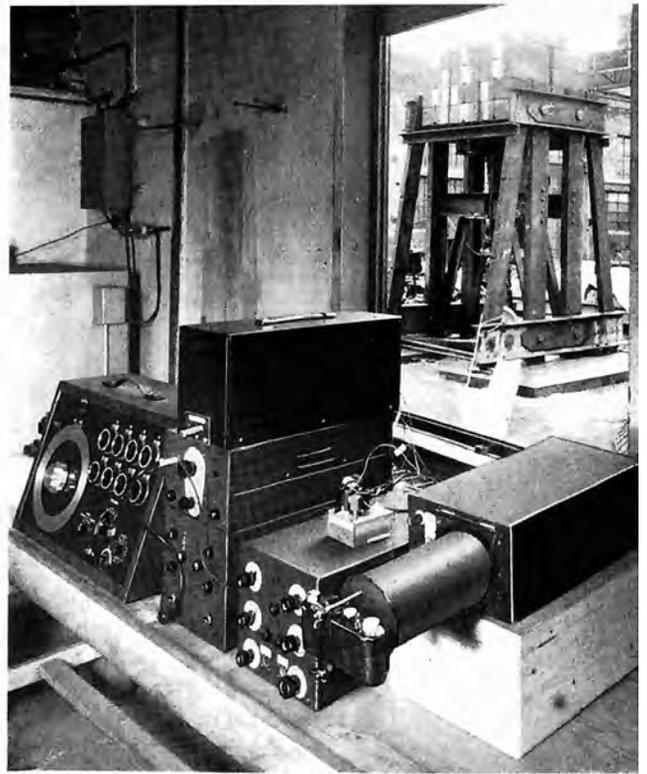


keiten der kommerziellen Abwicklung, der Plangenehmigung, der Reisen und zeitraubenden Verhandlungen in einem Absatzgebiet, welches sich von der Türkei bis Australien erstreckt, sind dabei im Stahlwasserbau dieselben, wie beim Export von vielen anderen Investitionseinrichtungen. Man stößt aber auch auf besondere technische Probleme des Stahlwasserbauexportes. Beim Abwägen der Vor- und Nachteile, die ja an sich jeder Konstruktionsform anhaften, muß im Ausland oft ein anderer Maßstab angelegt werden.

In Gebieten, die am Beginn ihrer Entwicklung stehen und die beim Ausbau ihrer Wasserkräfte und Speicheranlagen für Bewässerungszwecke noch aus dem Vollen schöpfen, kommt es auf hundertprozentige Dichtheit der Verschlüsse nicht immer an. Wasserverluste können in Kauf genommen werden, aber die örtlichen Hilfsmittel zur Wartung der Anlagen sind oft sehr primitiv und die geringste Störung würde die Entsendung eines Monteurs aus Übersee erforderlich machen. Schon der äußere Anblick eines Wehres in einem subtropischen Fluß — charakterisiert durch eine Unzahl gleichartiger und meist kleiner Verschlüsse, die oft von einem einzigen fahrbaren Hubwerk betätigt werden — unterscheidet sich weitgehend vom gewohnten Bild einer Stauanlage in Mitteleuropa, wo die Abwägung der Kosten von Tiefbau und mechanischen Teilen meist große Verschlussweiten bedingt. Mechanische Feinheiten — wie Doppelschützen, Aufsatzklappen etc. — zur genauesten Regelung des Stauziels sind nicht unbedingt notwendig in Großraumländern, wo noch technische Leistungen für die Allgemeinheit vollbracht werden können, ohne daß viele Einzelpersonen sich in ihren Rechten verletzt fühlen.

Zu den technischen Besonderheiten des Exportgeschäftes kann man schließlich auch Verhandlungen mit beratenden Ingenieuren des Bauherrn zählen, wenn diese aus Ländern stammen, in denen andere Relationen zwischen den Komponenten Materialpreis und Lohn auch andere Konstruktionsformen herausgebildet haben.

Als Beispiel dafür, wie sehr die oft ungewohnten Voraussetzungen eines fremden Landes einen



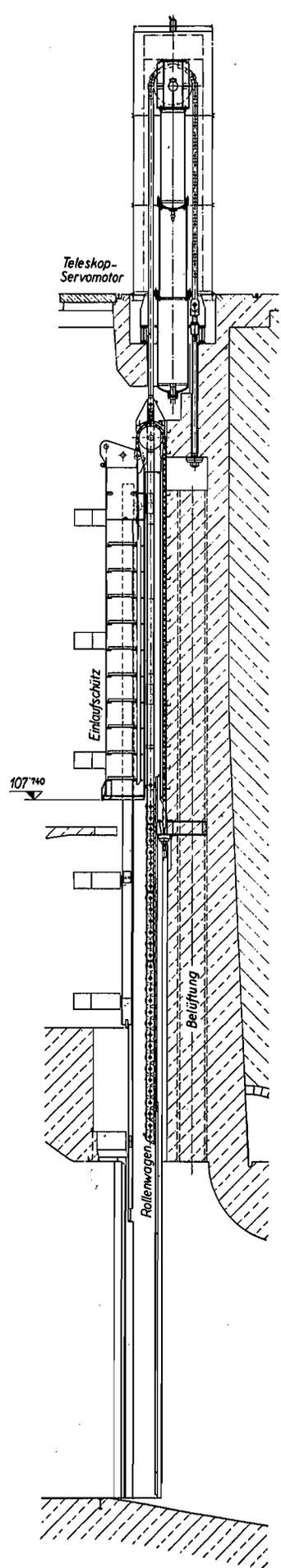
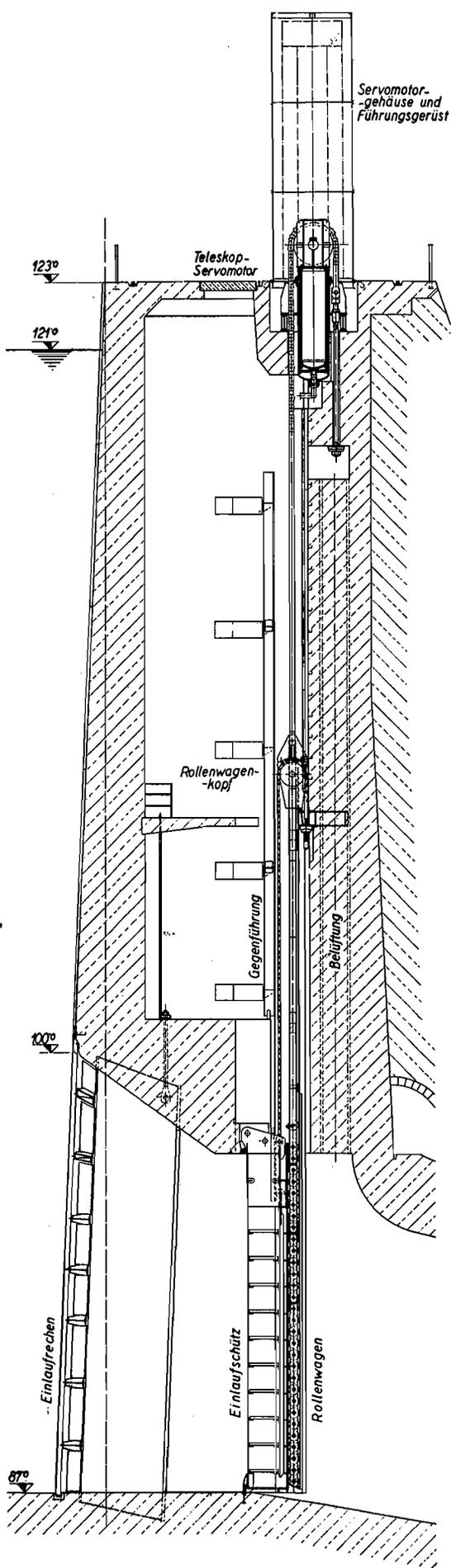
Meßeinrichtung zur Bestimmung der Dämpfung am Modell des hydraulischen Servomotors einer Schnellschlußschütze

Entwurf beeinflussen, sollen an Hand der beigegebenen Schnittzeichnung die Turbinen-Einlaufschützen des Kraftwerkes Assuan kurz beschrieben werden. Die neue Anlage wird das Gefälle der schon seit einem halben Jahrhundert bestehenden Nilsperre zur Kraftgewinnung ausnützen. Für die 16 Einlaufschützen mit 34 m Druckhöhe sind viele Alternativen vergleichend untersucht worden: Rollschützen, Sektorschützen und Rollenketten-(Caterpillar-)schützen. Aus Platzgründen konnte die robuste Sektorbauweise nicht angewandt werden und es wäre nun wohl am naheliegendsten gewesen, Rollenschützen über ein starres Hubgestänge durch in der Sperrmauer hängende Öldruckservomotore zu betätigen.

Zum Unterschied von einer nur für ein Kraftwerk errichteten Anlage, haben aber beim Assuan-speicher, von dem buchstäblich das Leben Ägyptens abhängt, die Belange der Bewässerung absolute Priorität vor der Energiegewinnung. Ein auch nur geringes Absenken des Stauspiegels zur Durchführung einer wichtigen Reparatur an der Kraftanlage ist undenkbar. Man versuchte daher im Einlaufbauwerk eine Anordnung zu finden, bei der die Servomotore über dem Normalstau zu liegen kommen und bei der die Verschlussunterkanten bis auf Höhe 107 gehoben werden können, weil dann die Schützen zumindest einen Teil des Jahres für Überholungsarbeiten an den Dichtungen und am Anstrich zur Gänze zugänglich sind. Um die erforderliche Hubhöhe von 20 m mit Servomotoren zu erzielen, deren Führungsgerüste und Druckzylinder über der Dammkrone in konstruktiv vernünftigen Grenzen bleiben, ist zumindest eine 4-fache Übersetzung zwischen Servomotorhub und Schützenhub erforderlich. Damit lag der Gedanke



Metallmodell zur Untersuchung der Sogwirkung auf die 8,6 × 14 m Notverschlussschütze vor den Turbinen-einläufen des Kraftwerkes Assuan



Turbineeinlaufschütze für den Aswan-Dam Ägypten, links geschlossen, rechts angehoben. Der Hub des ständig über dem Stauspiegel befindlichen Teleskop-Servomotars wird auf die Schütze vierfach übersetzt, die Zwischenstufe dient der Zwangsführung des Rollenwagens. Im Einlaufdamm befinden sich 16 derartige Schützen

nahe, die Zwischenstufe dieser Kettenübersetzung zur Aufhängung eines Rollenwagens mit halber Laufgeschwindigkeit der Schütze nach der Stoneytype zu benutzen, womit auch die Wartung von belasteten Achslagern in Fortfall kommt.

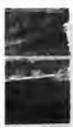
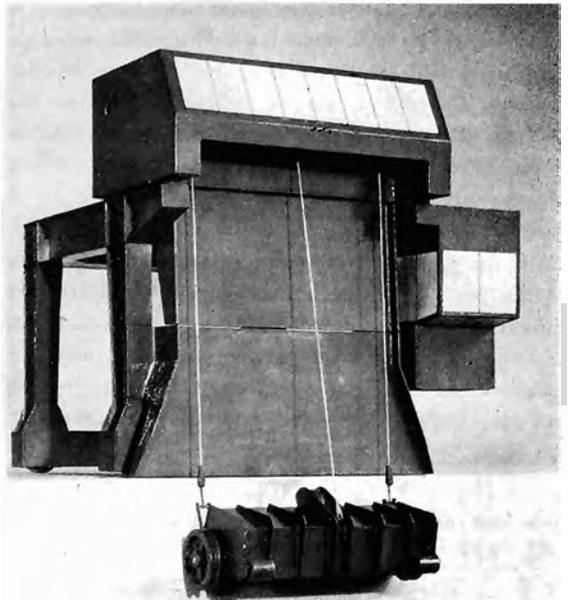
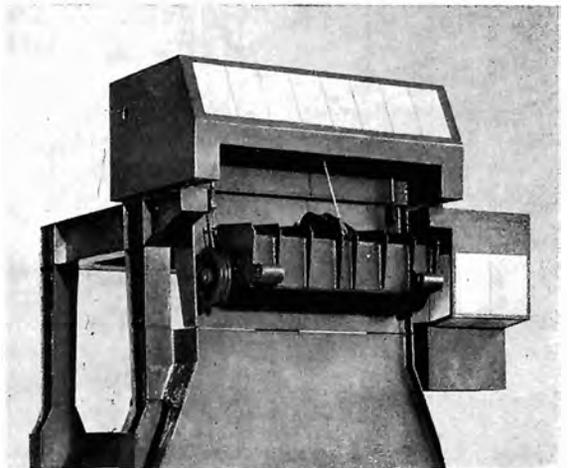
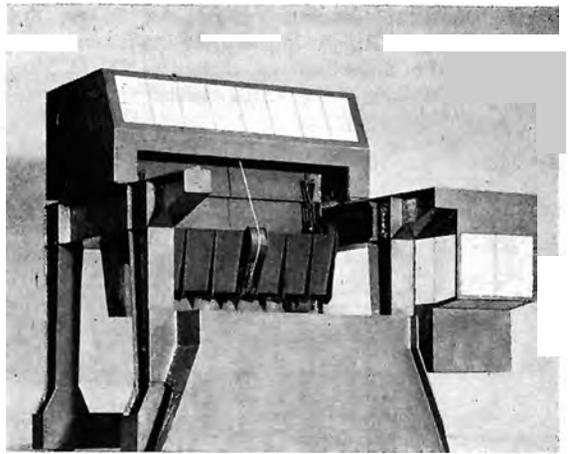
Jeder mitteleuropäische Fachmann denkt an veraltete Konstruktionen, wenn das Wort „Stoney-schütze“ fällt. Die Bauweise wurde bei uns im Wehrbau schon seit etwa 40 Jahren verlassen. Sie hat im allgemeinen folgende Nachteile:

- (1) Die Schütztafeln sind statisch unbestimmt gelagert.
- (2) Die hohen Windwerkstürme stören das Landschaftsbild.
- (3) Es gibt häufig Störungen, weil bei gezogener Schütze der Rollenwagen noch zur Hälfte im strömenden Wasser hängt.
- (4) Die vielen kleinen Rollen sind durch Vereisung besonders gefährdet.

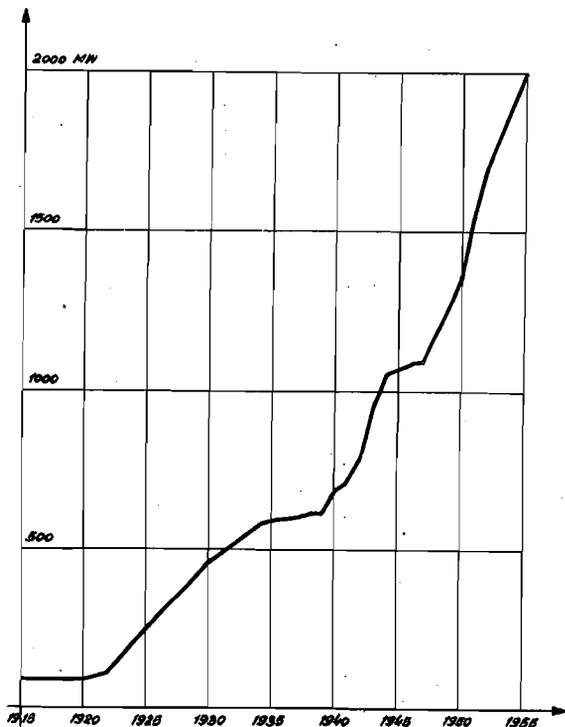
Im Falle Assuan hätte sich nun — wie bei den meisten Tiefschützen, die mehr hoch als breit sind — die statisch unbestimmte Auflagerung kaum umgehen lassen. Hohe Gerüstpfeiler für die Windwerke sind nicht erforderlich, weil die Anlage größtenteils in der Mauer Platz findet. Die Schützen werden so hoch gehoben, daß auch die Rollenwagen aus der Strömung kommen und Vereisung in Ägypten nicht zu befürchten ist. Es bekommen also nur die vorher angeführten Vorteile Gewicht und der Entwurf entstand aus einer Kette unvoreingenommener Überlegungen und keineswegs aus Vorliebe für Tradition, wie der flüchtige Betrachter glauben könnte. Die Aufhängung des Rollenwagens an der Schützenhubkette wird hier sogar erstmals ausgeführt. Die Rollendurchmesser sind gegenüber alten Ausführungen stark vergrößert und durch reichliche Verwendung von rostfreiem Material werden die ständig im Wasser liegenden Teile praktisch wartungsfrei.

Entscheidend für die Kosten von Stahlbauwerken sind oft die gültigen Vorschriften. Bindende Normen, wie z. B. im Brückenbau, gibt es im Stahlwasserbau im allgemeinen nicht. Die Belastungsannahmen, zulässigen Spannungen usw. werden bei größeren Anlagen meist vom Bauherrn festgesetzt. Wenn man den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt mit der Annäherung der zulässigen Spannung an die Fließgrenze bewertet, würde der Stahlwasserbau schlecht abschneiden. Man darf aber erstens nicht vergessen, daß der in Rechnung gestellte Wasserdruck als Folge der Stauhöhe mit geometrischer Sicherheit wirklich auftritt, während oft nur sehr geringe Wahrscheinlichkeit besteht, daß Lastkombinationen zustandekommen, für die sonst Konstruktionen bemessen werden. Und während andere Industriebauten rasch veralten, d. h. unproduktiv werden und daher ohnehin umbaufähig entworfen sein sollten, sind die Wirkungsgrade unserer Turbinen und Generatoren heute schon so hoch, daß Wasserkraftwerke selbst in unserer stürmischen technischen Entwicklung sehr wahrscheinlich noch in 50 Jahren „modern“ sein werden. Ein wirklicher Zwang, die mechanischen Anlagen von Wasserbauten auszuwechseln, um die Wirkungsgrade

Arbeitsspiel einer Rechenreinigungsmaschine, deren Oberteil als fahrbare Katze ausgebildet ist, damit trotz niedriger Gesamtbauhöhe das Reinigungsgut auf normale Lastkraftwagen verladen werden kann



entscheidend zu erhöhen, wird auf lange Sicht nicht bestehen. Das Anlegen eines anderen Maßstabes an die Sicherheit ist daher auch im Stahlwasserbau durchaus gerechtfertigt.



Ausbau der Wasserkräfte Österreichs 1915 — 1955

#### Diskussion:

Prof. Reinitzhuber fragt an, welche Stähle nach welchen Normen in der Schweiz für den Stahlwasserbau Verwendung finden. Dr. Kollbrunner antwortet darauf, daß die schweizerischen SIA-Normen die Verwendung jeden Stahles gestatten, wenn der Nachweis der geforderten Materialeigenschaften erbracht wird. Auch könnten die zulässigen Spannungen nach ähnlichen Überlegungen wie in Österreich erhöht werden. Die Frage, ob für Stähle mit Dicken über 25 mm beruhigte Stähle und Kerbschlagproben bei Temperaturen von  $-25^{\circ}\text{C}$  verlangt würden, blieb auf die bereits genannten Hinweise beschränkt. In der Schweiz würden für mechanisch beanspruchte Teile auch gerne rostfreie Stähle verwendet. In Schweden würde im Stahlwasserbau bereits alles geschweißt. Hierbei antwortete Dr. Kollbrunner jedoch, daß in der Schweiz Baustellenschweißungen vermieden würden, weil zu starke Haltevorrichtungen benötigt werden, auch werden die Nietköpfe hydraulisch nicht als allzu störend empfunden.

Ob.-Ing. Hiemesch fügt hinzu, daß auch bei uns eine Stahlbestellung nach Werksnorm üblich sei, nicht zuletzt bei Exportaufträgen.

Zur Frage der zweckmäßigsten Elektrodenverwendung wurde bemerkt, daß basische Elektroden wohl

technisch höherwertiger, wegen des schöneren Aussehens die Decklagen jedoch mit sauren Elektroden hergestellt werden.

Prof. Reinitzhuber und später auch Dr. Bätig regten an, die Größe des Sicherheitsfaktors für Stahltragwerke, der von verschiedenen Seiten bereits als noch zu hoch erachtet wird, Ausschüssen zuzuführen, dies im Einvernehmen mit Laboratorien und Versuchsanstalten. Es müßte Aufgabe des Stahlbauvereines sein, an die Normenausschüsse zwecks Erhöhung der zulässigen Spannung für Stahltragwerke nicht nur des Stahlwasserbaues, sondern auch des Stahlhochbaues, heranzutreten. Dr. Cichocki wendet hierbei auch ein, daß im Stahlbau gegenüber den anderen Bauweisen ohnedies im allgemeinen zu viele Nachweise geführt würden, ohne Berücksichtigung des materialbedingten Abbaues der Spannungsspitzen und der räumlichen Tragreserven.

Dipl.-Ing. Baumann bringt die Diskussion auf das Problem des Rostschutzes, indem er anfragt, warum wohl Prok. Schloffer von den Ennskraftwerken bei seinem Vortrag im Österr. Ing. u. Arch.-Verein Anfang des Jahres 1954 nur dem Minium mit Inertolanstrich die besten Erfahrungen zusprach, während doch anerkanntermaßen, wie auch im Vortrag angeführt, Zink für die Stahlkonservierung große Vorteile bietet.

Dr. Kollbrunner antwortet hierauf, daß in der Schweiz zum Beispiel die Spritz- und Feuerverzinkung als Rostschutz vorgezogen wird, bei großflächigen Bauteilen wegen der Nacharbeit infolge Verziehens mehr das Spritzverzinken. Jedoch müssen je nach Geschiebtrieb bis zu 4 Deckanstriche folgen. Der Zinkverbrauch bei Stahlwasserbauten wird mit  $1,9\text{ kg/m}^2$  gespritzt angegeben, die Kontrolle erfolgt mit elektrischer Messung, die Garantie soll 10 bis 15 Jahre betragen.

In der nachfolgenden, sehr lebhaften Diskussion zu diesem wichtigen Problem wurde auch zum Ausdruck gebracht, daß das Verfahren mit Verzinkung und nachherigem Deckanstrich vor allem in Ländern mit hohem Arbeitslohn betrieben wird, während der nicht so kostspielige Rostschutz auf Miniumbasis, der aber laufend instandgehalten werden muß, bei uns, wo wir auch Blei im eigenen Lande produzieren, nicht von der Hand zu weisen ist. Aus Spanien wurde ein Beispiel zitiert, wo insgesamt 18 Anstriche mit zusammen nur  $\frac{1}{2}\text{ mm}$  Stärke als Rostschutz aufgebracht worden seien.

Es wurde angeregt, dieses umfangreiche Arbeitsgebiet zusammen mit dem Verband der Österr. Kraftwerke (Vorsitz Prok. Schloffer) weiter zu verfolgen.

Dir. Klinger wendet noch ein, daß neben der Geschiebewirkung auch die Kavitationswirkung nicht unterschätzt werden darf, sie kann fünfmal so groß, wie in den Handbüchern angegeben, sein.

# Neuere österreichische Druckrohrleitungen und Druckschächte

Von Ernst Chwalla, Technische Hochschule Graz

*Herrn Prof. Dr. Ing. Hermann Grengg zur Vollendung des 65. Lebensjahres in Verehrung gewidmet*

## Inhaltsübersicht:

1. Einleitung.
2. Die von 1924 bis zum Ende des zweiten Weltkrieges gebauten Druckrohrleitungen.
3. Die Herstellung lichtbogengeschweißter Druckrohrleitungen.
4. Der Blechwerkstoff.
5. Die ersten Druckrohrleitungen aus ALDURstählen. Die zulässigen Spannungen und die Rohrbruchsicherungen.
6. Die seit 1948 gebauten Druckrohrleitungen.
7. Druckrohrleitungen mit großem Innendruck. Die Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifseck.
8. Bandagierte Rohre. Autofrettierte Rohre, Rohre nach dem System Ferrand.
9. Der Anteil des Gebirges bei der Aufnahme des Innendruckes von Panzerstollen und Panzerschächten.
10. Versuch einer internationalen Rangordnung. Die Falleitung des Lünenseewerkes.
11. Bemessung von Panzerrohren auf Innendruck.
12. Bemessung von Panzerrohren auf Außendruck.

## 1.

Ich bin der Einladung des Österreichischen Stahlbauvereines, über neuere österreichische Druckrohrleitungen und Druckschächte zu berichten, sehr gern gefolgt, weil wir in Österreich beachtenswerte Anlagen dieser Art besitzen und weil man sich bei uns mit den Problemen, die beim Entwurf, bei der Bemessung und bei der Herstellung dieser Bauwerke auftreten, schon vor vielen Jahren auseinandersetzen mußte; die großen Falleitungen aus der Zeit nach dem ersten Weltkrieg und die richtungsweisenden Arbeiten des österreichischen Ministerialrates *H r u s c h k a*<sup>1)</sup> sind hierfür Beweise. Über die genannten Probleme wäre demnach viel zu sagen, daß im Rahmen meines Referates nur ein flüchtiger Überblick geboten werden kann, — sind doch in den vergangenen sieben Jahren nicht weniger als 30 Falleitungen in Österreich gebaut worden. Die Behörden, die Bauherren und die Firmen haben mir 110 Lichtbilder oder Unterlagen für Lichtbilder zur Verfügung gestellt. Für dieses freundliche Entgegenkommen habe ich vor allem Dank zu sagen: Dem Bundesministerium für Verkehr und verstaatlichte Betriebe, der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen (Elektrifizierungsamt Wien), dem Vorstand der Vorarlberger Illwerke AG, der Österreichischen Draukraftwerke AG, der Tauernkraftwerke AG und der Niederösterreichischen Elektrizitätswerke AG, sowie den Firmen Gebrüder Sulzer AG in Winterthur, der Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange in Gelsenkirchen, der A. T. B., Acciaieria e Tubificio di Brescia in Brescia, der TERNI, Società per l'Industria e l'Elettricità in Terni, der VOEST, Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG in Linz und der Waagner-Biró AG in Wien-Graz.<sup>2)</sup> Persönlichen Dank habe ich auf

der Behördenseite den Herren Min.-Rat Dipl.-Ing. O. L a n s e r, Sektionsrat Dipl.-Ing. F. K o r e n j a k und Zentralinspektor Dipl.-Ing. E. T r a e g, auf der Bauherrenseite den leitenden Ingenieuren Dipl.-Ing. H ä m m e r l e, Dipl.-Ing. B r u g g e r, Dipl.-Ing. F o x und Baudirektor Dipl.-Ing. M ä n n l, und auf der Firmenseite den leitenden Ingenieuren Prokurist Dipl.-Ing. G ö t z, Dipl.-Ing. H i e m e s c h und Dipl.-Ing. M o d e r für ihre liebenswürdige Hilfe zum Ausdruck zu bringen.

Auf der Stahlbautagung 1952 in Linz ist von sehr berufener Seite — von Herrn Dipl.-Ing. U. H i e m e s c h — über den österreichischen Druckrohrleitungsbau berichtet worden und Herr Kollege H i e m e s c h wird uns die Freude machen, heute das Koreferat über „Druckrohrleitungen aus Österreich in aller Welt“ zu halten. Ich vermag mich daher in vielen Belangen kurz zu fassen und lasse Falleitungen, die von österreichischen Firmen im Ausland gebaut worden sind, außer Betracht. Wir bezeichnen das Gesamtbauwerk, das den Triebwasserweg vom Wasserschloß hinunter zu den Turbinen festlegt, allgemein als Falleitung und haben hier verschiedenartige Einzelbauwerke zu unterscheiden, bei denen dem Werkstoff Stahl eine tragende Rolle zukommt:

Die mit Stahlblech gepanzerten Druckstollen und Druckschächte (Bild 1 bis 3), die freien Druckrohrleitungen über Tag (Bild 4) oder im Rohrstollen unter Tag (Bild 5), sowie die eingeschütteten oder mit Beton umhüllten Druckrohrleitungen (Bild 6 und 7). Ferner bei den Talkreuzungen der Triebwasserwege die Taldüker (Bild 8), die selbsttragenden Rohr-Balkenbrücken (Bild 9 bis 11) und die selbsttragenden Rohr-Bogenbrücken (Bild 12); die beiden letztgenannten Bauwerke zum Unterschied von den Stahlbrücken (Bild 13) oder Massivbrücken (Bild 19), die den Rohrstrang tragen. Dann die Krümmer (Bild 14) und die der Aufspaltung des Triebwasserweges dienenden Hosenrohre (Bild 15) sowie die Verteilrohrleitung beim Krafthaus (Bild 16) mit den Abzweigen zu den Turbinen und gegebenenfalls auch zu den Speicherpumpen. Außer den kreiszylindrischen Rohren gibt es gerade Konusrohre, die eine Verringerung des Durchmessers ermöglichen und die ebenso wie die Krümmer, die Hosenrohre und die Abzweigstücke zu den „Formstücken“ zählen. An konstruktiven Details seien die Stopfbüchsen-Dehnstücke (Bild 17), die Mannlochverschlüsse sowie die Flanschverbindungen (auch solche mit Keilringpaaren zum zwängungsfreien Anschluß des Rohrstranges an den einbetonierten Festpunktkrümmer (Bild 18) erwähnt. Auch die betonierten Festpunktblöcke — entweder mit Bruchsteinmauerwerk verkleidet (Bild 19) oder unverkleidet (Bild 20) oder mit Stahlverankerung ohne Betonhaube (Bild 14), sowie die Gleitlager und die Betonsockel der Rohre (Bild 21) zählen zur Falleitung.

Der Entwurf und der Bau moderner, schwerer Druckrohrleitungen bedarf der Zusammenarbeit von Fachleuten sehr verschiedener Fachrichtung: Von Ingenieurgeologen, von Hydraulikern und



Bild 1: Schrägstollen-Panzerung Maiskogel, Falleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun der Tauernkraftwerke AG. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

Spezialisten der Druckstoffberechnung, von Stahlbauern und Spezialisten des Rohrbaues, von Metallurgen, Schweißfachleuten und Werkstoffprüfern, und schließlich auch von Fachleuten des Hoch- und Tiefbaues, des Turbinen- und Pumpenbaues, des Transportes und der Montage. Bei der Erstellung größerer Wasserkraftanlagen veranlaßt die Oberste Wasserrechtsbehörde (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft) die von ihr bestellten Sondersachverständigen zur steten Führungnahme bei den Projektierungsarbeiten und mit dem Baugeschehen. Im Druckrohrleitungsbau, wo den Werkstoffproblemen und der stahlbautlichen Schweißung eine dominierende Rolle zufällt, wird der Bauherr von der Wasserrechtsbehörde eingeladen, eine autorisierte Versuchsanstalt mit der Werkstoffabnahme sowie mit der Überprüfung der Fertigung und Montage zu betrauen, und einen Sondersachverständigen mit der Beurteilung und Begutachtung der gewonnenen Prüfungsergebnisse zu bestellen. Alle diese Sondersachverständigen arbeiten gemeinsam mit den amtstechnischen Sachverständigen der Wasserrechtsbehörde<sup>3)</sup> und alle arbeiten im vollen Einvernehmen mit dem Bauherrn und den Lieferfirmen.

Nähere Angaben über die älteren österreichischen Wasserkraftanlagen sind dem offiziellen Bericht des Österreichischen Nationalkomitees zu den Weltkraftkonferenzen in Berlin 1930 und Stockholm 1933 zu entnehmen.<sup>4)</sup> Der Aufbau der österreichischen Elektrizitätswirtschaft vor und nach 1945 wurde von O. V a s<sup>5)</sup> geschildert und belegt.

Die Druckrohrleitungen der älteren Wasserkraftanlagen sind ähnlich wie die Dampfkessel genietet worden und demgemäß waren für ihre Herstellung die österreichischen Kesselbau-

anstalten und Lokomotivfabriken zuständig. Dieser erste Abschnitt des österreichischen Druckrohrleitungsbau es beginnt etwa 1888 (Mühlau bei Innsbruck) und endet mit dem ersten Weltkrieg. Zeugen aus jener Zeit sind in Tirol<sup>6)</sup> beispielsweise die Druckrohrleitung des Sillwerkes der Stadtgemeinde Innsbruck (1903) und des benachbarten Ruetzbachwerkes (1912), das den Einphasenwechselstrom mit  $16\frac{2}{3}$  Hz für die Mittenwaldbahn erzeugte und durch einen Verbindungsstollen mit dem Sillwerk „hydraulisch gekoppelt“ werden konnte — ähnlich, wie man dies vor einigen Jahren auch für die Bahnstrom-Werksgruppe S t u b a c h und die benachbarte Drehstrom-Werksgruppe Kaprun im Horizont Mooserboden-Tauernmoosboden studierte. Die Druckrohrleitung des Sillwerkes hatte genietete Längsnähte und aufgenietete Flanschen (Nietwinkel-Flanschverbindungen) mit Gummidichtung<sup>7)</sup>. Das Ruetzbachwerk ist 1923 im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Arlbergstrecke vergrößert worden.<sup>4)8)</sup> Während die alte Druckrohrleitung von den Eisenwerken Witkowitz geliefert worden ist, wurde die Herstellung der neuen, aus konischen Schüssen genieteten Leitung der Lokomotivfabrik Krauss & Co. in Linz übertragen. Die statische Druckhöhe beträgt hier  $H_s = 881 - 706 = 175$  m; der Innendurchmesser  $D_i$  nimmt von 1450 mm auf 1250 mm (vor Beginn der Verteilrohrleitung) ab und die Wanddicke  $s$  nimmt von 8 auf 20 mm zu.<sup>9)</sup> In Steeg am Hallstättersee ist 1910 ein Drehstromkraftwerk mit  $H_s = 190$  m in Betrieb genommen worden, das 1923 durch eine Bahnstromanlage ergänzt wurde;<sup>4)10)</sup> die Druckrohrleitung mit  $D_i = 1200$  mm und  $s = 8/20$  mm hat aufgenietete Flanschen und wurde von der Firma Posselt in Linz geliefert. Im selben Jahr ging auch das Kraftwerk Wienerbruck der NEWAG in Betrieb,<sup>4)</sup> das von zwei Speichern bedient wird (es ist das erste Speicherkraftwerk Österreichs) und sowohl Drehstrom als auch Bahnstrom mit 25 Hz

Bild 2: Druckstollen-Panzerung von 1800 mm Durchmesser, Lichtbogenschweißung einer Montage-Rundnaht. Soc. COFOR, Milano



(den letzteren für die Elektrifizierung der Mariazellerbahn) erzeugt; die Druckrohrleitung Lassing hat  $H_s = 171$  m und die Druckrohrleitung Erlauf hat  $H_s = 160$  m. Auch die Druckrohrleitung des Wiestalwerkes der Stadtgemeinde Salzburg ( $H_s = 86$  m) wurde 1910 errichtet, und die Waagner-Biró AG stellte in jenem Jahr die Druckrohrleitung Trieben der Veitscher Magnesitwerke AG ( $H_s = 170$  m) her. Im Jahre 1914 wurde von der NEWAG das Kraftwerk Myra mit einer kleinen Druckrohrleitung ( $H_s = 96$  m) gebaut, und 1917 ging das Blühnbachwerk der Mitterberger Kupfer AG ( $H_s = 148$  m) in Betrieb.

In der Zeit nach dem ersten Weltkrieg kamen im österreichischen Druckrohrleitungsbau Rohrschüsse zur Verwendung, deren Längsnähte — um den Reduktionsfaktor der Nietlochwächung bis auf den Reduktionsfaktor der Wassergas-Schweißverbindung zu heben — wassergasgeschweißt worden sind<sup>11)</sup> und die auf der Baustelle durch Nietverbindungen — in der Regel durch konische Nietmuffen — verbunden wurden. Das Wassergas entsteht bekanntlich beim Überleiten von Wasserdampf über glühenden Koks und gibt eine stark reduzierende Flamme. Mit dieser wurden die überlappten Blechränder bis zur Weißglut erhitzt, um in diesem Zustand mit Preßluft-Hämmern zusammengeschweißt zu werden; anschließend wurden die Rohre normalisierend geglüht und noch im heißen Zustand nachkalibriert. Auch die Rundnähte konnten im Werk wassergas-

geschweißt werden, nur erfolgte dann die Hämmern nicht maschinell am Fließband. Rohrschüsse mit wassergasgeschweißten Längsnähten wurden im Ausland hergestellt, beispielsweise bei Mannesmann in Huckingen, bei Thyssen in Mülheim/Ruhr, im Eisenwerk Witkowitz, bei Ferrum in Kattowitz, bei TUBITOGNI in Brescia oder bei E. B. V. in Grenoble. Von der AG Ferrum in Kattowitz stammen beispielsweise die Rohre für das Gampadelswerk der VKW im Montafon, das 1925 in Betrieb ging,<sup>12)</sup> und auch Rohre der vier Jahre später gebauten Druckrohrleitung Bösdornau,<sup>13)</sup> doch kamen schon 1924 — bei der doppelsträngigen Druckrohrleitung des Bärenkraftwerkes Fusch der SAFE<sup>13)</sup> — wassergasgeschweißte Rohre einer deutschen Firma (Phoenix, Vereinigte Rohrleitungsbau GmbH) zur Verwendung. Seit jenem Jahre 1924 bis zum Ende des zweiten Weltkrieges waren dann die einschlägigen deutschen Firmen beim Bau österreichischer Druckrohrleitungen — bei der Herstellung der wassergasgeschweißten Rohre und vielfach auch bei der Montage — maßgeblich beteiligt; es gilt dies, wie wir im weiteren sehen werden, beispielsweise für die Druckrohrleitungen des Spullerseeerwerkes der ÖBB, des Achenseekraftwerkes der TIWAG, der Kraftwerke Stubach I und II sowie Obervellach der ÖBB, des Vermuntwerkes, des Obervermuntwerkes und des Rodundwerkes der VIW, des Gerloskraftwerkes der TIWAG und der Hauptstufe Glockner-Kaprun der TKW.

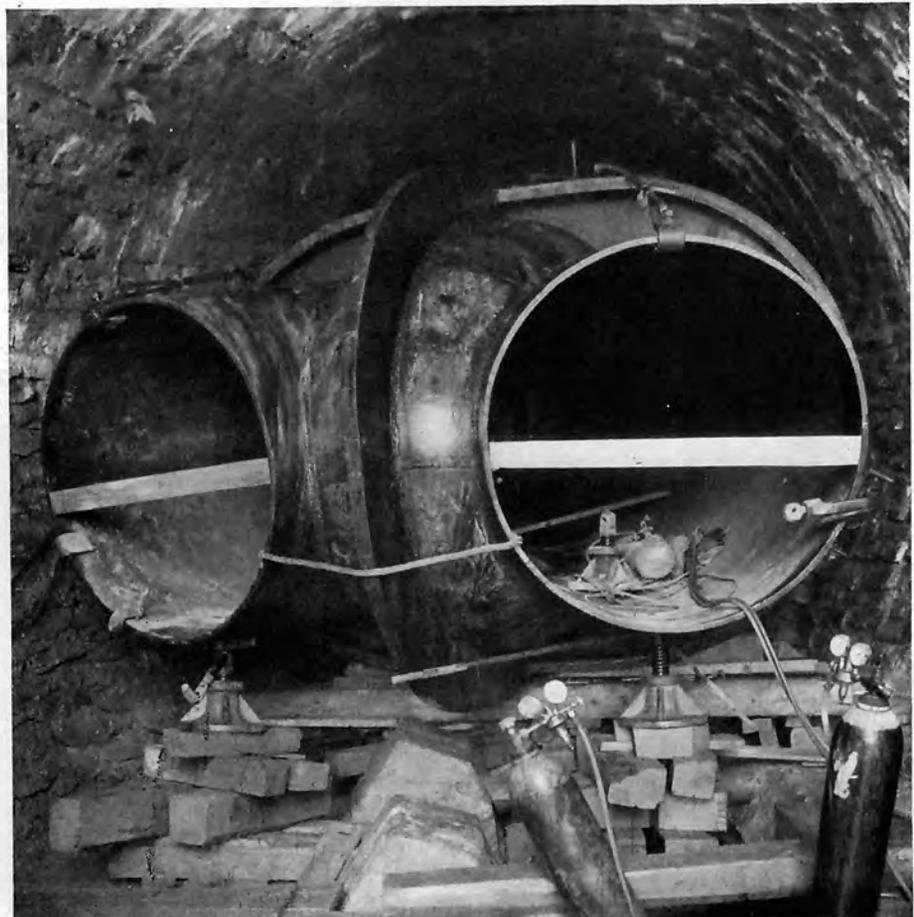


Bild 3: Schrägstollen-Panzerung Maiskogel, Falleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun der Tauernkraftwerke AG, Kleines Hosenrohr. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

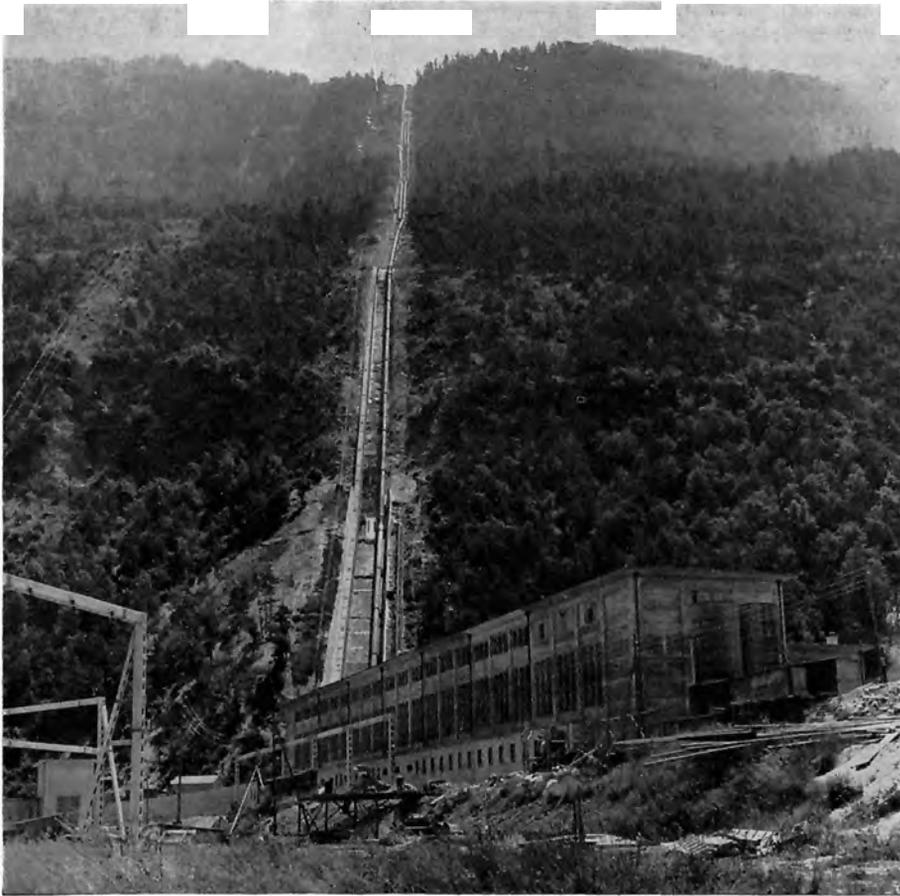


Bild 4: Freie Druckrohrleitung. Unterer Teil der Druckrohrleitung Riddes der Anlage Mauvoisin, Walliser Alpen, Schweiz. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur

Auch im jüngsten Zeitabschnitt des österreichischen Druckrohrleitungsbaues wurde ausländischen Firmen Gelegenheit gegeben, ihr großes Können unter Beweis zu stellen. Auf Grund internationaler Ausschreibungen sind im Rahmen der Vergebung des Baues der Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifjeck (es ist dies derzeit die Druckrohrleitung mit dem größten Innendruck der Welt) und der Falleitung des Lünenseewerkes (es ist dies derzeit die Druckrohrleitung, die hinsichtlich der Größe der Umfangzugkraft an zweiter Stelle der Weltrangliste steht) außer den führenden österreichischen Firmen auch die Gebrüder Sulzer AG in Winterthur, die Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange in Gelsenkirchen, die A. T. B., Acciaieria e Tubificio di Brescia, già TUBITOGNI in Brescia und die TERNI, Società per l'Industria e l'Elettricità in Terni beauftragt worden.

## 2.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen geben wir einen kurzen Überblick über die in der Zeit von 1924 bis zum Ende des zweiten Weltkrieges gebauten größeren Druckrohrleitungen und bringen vorerst eine Karte von Österreich, in der die Orte der Wasserkraftanlagen, deren Druckrohrleitungen wir anführen werden, eingetragen sind (Bild 22). Die Staatsgrenze ist schraffiert, die Grenzen der acht Bundesländer sind gestrichelt eingezeichnet; die großen Flüsse und Seen; sowie die Hauptstädte der Bundesländer sind angegeben. Die schwarzen Scheibchen deuten die Lage jener Mitteldruck- und Hochdruckanlagen an, deren Fall-

leitung Gegenstand unserer Betrachtung sind. Die beiden Scheibchen westlich von Schwarzach beziehen sich auf die Anlagen L e n d und R a u r i s - K i t z l o c h. Bei der Anlage Ö t z hat der Weiterbau noch nicht eingesetzt und das Scheibchen beim Kaiserbachkraftwerk bezieht sich auf die Anlage D o r f e r t a l - H u b e n, die baureif projektiert ist. Daß die Karte keinerlei Anspruch auf Vollstän-

Bild 5: Im Rohrstollen verlegte freie Druckrohrleitung. Speicherstufe Reifjeck der Österr. Draukraftwerke AG, Triebwasserweg vom Speicher zum Wasserschloß. Waagner-Biró AG, Wien-Graz





digkeit zu erheben vermag, braucht nicht betont zu werden. Wir beginnen bei unserem Rückblick mit dem Jahre 1924, weil dies das Herstellungsjahr der Druckrohrleitung des Spullerseekraftwerkes in Vorarlberg — einer doppelsträngigen Leitung für eine statische Druckhöhe von mehr als 800 m — ist (Bild 23); das Kraftwerk gehört den ÖBB und liefert den Bahnstrom für die Arlbergstrecke.<sup>4)14)</sup> Die 8 m langen Rohrschüsse haben wassergasgeschweißte Längsnähte und wurden mit kegelförmigen Nietmuffen (mit ein-, zwei- und dreihelliger Nietung) auf der Baustelle verbunden; diese Bauweise hat sich später auch bei vielen anderen Druckrohrleitungen bewährt. Der Innendurchmesser des Rohrstranges nimmt von oben nach unten von 950 mm auf 650 mm (vor Beginn der Verteilrohrleitung) ab und die Wanddicke nimmt von 18 auf 35 mm zu. Der Blechwerkstoff ist SM-Stahl mit einer Zugfestigkeit von 34 bis 40 kg/mm<sup>2</sup>. Die schiefe Länge des Rohrstranges beträgt 1395 m; es sind 7 Festpunktblöcke und 6 Dehnstopfbüchsen angeordnet. Bei der Festlegung der Wandstärken wurde 2 mm für Rosten und Sandschliff zugeschlagen. Bei der Verteilrohrleitung gibt es Innendurchmesser von 650 bis 500 mm und Wanddicken von 35 bis 43 mm. Die Leitung ist von der Vereinigten Stahlwerke AG (Thyssen & Co, Mülheim/Ruhr) hergestellt worden. Im selben Jahr 1924 kam auch die Druckrohrleitung des Teigitschkraftwerkes Arnstein<sup>4)15)</sup> der

Bild 6: Eingeschüttete Druckrohrleitung während der Herstellung. Kraftwerk Mühlau der Stadt Innsbruck. Wagner-Biró AG, Wien-Graz

Bild 7: Eingeschüttete Druckrohrleitung während der Herstellung. Anlage Plima Lasa der Soc. Montecatini. Soc. TERNI, Terni



STEWAG und des Forstseewerkes<sup>4)</sup>;<sup>16)</sup> der KELAG, ferner auch die schon erwähnte Druckrohrleitung des Bärenkraftwerkes Fusch<sup>4)</sup>;<sup>17)</sup> der SAFE, sowie schließlich auch die Druckrohrleitung des Kraftwerkes Erlaufboden<sup>4)</sup>;<sup>17)</sup> der NEWAG zur Ausführung. Ein Jahr später ging das schon erwähnte Gampadelswerk<sup>4)</sup>;<sup>18)</sup> der VKW sowie das Rannakraftwerk der OKA (erbaut von der Stern & Hafferl AG) in Betrieb. In der Zusammenstellung 1 sind alle diese Druckrohrleitungen und auch noch einige andere in der Zeit zwischen 1924 und dem Ende des zweiten Weltkrieges gebauten Druckrohrleitungen angeführt.<sup>19)</sup>

### Zusammenstellung 1

#### Größere österreichische Druckrohrleitungen aus der Zeit von 1924 bis zum Ende des zweiten Weltkrieges:

Die Jahreszahl bezieht sich auf die Herstellung.  $H_s$  bedeutet die größte statische Druckhöhe des Leitungsstranges vor der Verteilrohrleitung, lotrecht gemessen vom tiefsten Rohrachsenpunkt bis zum Betriebsstauziel des Speichers oder bis zum höchsten Spiegel bei Werksstillstand ohne Hochwasserüberströmung.

$D_i$  ist der Innendurchmesser des Rohrstranges (von oben nach unten abnehmend) und  $s$  ist die Wanddicke (von oben nach unten zunehmend);  $\sigma_B$  ist die Zugfestigkeit des Blechwerkstoffes.

- 1924: Spüllerseewerk der ÖBB, zwei Stränge (schiefe Länge 1395 m),  $H_s = 807,40$  m,  $D_i = 950/650$  mm,  $s = 18/35$  mm, SM-Stahl mit  $\sigma_B = 34/40$  kg/mm<sup>2</sup>, Längsnähte wassergasgeschweißt, konische Nietmuffenverbindung. Ausführung Thyssen & Co., Mülheim/Ruhr. Verteilrohrleitung  $D_i = 650/500$  mm,  $s = 35/43$  mm.
- 1924: Teigitschkraftwerk Arnstein der STEWAG, Strang I,  $H_s = 630,50 - 386,00 = 244,50$  m (altes Stauziel 629,50 vor der Erhöhung der Langmannsperre),  $D_i = 1950/1500$  mm,  $s = 10/28$  mm, Längsnähte genietet mit zwei-, drei- und viersiehiger Überlappung, Rundnähte mit ein- und zweireihigen Nietlaschen, Kesselblech  $\sigma_B = 34 - 41$  kg/mm<sup>2</sup>, 5 Festpunktblöcke, Dehnstücke jeweils in Feldmitte; Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1924: Forstseewerk der KELAG,  $H_s = 165$  m,  $D_i = 1200/900$  mm; Ausführung Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1924: Kraftwerk Erlaufboden der NEWAG,  $H_s = 82,0$  m,  $D_i = 1500$  mm, wassergasgeschweißte Längsnähte, Nietmuffenverbindung.
- 1924: Bärenkraftwerk Fusch der SAFE, zwei Stränge,  $H_s = 287,60$  m,  $D_i = 800/700$  mm, schiefe Länge 923 m, Längsnähte wassergasgeschweißt; Ausführung PHOENIX Vereinigte Rohrleitungsbau GmbH.
- 1925: Gampadelswerk der VKW,  $H_s = 375$  m,  $D_i = 900/800$  mm, max.  $s = 21$  mm, Längsnähte wassergasgeschweißt, konische Nietmuffen; Ausführung AG Ferrum, Kattowitz.
- 1925: Rannakraftwerk der OKA, Strang I,  $H_s = 182$  m.
- 1926: Achenseekraftwerk der TIWAG,  $H_s = 400$  m,  $D_i = 2300/2000$  mm,  $s = 12/51$  mm. Druckschäft  $H_s = 363$  m,  $D_i = 2300$  mm, Panzerrohre  $s = 12/28$  mm mit wassergasgeschweißten Längsnähten und Innenstamm-Muffen, die zu elektrisch geschweißten Rundnähten ausgestaltet wurden. Ausführung Thyssen & Co, Mülheim/Ruhr, Montage und Baustellenschweißung Escher, Wyss & Co, Zürich.
- 1928: Arthurwerk der OKA (nach Dr. Arthur Krupp, dem Präsidenten der Mitterberger Kupfer AG benannt),  $H_s = 196$  m.
- 1929: Obervellach der ÖBB,  $H_s = 324,9$  m,  $D_i = 1200/1100$  mm,  $s = 10/25$  mm, Längsnähte im oberen Teil der Leitung genietet (LOFAG-Wien) und im unteren Teil wassergasgeschweißt (Großrohrverband, Düsseldorf), konische Nietmuffenverbindungen, SM-Stahl mit  $\sigma_B = 34 - 45$  kg/mm<sup>2</sup>. Schiefe Länge 799 m, 6 Festpunkte, 5 Dehn-Stopfbüchsen. Verteilrohrleitung  $D_i = 1100$  mm,  $s = 24$  mm.
- 1929: Bösdornau der TKW,  $H_s = 860,30 - 658,60 = 201,70$  m. Oberster Teil genietet, schiefe Länge 512 m,  $D_i = 2200$  mm,  $s = 9/11$  mm, Waagner-Biró AG, Wien-Graz. Anschließend Druckschäft (schiefe Länge 123 m,  $D_i = 1800$  mm,  $s = 15/17$  mm) und Rohrstellen (schiefe Länge 75 m,  $D_i = 1700$  mm,  $s = 17/20$  mm), wassergasgeschweißte Längsnähte und Innenmuffenverbindung, Schweißrohrverband (Thyssen, Mülheim-Ruhr). Unterer Teil als freie Druckrohrleitung mit schiefer Länge 129 m,  $D_i = 1700$  mm,  $s = 20/24$  mm, wassergasgeschweißte Längsnähte und Nietmuffenverbindung, AG Ferrum, Kattowitz.
- 1929: Enzingerboden (Stubach I) der ÖBB,  $H_s = 531,6$  m,  $D_i = 1800/1200$  mm,  $s = 9/46$  mm, Längsnähte im oberen Teil der Leitung genietet (Krauss & Co, Linz) und im unteren Teil wassergasgeschweißt (Schweißrohrverband), konische Nietmuffen. Im Rohrstellen (Schrägschäft) verlegt, SM-Stahl mit  $\sigma_B = 34 - 40$  kg/mm<sup>2</sup>. Schiefe Länge 1722 m, 4 Festpunkte, 3 Dehn-Stopfbüchsen. Verteilrohrleitung  $D_i = 1200/900$  mm,  $s = 43/33$  mm.
- 1930: Teigitschkraftwerk Arnstein der STEWAG, Strang II,  $H_s = 630,50 - 386,00 = 244,50$  m (altes Stauziel 629,50 vor der Erhöhung der Langmannsperre),  $D_i = 1800/1500$  mm,  $s = 11/27$  mm. Im oberen Teil der Leitung Längs- und Rundnähte genietet, im unteren Teil Längsnähte wassergasgeschweißt, Rundnähte teils geschweißt, teils mit Laschen genietet. SM-Stahl mit  $\sigma_B = 44 - 52$  kg/mm<sup>2</sup>. Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1930: Vermuntwerk der VIW,  $H_s = 714,40$  m,  $D_i = 1775/1344$  mm, zwei Stränge; im oberen Teil glatte Rohre, Längsnähte wassergasgeschweißt, konische Nietmuffen,  $s = 10/51$  mm, Ausführung Thyssen (Mülheim/Ruhr). Im unteren Teil bandagierte Rohre, Seelenrohre mit wassergasgeschweißten Längsnähten, Nietlaschen,  $s = 25/31$  mm, nahtlos gewalzte Ringe, Ausführung Schweißrohrverband Düsseldorf (Mannesmann-Röhren-Werke Huckingen), Stahlgußkrümmer.
- 1939: Stillupbach-Zuleitung zum Kraftwerk Bösdornau der TKW; gepanzertes Druckschäft  $D_i = 1000$  mm; freie Druckrohrleitung mit 275 m schiefer Länge,  $D_i = 800$  mm,  $s = 7/14$  mm, genietet, 4 Festpunkte, Rohrsockellagerung. M. A. N. Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.
- 1939: Lend der SAG, Salzburger Aluminium AG,  $H_s = 180$  m,  $D_i = 2400/2000$  mm, erste vollständig lichtbogengeschweißte Leitung Österreichs. Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1940: Schneiderau (Stubach II) der ÖBB,  $H_s = 421,80$  m,  $D_i = 1600/1300$  mm,  $s = 10/35$  mm, Längsnähte im oberen Teil der Leitung genietet aus St. 37.21 (Waagner-Biró AG und LOFAG-Wien) und im unteren Teil wassergasgeschweißt (Großrohrverband Düsseldorf). Schiefe Länge 1310 m, 8 Festpunkte, 7 Dehn-Stopfbüchsen. Verteilrohrleitung  $D_i = 1200/800$  mm,  $s = 34/26$  mm.
- 1940: Großarl II der OKA,  $H_s = 150$  m,  $D_i = 1100$  mm, Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1943: Schrägschäftpanzerung der Hauptstufe Kaprun (Maiskogel) der TKW,  $H_s = 220$  m,  $D_i = 3000$  mm; drei Hosenrohre  $D_i = 3000/2.2050$  mm und  $2 \times 2050/2.1400$  mm,  $s = 14/24$  mm, alle Werkstattnähte lichtbogengeschweißt, Baustellenver-

bindungen mit Innenstamm-Muffen, Kesselblech M II, Ausführung Waagner-Biró AG.

- 1943: Druckrohrleitung der Hauptstufe Kaprun der TKW, Strang I + II, unterster Teil der Stränge III + IV, Verteilrohrleitung.  $H_s = 891$  m,  $H_B = 980$  m, Strang I + II mit  $D_i = 1400/1150$  mm,  $s = 16/55$  mm, Längsnähte überlappt wassergeschweißt, im oberen Teil zweireihige konische Nietmuffen und im unteren Teil dreireihige, leicht konisch ausgedrehte Nietmuffen, Nietdurchmesser 37 mm, Kesselblech M II, zulässige Spannung  $1085$  kg/cm<sup>2</sup>. Verteilrohrleitung I + II mit  $D_i = 1150/700$  mm,  $s = 52/32$  mm; Verteilrohrleitung III + IV mit  $D_i = 1250/850$  mm,  $s = 56/39$  mm; Abzweigsfücke aus Stahlguß. Ausführung Deutsche Röhrenwerke AG (Werk Thyssen, Mülheim/Ruhr) und Mannesmannröhren-Werke, Huckingen. Montage: Mannesmann-Rohrleitungsbau AG, Düsseldorf.
- 1943: Rodundwerk der VIW,  $H_s = 347,25$  m, gepanzerter Druckschacht  $D_i = 3220/2700$  mm, im oberen Teil Kesselblech M I und M II, Längs- und Rundnähte genietet,  $s = 10/21$  mm, Ausführung Dortmunder UNION Brückenbau-AG, Werk Orange. Unterer Teil der Steilstrecke  $s = 20/30$  mm, Innenstamm-Muffenverbindung, Flachstrecke  $s = 31/58$  mm, Nietflaschenverbindung. Ausführung Deutsche Röhrenwerke AG und Mannesmannröhren-Werke AG.
- 1943: Obervermuntwerk der VIW, Länge 3270 m,  $H_s = 287$  m,  $s = 10/35$  mm, Kesselblech M II. Obere Flachstrecke überlappt genietet, Ausführung Dortmunder UNION Brückenbau-AG, Werk Orange, und M. A. N., Werk Gustavsburg. Steilstrecke ge-

Bild 8: Taldüker Kleinvermunt der Bachüberleitungen nach Vermunt, Voralberger Jllwerke AG, Waagner-Biró AG, Wien-Groz



Bild 9: Rohrbrücke Kops der Bachüberleitungen nach Vermunt, Voralberger Jllwerke AG, VOEST-Linz

schweißte Rohre, Ausführung Großrohr-Verband und Mannesmannröhren-Werke AG.

- 1943: Gerloskraftwerk der TKW,  $H_s = 614$  m, gepanzerter Druckschacht von 1270 m schiefer Länge,  $D_i = 2200/1600$  mm,  $s = 12/30$  mm, anschließend 124 m lange Flachstrecke mit  $D_i = 1600$  mm und  $s = 30,5$  mm, Hosenrohr mit max.  $s = 45$  mm, Panzerung vollständig lichtbogengeschweißt, mit Hinterbetonierung (mindestens 25 cm Beton mit  $300$  kg/m<sup>3</sup> Zementdosierung) und Hinterpressung. Unterhalb des Druckschachtpanzers liegt ein befahrbarer Revisionschacht von 0,80 m Breite und 0,90 m Höhe. Vier Maschinensätze zu je 15 MW (zweidüsige Freistrahlturbinen zu je 21 000 PS). Panzerung aus Kesselblech II verschiedener Herkunft, Montagenähte lichtbogengeschweißt ohne Spannungsfreiglühung. Einzelne Bleche aus unberuhigt vergossenem Stahl mit Kohlenstoffgehalt bis 0,30%, nicht normalgeglüht (Widmannstättengefüge), große Trennbruchneigung, sehr geringe Kerbzähigkeit und Alterungskerbzähigkeit. Bewährte Sanierung durch Einschubrohre von insgesamt rund 200 m Länge und durch Behebung der Mängel der Kugel- und Ringschiebersteuerungen.

Wie wir dieser Zusammenstellung entnehmen, wurde bald nach der Fertigstellung der Spullerseeleitung eine andere sehr beachtenswerte Fallleitung, der Druckschacht des Achenseekraftwerkes in Tirol, das Drehstrom und Bahnstrom erzeugt,<sup>4) 10)</sup> gebaut. Der unter 45° geneigte Schacht ist mit Panzerrohren von 2300 mm Innen-

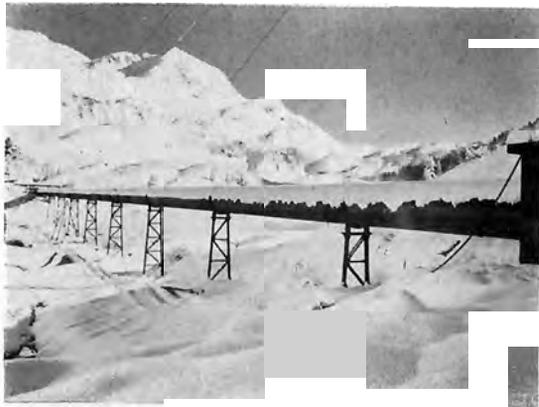


Bild 10: Winteraufnahme der Rohrbrücke Kops

durchmesser ausgeführt. Die 4 m langen Schüsse haben wassergasgeschweißte Längsnähte und wurden mit Stemm-Muffen versehen, die vom Rohrinnern aus elektrisch verschweißt wurden — ähnlich wie man heute die Bandagenschweißung ausführt. Die Panzerrohre wurden hinterbetoniert und hinterprefßt. Auch hinsichtlich der Bemessung der Panzerrohre war dieser Druckschacht richtungweisend, worauf wir später noch näher eingehen werden. Der Druckschacht geht am unteren Ende in eine freie Leitung mit  $D_i = 2000$  mm und  $s = 51$  mm über und wird durch ein Hosenrohr in zwei Stränge mit je  $D_i = 1500$  mm aufgespalten.

Im Jahre 1930 entstand die freie Druckrohrleitung des Vermuntwerkes der VIW<sup>20)</sup> (Bild 24 und 25). Die statische Druckhöhe ist etwas kleiner als beim Spullerseeewerk, doch ist der lichte Durchmesser der beiden Stränge erheblich größer, so daß die für die Bemessung der Rohre maßgebende Umfangzugkraft größer als beim Spullerseeewerk ist. Im unteren Teil der Leitung hätten sich hier schon Wanddicken von mehr als 51 mm ergeben, so daß man es vorzog, bandagierte Rohre zu verwenden. Als Bandagen dienen nahtlos gewalzte Ringe aus einem hochfesten Stahl, die auf das Seelenrohr warm aufgeschumpft werden; die Seelenrohre sind 6,50 bis 8,00 m lang, haben wassergasgeschweißte Längsnähte und sind mit Nietlaschen verbunden (Bild 24). Im oberen Teil der Leitung kamen glatte Rohre (mit Wanddicken bis 51 mm) zur Verwendung, in üblicher Ausführung



Bild 11: Druckrohrleitung des Kaiserbachkraftwerkes der TIWAG, Rohrbrücke. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

mit wassergasgeschweißten Längsnähten und konischen Nietmuffen. Die beiden Stränge, die eine schiefe Länge von je 1368 m haben, weisen elf Festpunktblöcke auf. Die einbetonierten Krümmer bestehen aus Stahlguß; unterhalb der Krümmer sind Dehnstücke in den Strang eingeschaltet. Die Rohre sind mit Gleitsätteln auf Betonsockeln gelagert, so daß die den Seelenrohren zugewiesene Belastung aus der „Trägerwirkung“ gering bleibt. Das Vermuntwerk gehört zu der Werksgruppe Obere Jll der VIW; Bild 26 zeigt den Lageplan und Bild 27 den Längenschnitt der Werksgruppe.

Im Jahre 1939 ist in Österreich die erste vollkommen lichtbogengeschweißte Druckrohrleitung gebaut worden. Es ist dies die Druckrohrleitung



Bild 12: Selbsttragender Rohrbogen mit 72 m Spannweite und 3000 mm  $\phi$ . Kraftwerk Passy-sur-Arve. S. D. E. M., Grenoble. (Über die Berechnung solcher Rohrbogen vgl. R. Bouchayer: „Travaux“, Dez. 1952 und Jänner 1953. M. Esslinger: „L'Ossature Métallique“ 1952. U. Bellometti: Condotte Forzate, Milano 1955)

Bild 13: Fachwerkbrücke zur Überführung einer bandagierten Druckrohrleitung. Anlage Aussois. S. D. E. M., Grenoble



Bild 14: Krümmer einer freien Druckrohrleitung, ohne Betonhaube im Festpunktblock verankert. Druckrohrleitung Riddes der Anlage Mauvoisin, Walliser Alpen, Schweiz. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur



Leid der Salzburger Aluminium Gesellschaft (Bild 28), hergestellt von der Waagner-Biró AG. Im Jahr 1940 kam die Druckrohrleitung des Bahnkraftwerkes S c h n e i d e r a u (Stubach II) zur Ausführung; im oberen Teil ist sie genietet und im unteren Teil hat sie wassergeschweißte Längsnähte und konische Nietmuffenverbindungen — ähnlich wie die schon im Jahre 1929 gebauten Druckrohrleitungen der Bahnkraftwerke Enzingerboden (Stubach I) und Obervellach.<sup>4)</sup> Die Betonfestpunktblöcke haben zum Frostschutz und aus ästhetischen Gründen eine Bruchsteinverkleidung erhalten (Bild 19 und 29). Das Kraftwerk gehört zur Stubach-Werksgruppe der ÖBB, die derzeit drei Kraftwerke (Enzingerboden, Schneiderau und Uttendorf) sowie hochgelegene Fernspeicher (Weißsee mit Beileitungen Salzplattensee und Amersee) umfaßt; Bild 30 zeigt den Lageplan und Bild 31 zeigt den Längenschnitt dieser (der Erzeugung von Einphasenwechselstrom mit  $16\frac{2}{3}$  Hz dienenden) Werksgruppe.



Bild 15: Hosenrohr für den gepanzerten Druckschacht des Innkraftwerkes Prutz-Imst der TIWAG.  
 $\varnothing$  4400/3500/2400 mm, ALDUR-Stahl 47, Wandstärke 20 mm. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

Auch während des Krieges kam es in Österreich zur Errichtung großer Druckrohrleitungen. Die Fallleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun weist unterhalb des Wasserschlosses am Maiskogel einen gepanzerten Schrägstollen von rund 600 m Länge auf,<sup>21</sup> der ein großes und anschließend zwei kleine Hosenrohre enthält, um den Triebwasserweg in vier Teilwege (für die vier Druckrohrleitungsstränge I bis IV der vier Maschinensätze) aufzuspalten. Die rund 9 m langen Panzerrohre haben lichtbogengeschweißte Längsnähte und wurden, um Montageschweißungen zu vermeiden, durch Innenstemm-Muffen verbunden; Bild 32 zeigt ein Panzerrohr und eines der beiden kleinen Hosenrohre, und Bild 3 zeigt das letztere an der Einbaustelle mit der Bruchsteinauskleidung des Stollens. In den Jahren 1943/44 wurden auch noch die beiden Druckrohrleitungsstränge I+II sowie der untere, dickwandige Teil der Stränge III+IV montiert, so daß das Werk Ende 1944 einen Laufwerksbetrieb mit einer der beiden betriebsfertigen Maschinen I+II aufnehmen konnte. Die Druckrohrleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun ist, was die Größe der Umfangszugkraft betrifft, noch schwerer als die Leitung des Vermuntwerkes, doch verzichtete man hier auf bandagierte Rohre und wählte das Kesselblech M II als Blechwerkstoff; die Rohre haben wassergasgeschweißte Längsnähte und Nietmuffenverbindungen. Die Anlage gehört zur Kraftwerksgruppe Glockner-Kaprun der TKW. Bild 33 zeigt den Lageplan und in Bild 34 ist der Längenschnitt dieser Kraftwerksgruppe (Österreichs größter Winterspeicheranlage) zu sehen.

Bei den Vorarlberger Illwerken kam es während des Krieges, wie unsere Zusammenstellung



Bild 16: Verteilrohrleitung der Zentrale Riddes, Anlage Mauvoisin, Walliser Alpen, Schweiz. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur.

zeigt, zum Bau der Falleitungen des Rodundwerkes und des Obervermuntwerkes. Die erstere enthält einen Druckschacht, dessen Längenschnitt in Bild 35 dargestellt ist; im unteren, dickwandigen Teil kamen als Baustellenverbindung, um Montageschweißungen zu vermeiden, Innenstemm-Muffenverbindungen zur Verwendung. Die Druckrohrleitung des Obervermuntwerkes führt vom Silvretta-Stausee zum Krafthaus am Ufer des Vermuntstausees und ist mehr als 3 km lang; Bild 36 zeigt den Längenschnitt, Bild 37 die Flach-

Bild 17: Stopfbüchsen-Dehnstück der Druckrohrleitung des Kraftwerkes Uttendorf (Stubach III) der Österr. Bundesbahnen. Waagner-Biró AG, Wien-Graz





Bild 18: Flanschverbindung mit Keilringpaaren, Montagebild. Druckrohrleitung III und IV der Hauptstufe Glockner-Kaprun der Tauernkraftwerke AG, VOEST-Linz

strecke und Bild 38 die Steilstrecke dieser freien Druckrohrleitung.

Schließlich kam während des zweiten Weltkrieges auch die Falleitung des Gerloskraftwerkes (Zillertal, Tirol) mit ihrem gepanzerten Druckschacht zur Fertigstellung. Der Druckschacht ist der Fachwelt durch die Schadensfälle bekannt geworden, die sich als Folge spontaner Sprödbrüche in der Druckschachtpanzerung ergaben.<sup>23)</sup> Der Druckschacht hat eine unter 29,8° geneigte Steilstrecke von 1270 m schiefer Länge und eine unten an-

schließende Flachstrecke, die bis zur Apparatkammer 124 m lang ist. In der Steilstrecke wurde ein unterhalb des Panzerrohres (in einem Scheitelabstand von 0,25 m) liegender, befahrbarer Revisionschacht von 0,80 m Breite und 0,90 m Höhe angeordnet, um eine dauernd wirksame Drainage zu erhalten und eine ständige Kontrolle des Panzerrohres (sowie auch die Durchführung von Gebirgsmodul- und Druckstoßmessungen) zu ermöglichen.<sup>23)</sup> In der Flachstrecke wurde ein Kriechgang vorgesehen. Der erste Schadensfall trat im Oktober 1945 beim Probelauf der Maschinen auf; es ergaben sich Brüche der Panzerung an zwei Stellen im unteren Drittel der Steilstrecke mit Wasserausbrüchen. Es wurde je ein Einschubrohr angeordnet und der Revisionschacht bis auf einen kleinen Drainagekanal zubetoniert. Im November 1947, nach dem Wiederauffüllen des Schachtes, ergab sich in der oberen der beiden Einschubstrecken ein Rundriß im Anschlußring, der vermutlich durch örtliche Schweißspannungen bedingt war. Nach der Reparatur dieses Schadens und einem halbjährigen Werksbetrieb ereignete sich im September 1948 ein Bruch in der Panzerung der Flachstrecke; es wurde ein Ersatzrohr eingebaut und mit dem alten Rohrteil durch eine Blei-Gummi-Stemmdichtung verbunden; auch hier wurde der Kriechgang bis auf ein kleines Drainagerohr zubetoniert. Während der zweite Schadensfall, wie erwähnt, keinen Rückschluß auf die Qualität des Druckschachtes zuläßt, ist der erste und dritte Schadensfall wohl auf mehrere Ursachen zurückzuführen, die in ihrem Zusammenwirken zu einer weitgehenden Aufzehrung der rechnermäßig vorhanden gewesenen Sicherheitsreserven (also zu einer Senkung der vorhandenen Bruchsicherheitszahl bis auf wenig über 1,00) führten und so eine latente Bruchgefahr heraufbeschworen. Um diese Bruchsicherheitszahl bis auf unter 1,00 hinunterzudrücken und damit den Bruch einzuleiten, bedurfte es noch einer



Bild 19: Festpunktblock einer freien Druckrohrleitung, Beton mit Bruchsteinverkleidung. Kraftwerk Schneiderau (Stubach II) der Österr. Bundesbahnen. Waagner-Biró AG, Wien-Graz



Bild 20: Festpunktblock bei Beginn einer Steilstrecke. Druckrohrleitung des Kraftwerkes Deban II der TIWAG. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

auslösenden Wirkung, einer „Initialzündung“ — und diese entstand im gegenständlichen Fall vermutlich durch übergroße (die berücksichtigten Rechnungswerte übersteigende) Druckstöße als Folge von Mängeln in der Kugelschiebersteuerung. Auch der dritte Schaden war bald behoben und seit Beginn des Jahres 1949 läuft das Werk in bester Ordnung; auch eine im Vorjahr durchgeführte eingehende Überprüfung der Falleitung hat keinerlei Mängel aufgedeckt. Hinsichtlich der Ursachen werkstofftechnischer Art lag die Untersuchung und Begutachtung in den Händen von Professor Dr. Ing. A. Leon (Vorstand der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der TH Wien) und seines Sachbearbeiters Doktor Ing. E. Uhlir; die diesbezüglichen Arbeiten sind 1948 abgeschlossen worden.

Als Frucht dieser Untersuchungen konnten im Jahre 1948 die Anforderungen, die an den Blechwerkstoff schwerer lichtbogengeschweißter Druckrohrleitungen zu stellen sind, im Schoße der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der TH Wien formuliert werden.<sup>24)</sup> Im gleichen Jahre kam der von Dozent Dr. Ing. H. Hattmann bei der VOEST entwickelte ALDUR-Stahl auf den Markt, der alle diese Anforderungen zu erfüllen vermag.<sup>25)</sup> Das Jahr 1948 legt demnach den Beginn eines neuen Zeitabschnittes im österreichischen Druckrohrleitungsbau fest.

Bild 21: Lagerung einer Druckrohrleitung auf Gleitsätteln und Betonsockel. Anlage Mucone II der Soc. Meridionale di Elettricità, Napoli. Soc. TERNI, Terni



Die Zeit von 1945 bis 1948 ist von den österreichischen Werken benutzt worden, um die Einrichtungen für die Fertigung und Prüfung schwerer Druckrohrleitungen in vollkommen lichtbogengeschweißter Ausführung auszubauen. Um eine Vorstellung von der Herstellung und den Fertigungskontrollen solcher Leitungen zu vermitteln, will ich als Beispiele einige Bilder vorführen, die mir von verschiedenen Lieferwerken zur Verfügung gestellt worden sind. Die Schweißkanten der Bleche werden gehobelt (Bild 39) und dann werden die Bleche eingerollt — entweder mit Hilfe einer Rundbiegepresse oder mit einer Einrollmaschine (Bild 40); im letztgenannten Fall wird die Rundung im Bereich der beiden Längskanten, wenn es sich um dickere Bleche handelt, durch ein Vorpressen erzielt. Dann wird die Längsnaht mit dem Automaten geschweißt (Bild 41), so daß ein „Rohrschuß“ entsteht. Mehrere solche Schüsse können nun — in der Regel wieder mit Hilfe der Automaten-schweißung — zu einem längeren Rohrstück vereinigt werden. Nach der Prüfung der Nähte kommt das Rohrstück in den Ofen zur Spannungsfreiglühung; es ist dies eine Glühung bei etwa 620°, mit dem Ziel, die Eigenspannungen abzubauen, und mit dem Nebeneffekt einer „Erholung“ des metallurgischen Gefüges nach dem Schweißvorgang. Die Bilder 42 bis 44 zeigen das Einbringen des Rohrstückes in den Ofen. Bei der Abnahme des Rohres wird eine Wasserdruckprobe durchgeführt, bei der der Prüfdruck — bezogen auf freie Druckrohrleitungen — in Österreich gleich dem 1,3-fachen größten Betriebsdruck des untersuchten Rohres gewählt wird; bei der Prüfung von Panzerrohren ist sinngemäß der Rohranteil dieses Be-

triebsdruckes einzuführen. Der Abschluß des Rohres an den beiden Enden erfolgt hierbei durch Deckel, die mit einer hydraulischen Presse an die Stirnseiten angedrückt werden — wobei diese Presse den gesamten Bodendruck aufnehmen muß. In Bild 45 ist eine solche Abdrückvorrichtung (Rohrpresse) für Bodendrucke bis 5000 t und in Bild 46 ist eine Rohrpresse für Bodendrucke bis 7000 t (sie dient nicht nur zur Prüfung von Rohren, sondern auch zur Herstellung plastisch aufgeweiteter Rohre nach den *Ferrand*-Verfahren gezeigt. Bei den Formstücken (Krümmer, Hosenrohre, Abzweigstücke) pflegt man die Wasserdruckprobe in der Weise durchzuführen, daß man die Enden mit Deckeln (Kesselböden) verschließt und das Formstück als geschlossenen Behälter abpreßt; mit Rücksicht auf die Längszugspannungen, die im Rohr als Folge der Bodendrucke entstehen, ist der Spannungszustand hier ein anderer als beim Abpressen in der Rohrpresse, bei welchem der Bodendruck von der Presse übernommen wird. Während der Wasserdruckprobe von Hosenrohren und Abzweigstücken sind, falls dies von der Wasserrechtsbehörde gefordert wird, Dehnungsmessungen an den Spannungshäufungsstellen durchzuführen; denn die Wasserrechtsbehörde empfiehlt, die Formstücke schwer belasteter Druckrohrleitungen so zu konstruieren, daß die Streckgrenze des Blechwerkstoffes unter dem Prüfdruck auch an diesen Spannungshäufungsstellen nicht erreicht wird — so daß hier eine zumindest 1,3-fache Sicherheit gegen Plastifizierung gewährleistet ist. Bei Verteilrohrleitungen werden mitunter größere Teile der Leitung als Ganzes abgepreßt. Bild 47 zeigt ein durch Deckel abgeschlossenes Stück einer großen Verteilrohrleitung während der Wasserdruckprobe und läßt auch die Durchführung von Dehnungs-

Bild 22: Karte von Österreich mit Orten von Wasserkraftanlagen, deren Druckrohrleitungen im Referat erwähnt werden. Die Grenzen der Bundesländer sind gestrichelt eingetragen; die Hauptstädte der Bundesländer und die größeren Flüsse und Seen sind eingezeichnet

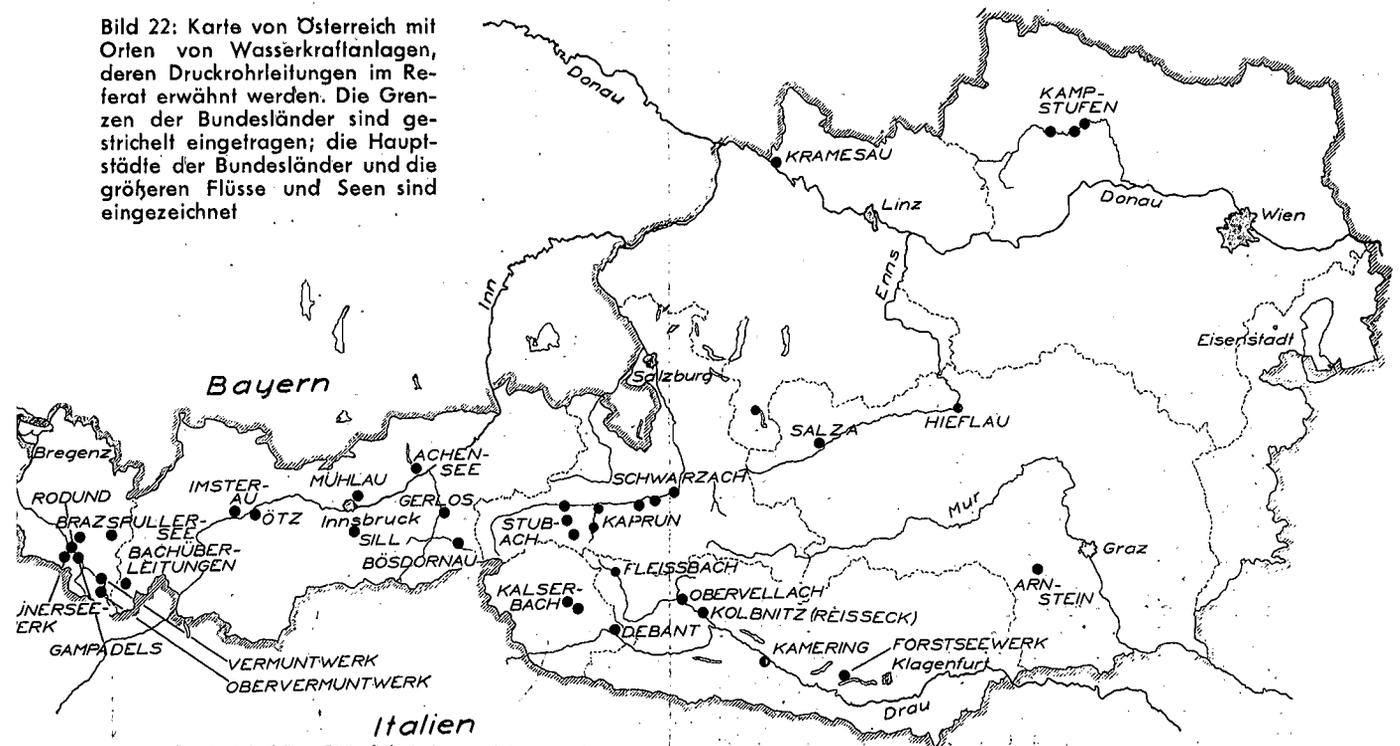


Bild 23: Druckrohrleitung des Spullerseewerkes der Österr. Bundesbahnen



Bild 24: Druckrohrleitung des Vermuntwerkes (Parthenen im Montafon) der Vorarlberger Illwerke AG.



messungen an den Nahtträgern der Abzweigstücke (im Bereich der Sulzerkragen) erkennen; das Bild bezieht sich ebenso wie Bild 4 auf die Hauptstufe der Kraftwerksgruppe *Mauvoisin*, deren Speicher als Sperrenkörper eine im Bau befindliche Gewölbemauer von 237 m Gesamthöhe und 2,1 Mio m<sup>3</sup> Betonkubator (größte Gewölbemauer der Welt) aufweist. Nicht weit von ihr ist die Gewichtsmauer des Speichers *Grande Dixence* im Bau, die im Teilausbau 178 m hoch ist (höchste Gewichtsmauer der Welt), jedoch im Endausbau 281 m hoch sein wird (höchste Talsperre der Welt) und mit ihrer Betonkubatur von 6,4 Mio m<sup>3</sup> unmittelbar hinter *Grand Coulee* in den USA (7,5 Mio m<sup>3</sup>) rangieren wird.

Nach der Freigabe werden die Rohrstücke vom Werk zur Baustelle transportiert (Bild 48). Auch die Verbindung der Rohrstücke auf der Baustelle erfolgt mit Hilfe der Lichtbogenschweißung (Montage-Rundnaht) und nur in seltenen Ausnahmefällen durch Nietung (Bild 49) oder durch stopfbüchsenartige Überschubrohre (kurze Manschetten mit 2 Dichtungsringen und 2 durch Schrauben-

bolzen gegeneinander geprefte Brillen). Solche Schraubenkupplungen lassen kleine Verschiebungen und Verdrehungen im Betrieb zu und ermöglichen eine sehr rasche Montage; in den USA sind diese „Couplings“ von der Dresser-Manufacturing-Division (Bradford, Pa.) schon bei Druckrohrleitungen von 1,90 m Durchmesser (Bridge River, Brit. Columbia) und mit 610 m statischer Druckhöhe (Wahleach, Brit. Columbia) verwendet worden. Bei Rohren mit großem Durchmesser begegnen dem

Bahn- und Straßentransport mitunter unüberwindliche Schwierigkeiten, so daß man gezwungen ist, Teilschalen anzuliefern und diese Teilschalen auf der Einbaustelle oder in der Nähe der Einbaustelle (im letztgenannten Fall unter den günstigen Bedingungen, wie sie in der Werkstatt herrschen) zum Rohr zu verschweißen (Bild 50 und 51). Auf der Einbaustelle hat man, wenn fertige Rohre angeliefert werden, die Rundnähte zur Verbindung dieser Rohre zu schweißen. Da man das Rohr

## Vermuntwerk - Druckrohrleitung

VIW

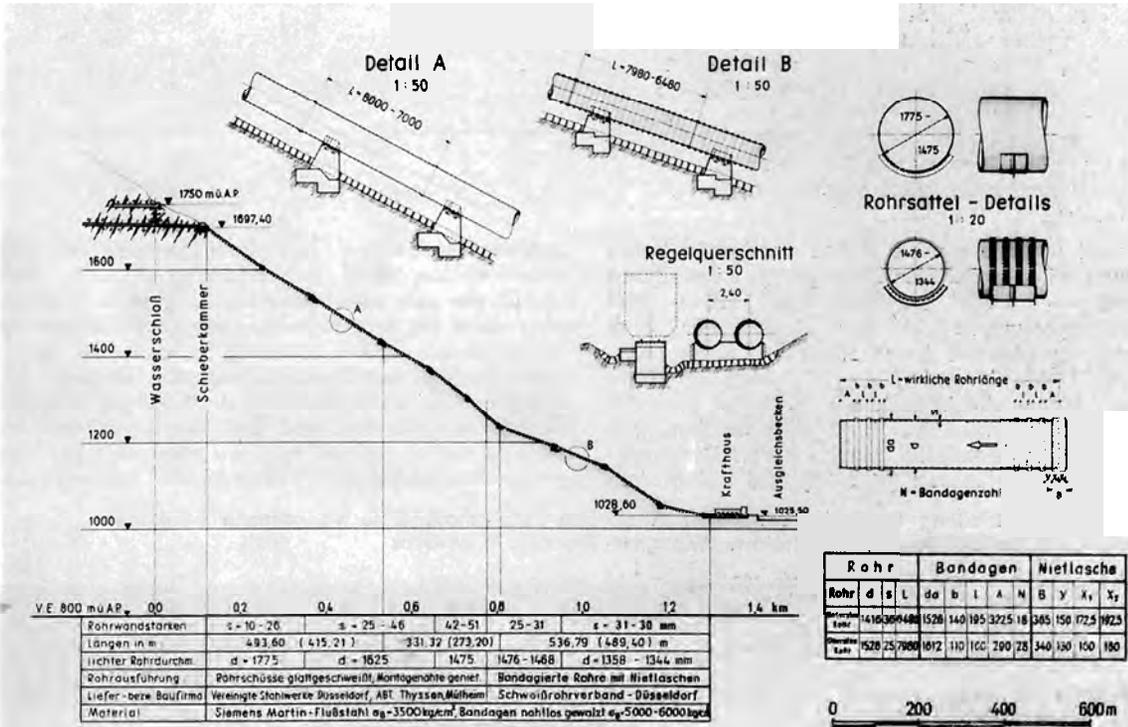
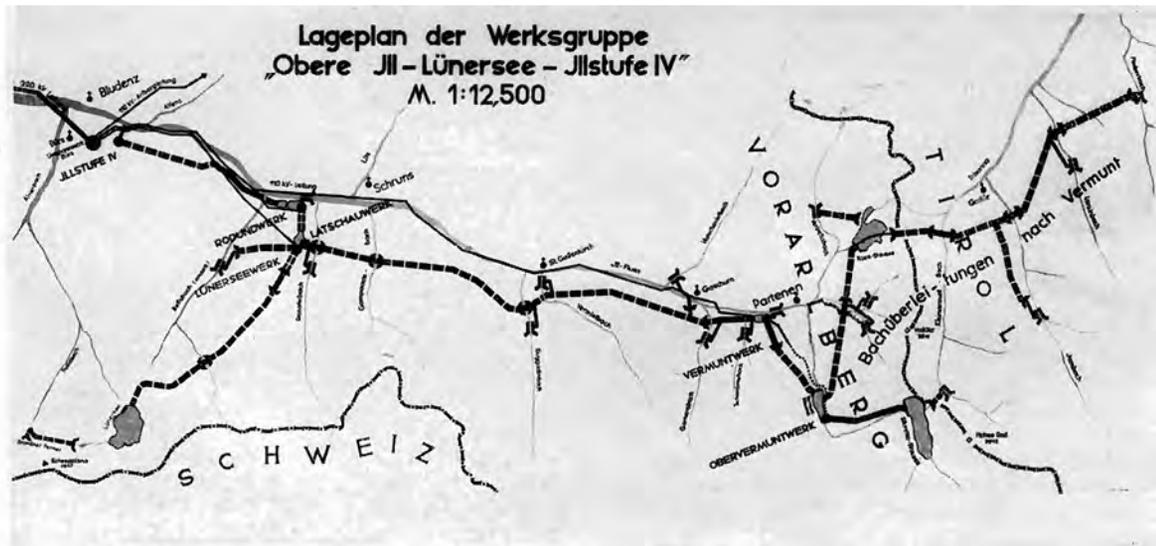
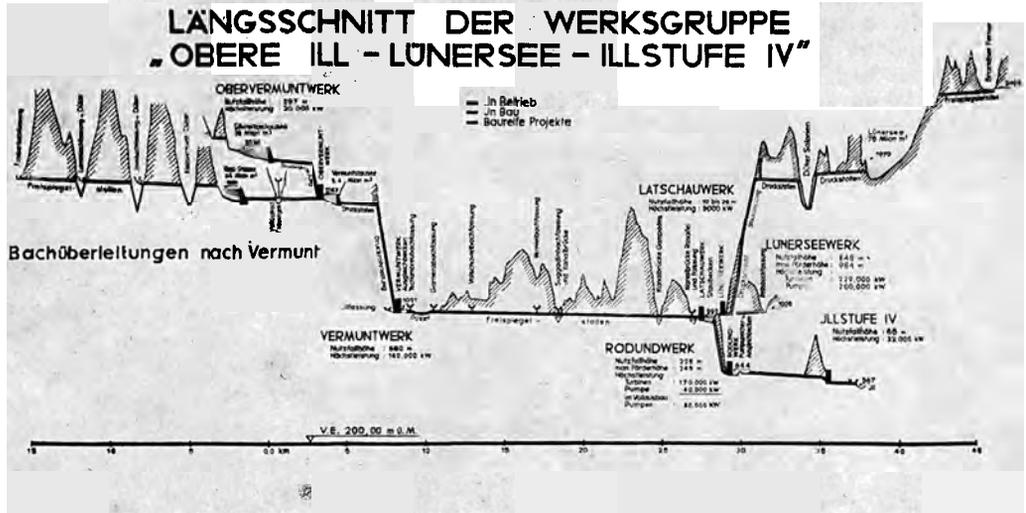


Bild 25: Längenschnitt der Druckrohrleitung des Vermuntwerkes der VIW

Bild 26: Lageplan der Werksgruppe „Obere JII, Lünensee und JIIstufe IV“ der VIW





nun nicht mehr um seine Achse verdrehen kann, hat man es hier mit der Zwangslagenschweißung zu tun — wobei im Fall von Stollen- und Schachtpanzerungen in der Regel nur eine Schweißung von der Innenseite des Rohres möglich ist (Bild 2 und 52). Die Montagenähte müssen, wenn die Wanddicke groß ist und der Stahl zum Aufhärten neigt, geglüht werden, was bei freien Druckrohrleitungen kleineren Durchmessers mit Außenglühöfen (Bild 53) und bei großen

Durchmessern sowie bei den Panzerrohren mit Innenglühöfen (Bild 54) erfolgt; es kann sich hierbei um eine elektrische Heizung, eine Gasheizung oder — bei ausreichenden Anschlußwerten — um eine induktive Heizung handeln. Bei hochfesten Stählen mit Streckgrenzen von etwa 37 bis 40 kg/mm<sup>2</sup> wird die Glühung unabhängig von der Blechdicke gefordert und bei Streckgrenzen von etwa 34 bis 37 kg/mm<sup>2</sup> wird sie zumindest bei den großen Blechdicken (etwa über 25 mm) verlangt. Zur

Bild 28: Druckrohrleitung Lend der Saftzburger Aluminium-Gesellschaft. Erste vollkommen lichtbogen-geschweißte Druckrohrleitung Österreichs. Waagner-Biró AG, Wien-Graz





Bild 29: Druckrohrleitung des Kraftwerkes Schneiderau (Stubach II) der Österr. Bundesbahnen

Grobstrukturprüfung der Montagenähte wird in der Regel eine volle Ultraschallprüfung (Bild 55) und eine durch die hierbei gewonnenen Ergebnisse gelenkte Röntgenprüfung mit „gezielten“ (also nicht bloß stichprobenweisen Aufnahmen) gefordert. Bild 56 zeigt die Durchführung der Röntgenprüfung von Montagerundnähten bei einer freien Druckrohrleitung, mit der Röntgenröhre außen und der Filmkassette innen. Wenn man die Montagerundnaht eines Panzerrohres prüft oder wenn man nicht mit Röntgen-, sondern mit Gammastrahlen<sup>26)</sup> arbeitet und die Isotopenkapsel zentral in der Rohrachse anbringt, um den ganzen Rohrumfang auf einmal zu bestreuen, ist die Anordnung die umgekehrte. Bei der Stollen- oder Druckschachtpanzerung bereitet das Einbringen und Anpressen der Filmkassette an der gewünschten Stelle der Montagerundnaht mitunter (wenn man 10 oder gar 20 m lange Panzerrohrstücke nahe der Einbaustelle zusammenschweißt und ein so langes Rohrstück mit der Montagerundnaht im Stollen oder Schacht anschließt) einige Schwierigkeiten, da der Zwischenraum zwischen dem Rohrmantel und der Betonauskleidung oder dem umgebenden Gebirge in der Regel — wenn nicht ein besonderer Kriechgang und am Ort der Rundnaht eine Schweißnische ausgeschossen worden ist — sehr klein ist. Bild 54 zeigt ein Stollenpanzerrohr geringerer Länge nach dem Anschluß an das alte, schon weitgehend einbetonierte Panzerrohr; dort, wo der Innenglühofen

ÖBB-EA3

### Übersicht der Stubachgruppe

1:35.000.

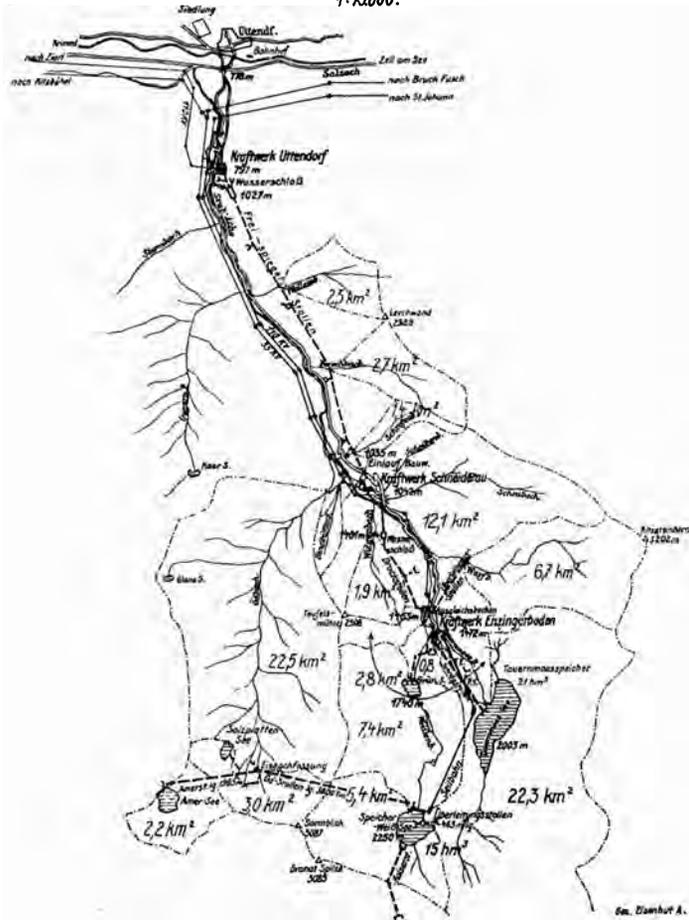
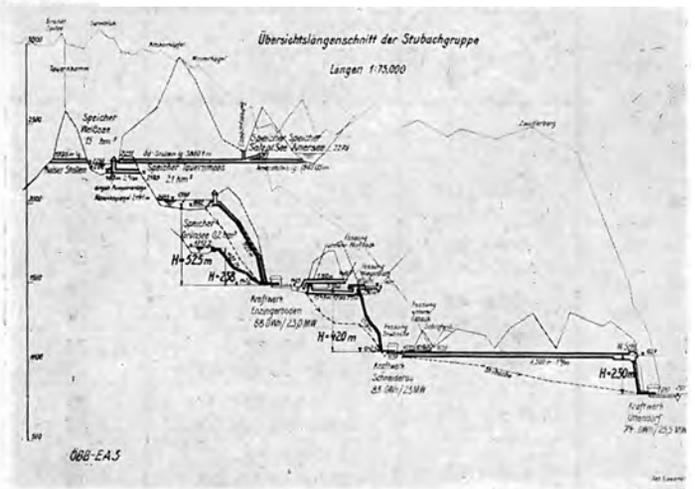


Bild 30: Lageplan der Stubach-Werksgruppe der Österr. Bundesbahnen

Bild 31: Längenschnitt der Stubach-Werksgruppe der Österr. Bundesbahnen



zu sehen ist, mußte vor der Glühung die Röntgen- oder Isotopenaufnahme gemacht werden, wobei die Filmkassette in den koaxialen Spalt zwischen Rohr und Fels einzuschieben war. Es müssen hier unter Umständen besondere Einrichtungen entworfen und gebaut werden, um die Kassette (und für die Glühung die Asbestmatratze) an die richtige Stelle zu bringen (Bild 109).

4.

Über die Eigenschaften, die vom Blechwerkstoff der lichtbogengeschweißten schweren Druckrohrleitungen gefordert werden, und über die zugehörigen Abnahmebedingungen wird Herr Professor Dr. Ing. Slatte nschek als Vorstand der schon erwähnten Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der TH Wien referieren<sup>27)</sup>. Nicht unerwähnt möge bleiben, daß man sich auch jenseits der Grenzen Österreichs mit den Anforderungen, die an den Werkstoff für elektrisch geschweißte Tragwerke im allgemeinen und für schwere Druckrohrleitungen im besonderen zu stellen sind, sehr intensiv befaßt hat und zu Ergebnissen kam, die größte Beachtung verdienen. In Deutschland sind es vor allem die Arbeiten von Prof. Dr. Ing. Kl ö p p e l<sup>28)</sup> und des Arbeitskreises „Druckrohrleitungen“ der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) in Frankfurt/Main<sup>29)</sup>. In der Schweiz<sup>30)</sup> sind es vor allem die Untersuchungen der Gebrüder Sulzer AG, der für den Druckrohrleitungsbau die Stähle der ganzen Welt verfügbar sind und die auf Grund sachkundiger Vergleichsuntersuchungen eine geeignete Auswahl zu treffen vermag. Die erste Hochdruckleitung mit glatten Rohren aus hochfesten Stählen (Mangan-Molybdän-Stahlblechen in Sonderausführung mit einer Zugfestigkeit von 60 kg/mm<sup>2</sup> und einer Mindeststreckgrenze von 40 kg/mm<sup>2</sup>) ist von der Gebrüder Sulzer AG im Jahre 1950 für das Kraftwerk Miéville der Salanfe S. A. in Vernayaz, Schweiz (H<sub>s</sub> = 1474 m, D<sub>i</sub> = 1300/1100 mm, schiefe Länge 4675 m, s = 9/48 mm, in der Verteilrohrleitung max s = 51 mm) gebaut worden. Die zulässige Spannung betrug hier 52,5 Prozent der Mindeststreckgrenze, also 2100 kg/cm<sup>2</sup>.

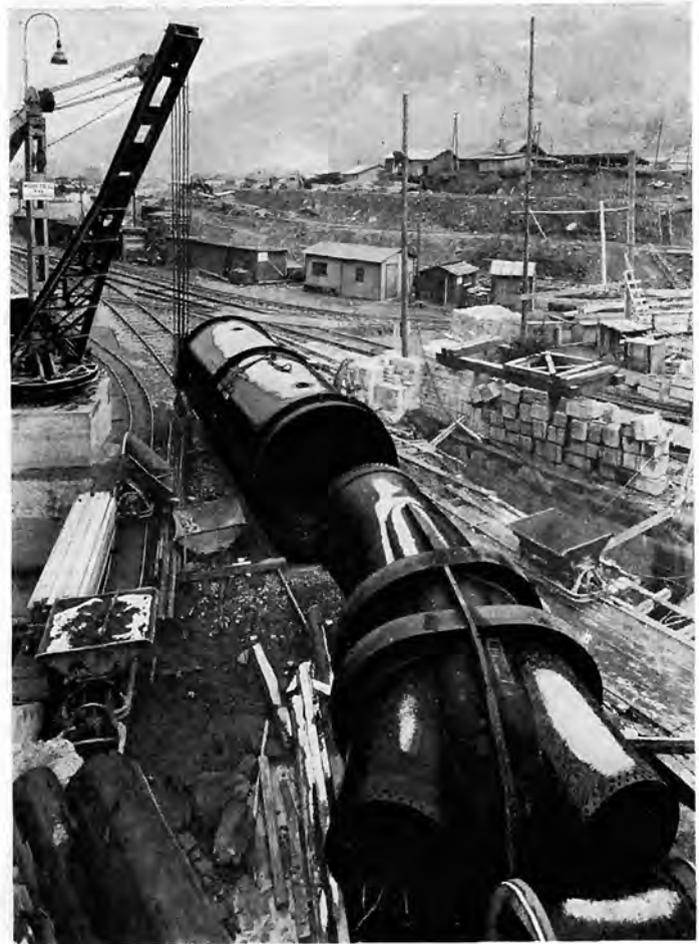


Bild 32: Schrägstollen-Panzerung Maiskogel, Falleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun der Tauernkraftwerke AG, Stollenrohr und kleines Hosenrohr am Lagerplatz

Zusammenstellung 2

Grobbleche aus VÖEST-Sonderbaustählen ALDUR:

Qualität	Blehdicke mm	Streckgrenze $\sigma_s$ kg/mm <sup>2</sup> mind.	Zugfestigkeit $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung $\delta_5$ % mind.	Gewährleistete Höchstwerte (Gußanalyse)		
					C %	P %	S %
Aldur 35	bis 50	22	35—44	27	0,15	0,040	0,040
	über 50 bis 100	20					
Aldur 41	bis 50	26	41—50	25	0,18	0,040	0,040
	über 50 bis 100	24					
Aldur 44	bis 50	29	44—54	25	0,19	0,040	0,040
	über 50 bis 100	27					
Aldur 47	bis 50	31	47—57	25	0,20	0,040	0,040
	über 50 bis 100	29					
Aldur 50	bis 50	34	50—60	25	0,20	0,040	0,040
	über 50 bis 80	32					
Aldur 55	bis 50	37	55—63	24	0,22	0,040	0,040
	über 50 bis 80	35					
Aldur 58	bis 50	40	58—68	22	0,23	0,040	0,040
	über 50 bis 80	38					







später noch zurückkommen werden, Wanddicken bis 94 mm. Im Hinblick auf diese großen Dicken wurde mit 200° Vorwärmung geschweißt und würden die Nähte mit dem Kobalt-Isotop Co 60 geprüft. Bei Verwendung von ALDUR 58 wären die Wanddicken nur rund halb so groß geworden.

In Österreich kommt bei der Herstellung von Druckrohrleitungen geringer Wanddicke und bei der Herstellung von Stollen-, Schacht- und Wasserschloßpanzerungen ein Großbaustahl zur Anwendung: der genormte Hoch- und Brückenbaustahl St 37 T nach ÖNORM M 3115 mit gewährleistetester Schmelzschweißbarkeit und mit einer gewährleistetesten Mindeststreckgrenze von 22 kg/mm<sup>2</sup> bei Blechdicken bis 30 mm<sup>39)</sup>. Die Bleche werden schmelzungsweise abgenommen, nur sind die Chargen größer als bei dem im Elektroofen erschmolzenen ALDUR-Stahl. Mitunter werden hier vom Bauherrn oder der Behörde Zusatzforderungen formuliert, die über die Gewährleistungen der Norm hinausgehen und aus dem Hoch- und Brückenbaustahl schon eine Art Druckrohrleitungs-sonderstahl mit entsprechenden Aufpreisen machen; solche Zusatzforderungen beziehen sich beispielsweise auf das Normalglühen der Bleche auch bei Dicken bis 30 mm (bei Dicken von mehr als 30 mm entspricht das Normalglühen der Norm), auf die Durchführung des Aufschweißbiegeversuches (bei Dicken von mehr als 30 mm bis 50 mm werden Mindestbiegewinkel beim Aufschweißbiegeversuch nach ÖNORM M 3052 gewährleistet), auf die Verwendung eines beruhigt vergossenen Stahles bei

Bild 38: Untere Steilstrecke der Druckrohrleitung des Obervermuntwerkes der VIW. Krafthaus am Ufer des Vermuntstausees

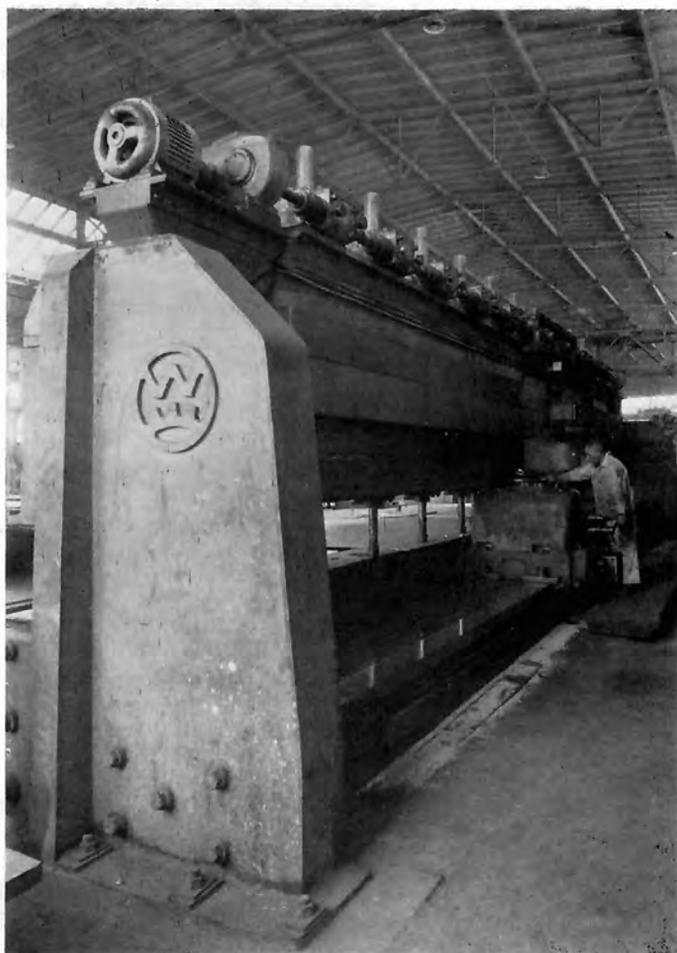


Bild 39: Blechkanten-Hobelmaschine mit 11 m Bettlänge. Werk Graz der Waagner-Biró AG

Blechdicken von etwa 18 mm aufwärts, und auf eine Reduktion des in der Norm mit 0,20 Prozent begrenzten Kohlenstoffgehaltes in der Schmelzanalyse. Mitunter (z. B. beim Jamdüker und beim Druckschacht Hieflau) wird ein allfälliger Abfall der gewährleistetesten Mindeststreckgrenze durch das Normalglühen in Kauf genommen und das Normalisieren erst nach der Abnahme der Bleche durchgeführt.

##### 5.

Wir haben dargelegt, daß es gerechtfertigt ist, den jüngsten Zeitabschnitt des österreichischen Druckrohrleitungsbaues mit dem Jahre 1948 beginnen zu lassen, weil zu diesem Zeitpunkt alle Voraussetzungen für den Bau schwerer Druckrohrleitungen in vollkommen lichtbogengeschweißter Ausführung erfüllt waren. Im Zeitraum von 1948 bis heute sind, wie die Zusammenstellung 6 lehrt<sup>18)</sup>, dreißig Druckrohrleitungen größerer Abmessungen gebaut worden oder in Fertigung begriffen. Die ersten Zeugen dieses jüngsten Zeitabschnittes sind die Druckrohrleitungen des Salzkraftwerkes, die Druckrohrleitung der Laufwerkstufe Reifseeck und die Druckrohrleitungen III+IV der Hauptstufe Glockner-Kaprun. Das Salzkraftwerk ist ein kleines Speicherwerk, das von der

## Zusammenstellung 6

### Die ersten österreichischen Druckrohrleitungen aus ALDUR-Stahl:

- 1948: Druckrohrleitung des Salza-Kraftwerkes der STEWEAG,  $H_s = 104$  m,  $D_i = 1800$  mm,  $s = 11/16$  mm, ALDUR 37, Ausführung VOEST.
- 1949: Druckrohrleitung der Laufwerkstufe Reifheck der ÖDK,  $H_s = 682,50$  m,  $D_i = 1350/1000$  mm,  $s = 9/28$  mm, ALDUR 44 mit min.  $\sigma_F = 28$  kg/mm<sup>2</sup>. Nachweis der Alterungskerbzähigkeit bei + 4° C. 1443 Röntgenaufnahmen im Werk und 148 auf der Baustelle. Ausführung VOEST.
- 1949: Druckrohrleitungsstrang III und IV der Hauptstufe Kaprun der TKW,  $H_s = 890$  m, unterster Teil seit 1943 vorhanden (wassergasgeschweißte Längsnähte, Nietmuffenverbindung). Neuer Teil zwischen den Koten 1449,50 und 926,00,  $H_s = 746$  m,  $D_i = 1350/1300$  mm,  $s = 15/41$  mm, ALDUR 44 mit min.  $\sigma_F = 28$  kg/mm<sup>2</sup>. Nachweis der Alterungskerbzähigkeit bei + 4° C. Ausführung VOEST und Waagner-Biró AG.

### Weitere österreichische Druckrohrleitungen ab 1948:

- 1948: Debant II (Osttirol) der TIWAG,  $H_s = 228$  m,  $D_i = 700$  mm, St 37 T, Waagner-Biró AG.
- 1949: Fleißbachkraftwerk (Kärnten) der TKW, schiefe Länge 1490 m,  $H_s = 310$  m,  $D_i = 800/550$  mm, St 37 T, Waagner-Biró AG.
- 1950: Bachüberleitungen nach Vermunt der VIW (Überleitung Tiroler Bäche in den Vermunt-Stausee in Vorarlberg. Erster Bauabschnitt mit den Taldükern Kleinvermunt und Vallüla, der freitragenden Rohrbrücke Kops und mit verschiedenen eingeschütteten Druckrohrsträngen. Max.  $H_s = 160$  m, max.  $D_i = 2200$  mm, St 37 T, VOEST, Waagner-Biró AG und Wiener Brückenbau AG.
- 1950: Uffendorf (Stubach III) der ÖBB,  $H_s = 231,1$  m,  $D_i = 2500/1700$  mm,  $s = 10/32$  mm, im Rohrstollen frei verlegt. Kesselblech M II und ALDUR 41, Waagner-Biró AG. Schiefe Länge 611 m, 4 Festpunkte, 3 Dehn-Stopfbüchsen. Verteilrohrleitung  $D_i = 1700/750$  mm,  $s = 34/20$  mm.
- 1950: Mühlau (Kraftwerk und Trinkwasserleitung Innsbruck), zwei Stränge, schiefe Länge 1500 m,  $H_s = 600$  m,  $D_i = 600$  mm,  $s = 7/18$  mm, St 37 T und Kesselblech St 41 KT, Waagner-Biró AG.
- 1950: Kalserbachkraftwerk (Osttirol) der TIWAG,  $H_s = 276$  m,  $D_i = 1200/1000$  mm,  $s = 6/15$  mm, St 37 T und Kesselblech St 41 KT, Waagner-Biró AG.
- 1950: Durchführungsrohre durch den Sperrnkörper Limberg (Oberstufe Kaprun der TKW),  $H_s = 80$  m,  $D_i = 3100/2200$  mm,  $s = 15/20$  mm, Kesselblech M I, Waagner-Biró AG.
- 1951: Ranna-Kramesau (Oberösterreich) der OKA, Strang II, schiefe Länge 410 m,  $H_s = 208$  m,  $D_i = 1600$  mm,  $s = 8/20$  mm, Kesselblech M I, Verteilrohrleitung ALDUR, max.  $s = 34$  mm, VOEST.
- 1951: Thurnberg-Wegscheid (Niederösterreich) der NEWAG, Druckschacht  $H_s = 50$  m,  $D_i = 2900$  1700 mm, St 37 T, Waagner-Biró AG.
- 1951: Dobra-Krumau (Niederösterreich) der NEWAG, Druckschacht  $H_s = 85$  m,  $D_i = 3600/1600$  mm, St 37 T, Waagner-Biró AG. Ferner freitragende Rohrbrücke mit 35 + 35 + 35 + 35 + 38 m Feldweite, sowie freitragende Rohrbrücke Genitzbach mit 29,1 + 31,4 + 35,0 m Feldweite,  $H_s = 60$  m  $D_i = 3600$  mm,  $s = 12/17$  mm, St 37 T, Rohrschüsse an den Auflagerringen aus ALDUR 41, VOEST.
- 1951: Möllpumpwerk der Oberstufe Kaprun (Salzburg) der TKW, Erster Bauabschnitt, Länge 320 m,  $H_s = 140$  m,  $D_i = 2800/1600$  mm, Waagner-Biró AG.
- 1951: Druckrohrleitung Gondelwiese der Laufwerkstufe Reifheck (Kärnten) der ÖDK, schiefe Länge 1600 m,  $H_s = 107,40$  m,  $D_i = 1200/900$  mm, Waagner-Biró AG.
- 1951: Mühldorf (Kärnten) der MUWAG, schiefe Länge 2176 m,  $H_s = 175$  m,  $D_i = 600/350$  mm,  $s = 5/12$  mm, St 37 T, VOEST.
- 1952: Kavernenkraftwerk Braz (Vorarlberg) der ÖBB,  $H_s = 305,50$  m,  $D_i = 2100/1700$  mm,  $s = 10/28$  mm, ALDUR 44, im Rohrstollen frei verlegt, VOEST. Ferner Verteilrohrleitung  $D_i = 1700/600$  mm, max.  $s = 29$  mm, Waagner-Biró AG.
- 1952: Kaming (Kärnten) der KELAG, schiefe Länge 800 m,  $H_s = 159$  m,  $D_i = 2400/1500$  mm,  $s = 8/18$  mm, St 37 T, VOEST.
- 1953: Bachüberleitungen nach Vermunt der VIW, Zweiter Bauabschnitt, mit den Taldükern Jam ( $H_s = 175$  m,  $D_i = 1800/1600$  mm) und Larain ( $H_s = 56$  m,  $D_i = 1400$  mm), Waagner-Biró AG.
- 1953: Oberstufe Kaprun (Salzburg) der TKW,  $H_s = 2036-1571 = 465$  m. Druckschacht Limberg mit  $D_i = 2900/2700$  mm,  $s = 18/28$  mm in der Steilstrecke und  $D_i = 2500$  mm,  $s = 26/41$  mm in der Flachstrecke. ALDUR 47 mit min.  $\sigma_F = 30$  kg/mm<sup>2</sup>. VOEST und Waagner-Biró AG. Hosenrohr mit  $D_i = 2500/2.1700$  mm und max.  $s = 46$  mm, anschließend die Verteilrohrleitung des Krafthauses Limberg, ALDUR 47,  $s = 41/24$  mm, VOEST. Ferner 2 Kugelabzweigsstücke (Ausführung VOEST) und 2 druckausgeglichene Stopfbüchsen aus Stahlguß Stg 45 E (Ausführung Waagner-Biró AG).
- 1953: Rauris-Kitzloch (Salzburg) der SAG, schiefe Länge 750 m,  $H_s = 223$  m,  $D_i = 1800/1500$  mm,  $s = 10/24$  mm, St 37 T und ALDUR 47, Waagner-Biró AG.
- 1954: Möllpumpwerk der Oberstufe Kaprun (Salzburg) der TKW, Zweiter Bauabschnitt,  $H_s = 260$  m,  $D_i = 2800$  mm, Waagner-Biró AG.
- 1954: Talsperrenkraftwerk Offenstein (Niederösterreich) der NEWAG, Druckstollenpanzerung  $H_s = 70$  m,  $D_i = 5800/2700$  mm, Waagner-Biró AG.
- 1954: Hang- und Stollenrohrleitung der Speicherstufe Reifheck (Kärnten) der ÖDK, Länge 1654 + 1200 m,  $H_s = 160$  m,  $D_i = 1350/1100$  mm, VOEST und Waagner-Biró AG.
- 1955: Kavernenkraftwerk Imsterau (Innstufe Prutz-Imst, Tirol) der TIWAG,  $H_s = 144$  m, Druckschacht  $D_i = 4400$  mm,  $s = 10/18$  mm, ALDUR 35 und ALDUR 44. Großes Hosenrohr 4400/3500/2400 und kleines Hosenrohr 3500/2400/2400 aus ALDUR 47. Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1955: Ennskraftwerk Hiefalau (Steiermark) der STEWEAG, Druckschacht,  $H_s = 564,50 - 479,30 = 85,20$  m,  $D_i = 3000/2400$  mm,  $s = 8/15$  mm, als Panzerrohr ohne Gebirgsmitwirkung (Rohranteil  $\alpha = 1,00$ ) bemessen, St 37 T mit Normalglühung der Bleche nach der Abnahme, zulässige Ringzugspannung 1200 kg/cm<sup>2</sup>. Waagner-Biró AG, Wien-Graz.
- 1955: Salzachkraftwerk Schwarzach (Salzburg) der TKW,  $H_s = 149$  m, Druckschacht  $D_i = 5200/4700$  mm, ALDUR 35, 44 und 47,  $s = 15/16$  mm, Ausführung Waagner-Biró AG. Krümmer, Hosenrohr 4700/3300/3300 mm und Verteilrohrleitung mit querbeweglichen Stopfbüchsen; Ausführung VOEST-Linz.
- 1955: Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifheck (Kärnten) der Österreichischen Draukraftwerke AG.  $H_s = 1778,80$  m,  $D_i = 1350/950$  mm. Aufteilung in Baulose gemäß Zusammenstellung 8.
- 1955: Taldüker Salonien der Triebwasserführung des Lünserseewerkes der Vorarlberger Illwerke AG,  $H_s = 326$  m,  $D_i = 2600/2400$  mm,  $s = 14/28$  mm, ALDUR 44 und ALDUR 47, Waagner-Biró AG.
- 1955: Falleitung des Lünserseewerkes der Vorarlberger Illwerke AG,  $H_s = 974,10$  m,  $D_i = 3200/2050$  mm, Aufteilung in Baulose gemäß Zusammenstellung 11.
- 1955: Druckrohrleitung der Stufe Kreuzeck der Speicheranlage Reifheck-Kreuzeck (Kärnten) der ÖDK, baureifes Projekt;  $H_s = 1288,50 - 605,80 = 682,70$  m,  $D_i = 1800/1350$  mm, schiefe Länge 1550 m.

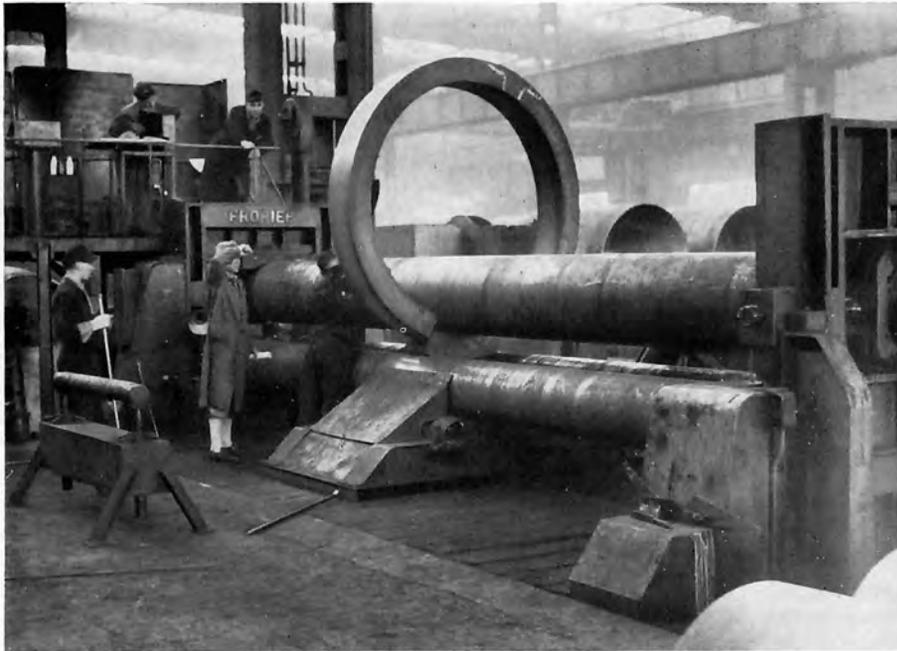


Bild 40: Rundbiege-  
(Einroll-)Maschine für  
Rohrschüsse.  
VOEST-Linz

STEWEG unter Meisterung aller Schwierigkeiten der ersten Nachkriegsjahre errichtet worden ist. Der Sperrkörper des Speichers ist eine Gewölbemauer<sup>34)</sup> — die zweite Gewölbemauer unter den österreichischen Talsperren; die erste gehört zum Speicher des schon erwähnten Gerloskraftwerkes und wurde 1944 vollendet. Der Druckrohrleitungsstrang (Bild 57) muß eine tiefe Runse queren und bildet hier den Versteifungsträger eines 45 m weit gespannten Trapezsprengwerkes mit vier gegen die Felswände abgestützten Streben und einer Krafteinleitung in den Riegel mit Hilfe torsionssteifer Ringe (Bild 58). Im Rahmen der Festigkeitsberechnung des Druckrohrleitungsstranges (diese Berechnung wurde 1948 von Herrn Dipl.-Ing. H i e m e s c h verfaßt und ist 141 Seiten lang) fanden alle schalen-theoretischen Probleme, die bei der Bestimmung der Spannungsfelder auftreten, ihre Lösung.

Die Laufwerkstufe Reifheck bildet zusammen mit der Speicherstufe Reifheck und der im gegenüberliegenden Bergmassiv liegenden Stufe Kreuzheck eine der Österreichischen Draufkraftwerke AG gehörende Hochdruckanlage in Kärnten; die Bilder 59 und 60 zeigen den Lageplan und den Längenschnitt dieser Anlage. Das Titelbild gibt einen Blick von der Kreuzheckseite auf die Reifheckseite mit der Laufwerksleitung und der Trasse der (derzeit im Bau befindlichen) Speicherstufenleitung, die in ihrem unteren Teil neben der Laufwerksleitung verläuft; beide Leitungen werden im Talgrund als eingeschüttete Leitungen zum Krafthaus Kolbnitz am Ufer der Möll geführt. Bild 62 zeigt die Laufwerksleitung. Im Rahmen der stichprobenweisen Schweißnahtprüfungen sind 13 Prozent der gesamten Werksnahtlänge und 12 Prozent der gesamten Montagenahlänge der Röntgenprüfung unterworfen worden; die Ultraschallprüfung kam damals noch nicht zur Anwendung.

Wir haben schon erwähnt, daß die Stränge I+II und die untersten Teile der Stränge III+IV der Druckrohrleitungen der Hauptstufe Glockner-Kaprun noch während des Krieges fertig-

gestellt worden sind und wassergasgeschweißte Rohre mit Nietmuffenverbindungen aufweisen. Die im Jahre 1949 von österreichischen Firmen erbauten mittleren und oberen Teile der Stränge III+IV umfassen mehr als 2000 t Blech, wurden vollkommen lichtbogengeschweißte und bestehen aus ALDUR 44 mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze von 28 kg/mm<sup>2</sup>. Die technischen Lieferbedingungen für die Bleche sind hier von einem besonderen Expertenkomitee unter Führung von Prof. Dr. Ing. A. L e o n formuliert worden; es wurden die Kohlen-

Bild 41: Automatschweißung einer Rundnaht. Soc. TERNI, Werk Terni



stoffbegrenzung, die Mindestbruchdehnung  $\delta_5 = 24\%$ , die Mindestbiegewinkel beim Aufschweißbigeversuch in Abhängigkeit von den vorkommenden Blechdicken (15—41 mm) und vor allem der Mindestwert für die Alterungskerbzähigkeit bei einer Prüftemperatur von  $+4^\circ\text{C}$  festgelegt.<sup>35)</sup> Die Forderungen sind bei der Abnahmeprüfung ausnahmslos erfüllt worden.<sup>36)</sup> Die Rohrstücke wurden im Werk samt den angeschweißten Gleitblechen spannungsfrei gegläht und dann in der Rohrpresse mit dem 1,3-fachen größten Betriebsdruck abgepreßt. Für die Bemessung der Rohre wurde der Vergleichsspannungswert  $\sigma_v$  der Gestaltänderungstheorie (der Fließhypothese der größten Oktaederschubspannung) vom Expertenkomitee mit  $1450\text{ kg/cm}^2$  — das sind rund 52% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes — für den ungünstigsten Betriebslastfall festgesetzt. Die Bilder 63 bis 66 zeigen die Montage dieses beachtenswerten Druckrohrleitungspaars. Die Werkstoffabnahme und die Kontrolle der Fertigung und Montage lag ebenso wie bei den Druckrohrleitungen Salza und Reifjeck in den Händen der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der TH Wien.

Die eben erwähnten 52% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes wurden auch bei der Bemessung der im weiteren gebauten österreichischen Druckrohrleitungen als maßgebend angesehen und erfuhren erst vor einigen Monaten — bei der Festlegung der Bemessungsgrundlagen für die Falleitungen der Speicherstufe Reifjeck und des Lünnerseewerkes — im Hinblick auf die erstklassigen Ergebnisse der über sieben Jahre erstreckten Abnahmeprüfungen eine Erhöhung auf 54,5% bei geraden Rohren. Der Wert bezieht sich auf freie (von Luft umgebene) Druckrohrleitungen im ungünstigsten Betriebslastfall des Turbinenbetriebes (z. B. Schnellschluß aller Turbinen) oder des Speicherpumpenbetriebes (z. B. Stromausfall der Antriebsmotoren, also Vom-Netz-Fallen der Pumpen).

Er muß auf das 0,9-fache abgemindert werden,

wenn das Rohr im unmittelbaren Kraftausbereich liegt (Verteilrohrleitungen), oder wenn tragende Längsnähte auf der Baustelle geschweißt werden müssen und nicht spannungsfrei gegläht werden können; mitunter wurde eine solche Abminderung von der Wasserrechtsbehörde auch gefordert, wenn sich das Rohr außerhalb des Bereiches der Rohrbruchsicherung befindet. Solche Rohrbruchsicherungen können durch Schnellschlußschützen (beispielsweise bei den Falleitungen Gerlos der TKW, Imst der TIWAG, Ottenstein der NEWAG) oder durch Drosselklappen bedient werden, die sich am oberen Ende der Falleitung in einer Apparate- oder Sperrkammer befinden und bei Schadensfällen automatisch schließen. Die Auslösung erfolgt mitunter durch Stoßplatten oder Stauscheiben, die so eingestellt werden, daß sie erst bei einer Überschreitung der Ausbaumengenmenge (Fahren aller Turbinen mit Vollast) um 20 oder 30% ansprechen. Bei Werkstillstand oder Fahren mit Teillast und bei relativ kleinen Wasserausstritten spricht die Automatik hier nicht an — und demgemäß hat sich auch die große Drosselklappe im Triebwasserweg Dobra-Krumau (Kampkraftwerk der NEWAG) nicht selbständig geschlossen, als es zu einem Wasserausbruch aus dem Druckstollen bei Werkstillstand kam. Auch beim Schadensfall der Druckrohrleitung des Gampadelswerkes der VKW und der alten, schon 1912 gebauten französischen Druckrohrleitung Doro nde Champaigny<sup>37)</sup> (Spröbruch alter Wassergasschweißungen<sup>38)</sup> hat die Stauscheibe versagt. Soll die Rohrbruchsicherung bei Wasserausstritten unabhängig von der jeweiligen Betriebswassermenge ausgelöst werden — also beispielsweise immer ansprechen, wenn am oberen Ende der Leitung um 10% mehr Wasser zufließt, als unten den Turbinen zugeleitet wird —, so muß ihr eine Druck- oder Mengendifferenzenmessung mit Venturirohren zugrundeliegen. Eine Anlage dieser Art ist beispielsweise bei der Druckrohrleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun<sup>39)</sup> und der Falleitung der Oberstufe Glockner-Kaprun gebaut worden.



Bild 42: Einbringen eines Rohrstückes in den elektrischen Ofen zur Spannungsfreiglühung. Soc. TERNI, Werk Terni

Der Festigkeitsnachweis muß auch für die Ausnahmelastrfälle erbracht werden, wobei der zulässige Vergleichsspannungswert entsprechend höher liegen darf. Bei Turbinen mit Druckreglern ergeben sich solche Ausnahmelastrfälle beispielsweise beim Versagen der Druckreglersteuerung, bei Freistrahlturbinen beim Versagen der Steuerung der Strahlableiter und Düsenadeln, und bei Kraftwerken mit Speicherpumpenbetrieb ergeben sie sich beispielsweise auch beim Schließen der oberen (beim Wasserschloß befindlichen) Drosselklappe im Pumpbetrieb oder beim Anfahren der Pumpe gegen die geschlossene obere Drosselklappe.

Die Panzerrohre der Druckstollen und Druckschächte werden wie freie, nicht vom Gebirge umhüllte Rohre bemessen, doch darf dann die Ringzugspannung (Umfangzugspannung) im ungünstigsten Betriebslastfall 80% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes betragen; dieser Festlegung liegt die Annahme zugrunde, daß dem Panzerrohr der Anteil  $0,52/0,80 = 0,65$  und daher dem umhüllenden Gebirge der Anteil  $1,00 - 0,65 = 0,35$  des Innendruckes zufällt. In der Nähe der Geländeoberfläche, bei geringer Gebirgsüberlagerung, bei schlechter Gebirgsbeschaffenheit oder bei größerer Auflockerung des Gebirges durch die Sprengarbeiten ist dieser rechnermäßige Gebirgsanteil von 0,35 des Innendruckes entsprechend zu vermindern, d. h. es ist die zulässige Spannung zwischen den angeführten Grenzen (52% der Mindeststreckgrenze bei nicht mittragendem Gebirge und 80% bei gutem Fels und hoher Überlagerung) durch Interpolation zu gewinnen; die Wanddickenänderung erfolgt sprunghaft je Rohrschuß, doch darf dieser Sprung höchstens 3 mm je Rohrschuß betragen. Im Zusammenhang mit der erwähnten Erhöhung der zulässigen Vergleichsspannung freier, gerader Druckrohre von 52 auf 54,5% der Mindeststreckgrenze ist vor einigen Monaten

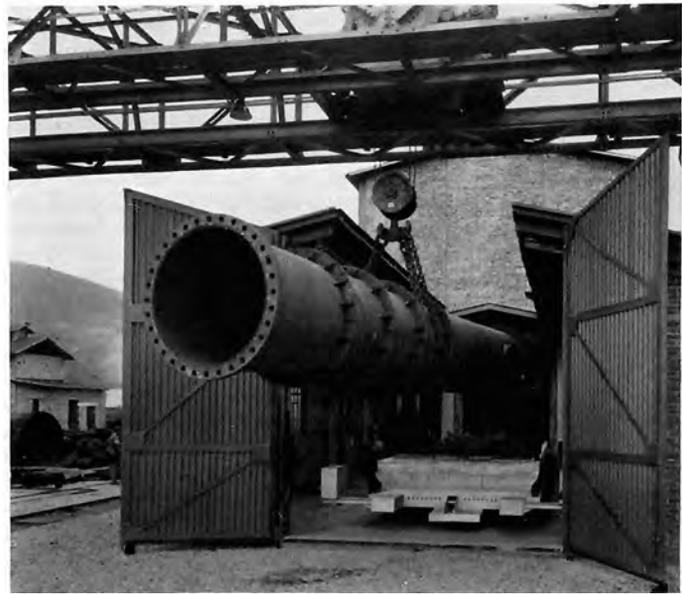


Bild 43: Elektrischer Glühofen im Werk Graz der Waagner-Biró AG. Vorhalle mit aufgeklapptem Dach, Absenken eines Rohres auf den ausgefahrenen Herdwagen

auch die zulässige Ringzugspannung von Panzerrohren im Fall einer großen Gebirgsüberlagerung und eines sehr guten geologischen Befundes von 80% auf 100% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes (wieder bezogen auf den gedachten Fall der Nichtmitwirkung des umhüllenden Gebirges) gehoben worden; diese neue Festlegung — die im Hinblick auf die erfahrungsgemäß erstklassigen Ergebnisse der Abnahmeprüfungen des Werkstoffes und auch im Hinblick auf die erstklassige Ausführung der Schweißung,

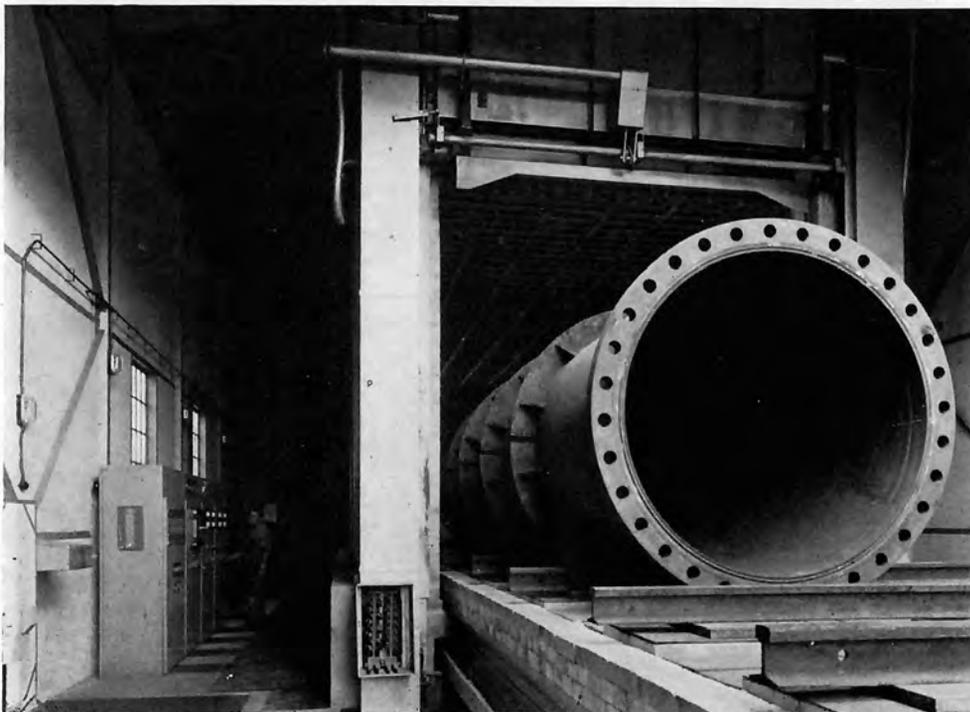
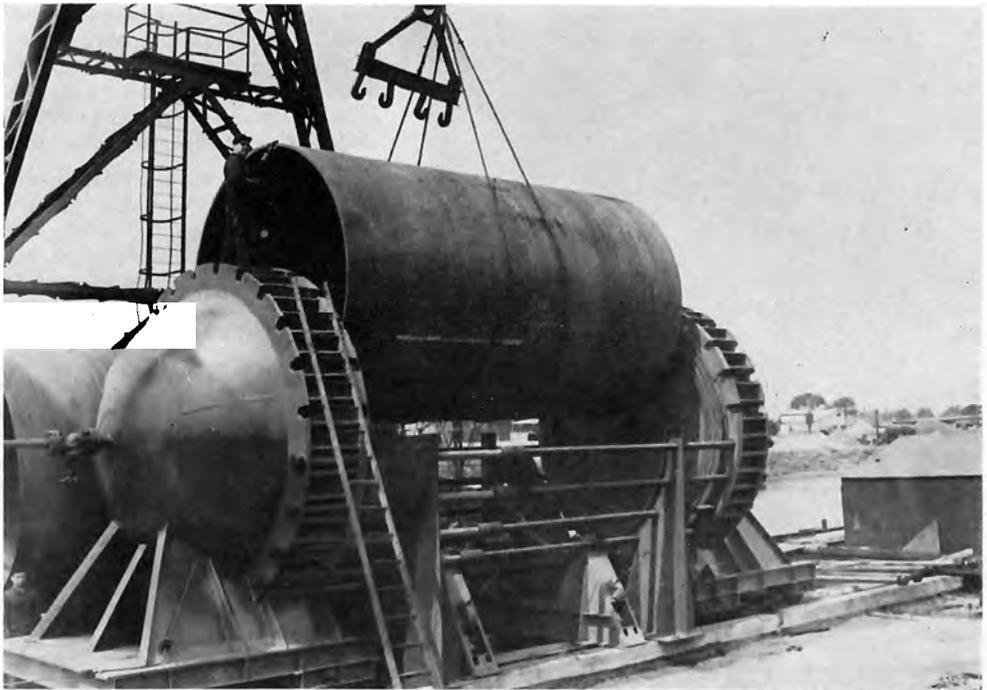


Bild 44: Elektrischer Glühofen im Werk Graz der Waagner-Biró AG. Einfahren des auf dem Herdwagen liegenden Rohres in den Ofen. Lichte Breite 3,00 m, lichte Höhe 3,00 m, lichte Länge 10,70 m. Spannungsfreiglühen und Normalglühen mit automatischer Steuerung

Bild 45: Rohr-  
presse (Ab-  
drückvorrich-  
tung) für die  
Wasserdruck-  
probe, Rohr-  
durchmesser bis  
3500 mm und  
Bodendrücke bis  
5000 t. Einsetzen  
eines großen  
Rohres; die  
waagrechten  
Zuganker sind  
in der oberen  
Hälfte abgeho-  
ben und die bei-  
den Deckel sind  
etwas zurückge-  
fahren. Dort-  
munder Union  
Brückenbau-AG,  
Werk Orange  
(Gelsenkirchen)



der Hinterbetonierung und der Hinterpressung der Panzerrohre getroffen worden ist — entspricht der Annahme, daß dem Panzerrohr der Anteil  $0,545/1,00 = 0,545$  und daher dem umhüllenden Gebirge der Anteil  $1,000 - 0,545 = 0,455$  des Innendruckes zufällt. In den angeführten zulässigen Spannungen sind alle Nebeneinflüsse schon berücksichtigt; ein Dickenzuschlag für Rost und Sand-schliff wird behördlicherseits in der Regel nicht gefordert. Als Mindeststreckgrenze darf der im Anlieferungszustand (vor dem Spannungsfrei-glihen) nachgewiesene Wert zugrundegelegt wer-  
den und es ist auch nicht grundsätzlich verboten,

anstelle des nominellen Garantiewertes die bei der Abnahme nachgewiesene effektive Streckgrenze (hier wäre allerdings eine blechweise Abnahme erforderlich) in die Rechnung einzu-führen. Ein blechebenes Abarbeiten der Schweiß-raupen wird von der Wasserrechtsbehörde nur ver-langt, wenn dies mit Rücksicht auf die Ermüdungs-beanspruchung oder die dynamischen Wirkungen geboten erscheint.

#### 6.

An die drei geschilderten Druckrohrleitungs-bauten reihten sich in den vergangenen sieben Jahren, wie die Zusammenstellung 6 lehrt, noch

Bild 46: Rohr-  
presse für einen größten Bodendruck von 7000 t zur Durchführung der Wasserdruckprobe und zur  
Herstellung plastisch ausgeweiteter Rohre. Soc. TERNI, Werk Terni

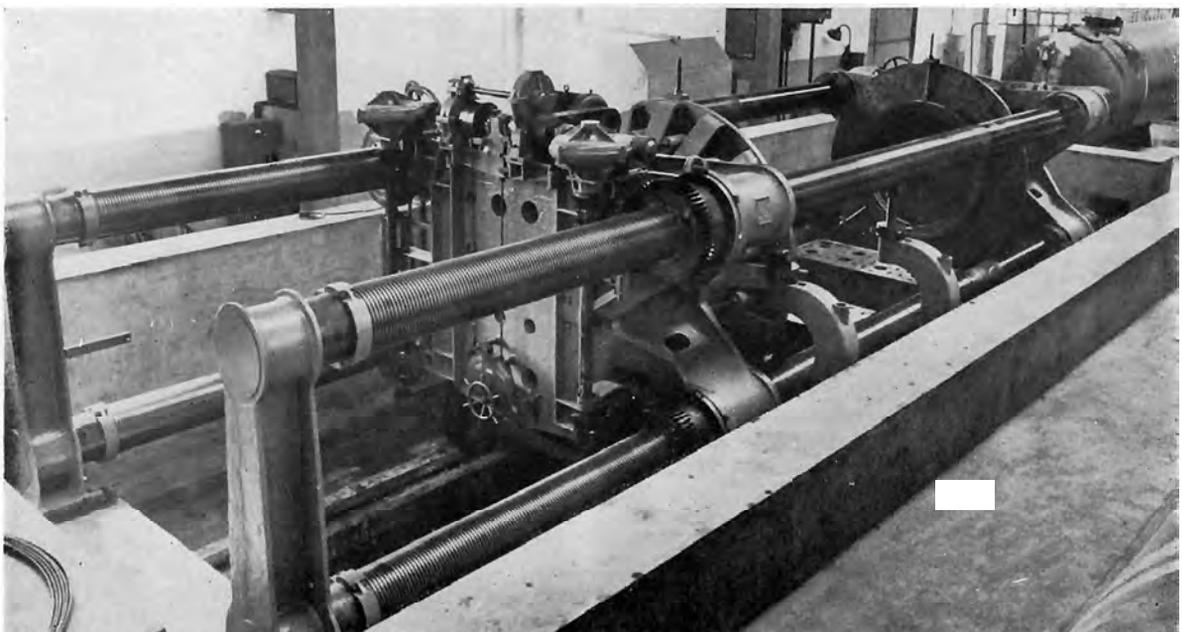




Bild 47: Verteilrohrleitung der Zentrale Riddes. (Anlage Mauvoisin, Walliser Alpen), Teilstück mit den drei letzten Turbinenabzweigen, mit Deckeln verschlossen, als „Behälter“ abgepreßt, Prüfdruck gleich dem 1,33-fachen größten Betriebsdruck. Durchführung von Dehnungsmessungen im Bereich der Sulzerkragen. Werk Winterthur der Gebrüder Sulzer AG, Winterthur

viele andere Druckrohrleitungsbauten an. Debant II hat eine zwar kleine, aber sehr steile Druckrohrleitung (Bild 67 und 20). Die Bachüberleitungen nach Vermunt, die das Wasser von Tiroler Bächen in den Stausee des Vermuntkraftwerkes einleiten, bilden eine recht beachtenswerte Anlage mit vier Taldüchern, einer freitragenden Balken-Rohrbrücke und vielen eingeschütteten Druckrohrleitungen. Die Anlage ist in zwei Abschnitten gebaut worden. Zum ersten Bauabschnitt zählen der Taldücker Kleinvermunt im obersten Paznauntal (Bild 68 und 69) und die „Durchleitung Kops“ (Bild 70) mit der Rohrbrücke Kops (Bild 71). Das Kraftwerk Uttendorf gehört zu der schon geschilderten Stubach-Werksgruppe der Österreichischen Bundesbahnen (Bild 30 und 31) und besitzt eine unter Tag (in einem Schrägstollen) verlegte freie Druckrohrleitung (Bild 72 und 17). Das Kraftwerk Mühlau arbeitet das Trinkwasser der Stadtgemeinde Innsbruck ab (Bild 73 und 6). Das Kaiserbachkraftwerk liegt in Osttirol (Bild 74 und 11), nahe der baureif projektierten Speicheranlage Dorfertal-Huben, bei der der Sperrkörper durch eine 160 m hohe Gewölbemauer gebildet wird. Bild 75 zeigt die durch die Limbergsperre (eine Gewölbemauer mit einer größten Höhe von

fast 120 m) hindurchgeführten Turbinenauslauf- bzw. Pumpeneinlaufrohe des Krafthauses Limberg der Oberstufe Glockner-Kaprun;<sup>40)</sup> die beiden Rohre gehören zu den beiden Maschinensätzen (Turbine, Generator-Motor, Speicherpumpe) und sind vom Sperrbeton umhüllt.

Das alte Rannkraftwerk, das 1925 von der Stern & Hafferl AG gebaut worden ist (vgl. Zusammenstellung 1), wurde 1951 von der OKA zu einem Speicherkraftwerk (mit der Gewölbemauer Ranna) ausgestattet und mit einer zweiten Druckrohrleitung (Bild 76) versehen, die bloß einen Maschinensatz speist; dieser Maschinensatz besteht aus einer Turbine ohne Druckregler, dem Generator-Motor und einer Speicherpumpe, die das Donauwasser vom Krafthaus Kramesau hinauf in den Speicher drückt. Beim Schnellschluß der Turbine entstehen dynamische Drucksteigerungen von 20%, die zum Betriebslastfall gehören und bei der Bemessung der Leitung Berücksichtigung fanden. Die Druckrohrleitung wurde aus Kesselblech M I hergestellt; da bei diesem Kesselblech die Mindeststreckgrenze nicht gewährleistet ist und im normalgeglühten Zustand bis auf etwa 19 kg/mm<sup>2</sup> abzusinken vermag, durfte die zulässige Vergleichsspannung nur mit 1000 kg/cm<sup>2</sup> angenommen werden. Im Jahre 1951 wurden auch die Falleitungen der beiden Kampkraftwerke Thurnberg-Wegscheid und Dobra-Krumau der NEWAG gebaut. Es sind dies zwei Flußkraftwerke kleiner Fallhöhe, doch sind bei der zweitgenannten Anlage die über das Kamptal und über das Genitzbachtal geführten Balken-Rohrbrücken

Bild 48: Druckrohrleitung des Kraftwerkes Uttendorf (Stubach III) der Österr. Bundesbahnen, Transport eines Rohrstückes zur Einbaustelle. Waagner-Biró AG, Wien-Graz



(Bild 77 und 78) mit einem Innendurchmesser von 3600 mm und mit Feldweiten bis zu 38 m von Interesse; um die Frage der Beulsicherheit solcher weitgespannter Rohrträger mit kleiner Wanddicke und großem Durchmesser — vor allem die theoretisch noch nicht untersuchte Frage der Schubbeulung — zu klären, hat die VOEST aufschlußreiche Modellversuche durchgeführt. Bild 79 zeigt ein Panzerrohr des Druckschachtes Krumau mit den außen aufgeschweißten Flachstählen, die geißfußartig aufgespalten wurden und deren Anschluß mit einer endkraterfrei herumgeführten Kehlnaht erfolgt; diese Verankerung greift im fertigen Zustand des Druckschachtes in die Hinterbetonierung ein und verhindert das Einbeulen des dünnen Panzerrohres durch den Gebirgswasserdruck, wenn der Schacht entleert und daher kein Innendruck wirksam ist. Die geschilderten Flachstähle wirken sowohl als Schubanker (gegen tangentielle Verschiebungen in Richtung des Umfanges, wie sie beim Einbeulen auftreten) als auch als radiale Zuganker (gegen das Durchschlagen der flachgekrümmten Kreiszyinderschale unter dem Außenwasserdruck), wobei im letztgenannten Fall die gegen Abreißen widerstandsfähige Schweißverbindung mindestens ebenso wichtig ist wie die geißfußartige Auf-



Bild 49: Lichtbogengeschweißte Druckrohrleitung mit genieteten Montagestößen. Anlage Sengulam in Südindien. Dorfmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange, Gelsenkirchen

Bild 50: Elliraschweißung einer Wasserschloß-Panzerung von 5300 mm Durchmesser nahe der Einbaustelle. Falleitung Fionnay der Anlage Grande Dixence, Walliser Alpen. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur



spaltung. Bild 80 bezieht sich auf das Wasserschloß Krumau des genannten Kampkraftwerkes und zeigt eine in Österreich erstmals ausgeführte, bautechnisch recht vorteilhafte Art der Aussteifung der Panzerung. Es wurde hier jeder lotrechte Rohrschuß der Panzerung durch einen waagrechten Fachwerkring versteift, der auf der Innenseite liegt und daher bei den Spiegelschwankungen des Wasserschlosses durchströmt wird; gegen ein örtliches Durchschlagen der flachgekrümmten, dünnen Bleche wurden außerdem noch Rundstahlanker auf der Außenseite (für den Eingriff in die Hinterbetonierung) angeschweißt. Da die Spiegelschwankungen im Schachtwasserschloß mit geringer Geschwindigkeit (etwa 0,25 m/s) erfolgen, sind Schwingungen der Fachwerkstäbe (mit der Gefahr von Ermüdungsbrüchen) nicht zu befürchten. Auf das Problem des Einbeulens von Panzerrohren unter der Wirkung des Gebirgswasserdruckes werden wir später noch zurückkommen.

Im Jahre 1952 wurde die Falleitung des Kaverne kraftwerkes Braz der Österreichischen Bundesbahnen gebaut, die ähnlich wie bei Stubach I und Stubach III unter Tag in einem Schrägstollen verlegt ist; Braz gehört ebenso wie das einleitend geschilderte Spullerseeewerk zur Alfenz-Werksgruppe, deren Lageplan und Längenschnitt in Bild 81 und 82 dargestellt sind. Im gleichen Jahr ist auch die Druckrohrleitung des Kraftwerkes K a m e r i n g beim Weißensee in Kärnten — eines Speicherkraftwerkes mit einer kleinen Gewölbemauer — errichtet worden (Bild 83), und das Jahr 1953 brachte die Vollendung des zweiten Bauabschnittes der von den Vorarlberger Jllwerken gebauten Bachüberleitungen nach Ver-



Bild 51: Herstellung der Rohre aus Teilschalen nahe der Einbaustelle. Schweißzelle mit elektrisch betriebenen Rollgängen; Automat-Schweißung; Aussteifungsgerüste für die großen Rohre. Schluchsee II (Witznau), Meltmastollen,  $D_i = 4800$  mm,  $s = 20/22$  mm, Stahl UNION 36. Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange, Gelsenkirchen

montiert (mit den Taldüchern Jam und Larain) sowie den Bau der Druckrohrleitung Rauris-Kitzloch der Salzburger Aluminium Gesellschaft (Bild 61 und 84); im Bild erkennt man auch die im Jahre 1904 gebaute, vollkommen genietete Druckrohrleitung der untersten Stufe der Rauriser Ache ( $H_s = 125$  m, schiefe Länge 525 m). Vor allem aber brachte das Jahr 1953 den Bau des Druckschachtes Limberg der Oberstufe<sup>40)</sup> des Tauernkraftwerkes Glockner-Kaprun mit zwei Speichern und vier gewölbten Talsperren: der 112 m hohen Drossensperre, der 104 m hohen Moosersperre, der 93 m hohen Möllsperre und der 40 m hohen Margaritzensperre). Die 463 m lange, unter einem Winkel von  $51^\circ 15'$  gegen die Waagrechte geneigte Steilstrecke des Druckschachtes<sup>41)</sup> mit dem Innendurchmesser von 2900 bis 2700 mm hat eine Panzerung aus ALDUR 47 (mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze von  $30 \text{ kg/mm}^2$  und einer gewährleisteten Mindestbruchdehnung von  $\delta_5 = 24\%$ ) mit Wanddicken von 18 bis 28 mm und Rohrlängen von rund 10 m. Die Hinterbetonierung erfolgte nach dem Prepakt-Verfahren. Aus Gründen des Baufortschrittes und auch im Hinblick darauf, daß man die Montagerundnähte im Schacht gegen eine Bandage schweißen muß und daß das Spannungsfreiglühen Schwierigkeiten im Bauprogramm begegnet, hatte man ursprünglich erwogen, Innenstemm-Muffen ähnlich wie beim Schrägstollen Maiskogel oder beim Druckschacht Rodund auszuführen. Später entschloß man sich jedoch zur Lichtbogenschweißung ohne nachträgliche Spannungsfreiglühung, da sich der Stahl gut schweißen

läßt und nicht zur Aufhärtung neigt. Die Herstellung der Steilstreckenpanzerung lag in den Händen der Waagner-Biró AG (Bild 85). Die Panzerung in der unten anschließenden 178 m langen Flachstrecke des Druckschachtes ( $D_i = 2500$  mm,  $s = 26$  bis 41 mm, ALDUR 47) und auch das Hosenrohr mit den zum Krafthaus Limberg führenden beiden Rohrsträngen  $D_i = 1700$  mm wurden von der VOEST gebaut; die Hinterbetonierung erfolgte hier mit Pumpbeton. Das aus ALDUR 47 bestehende Hosenrohr 2500/1700/1700 weist Wanddicken von 28 bis 46 mm auf, und der Bügel (Nahträger) hat einen Steg von 50 mm und Gurtplatten von 70 mm Dicke; der schwebende Ring hat einen rechteckigen Hohlquerschnitt (Bild 86 und 87). Das Hosenrohr wurde vor dem Stollen zusammenschweißt und als „Behälter“ der Wasserdruckprobe unterworfen; nachher wurde es zur Einbaustelle geschoben und einbetoniert. Die beiden Rohrstränge  $D_i = 1700$  mm enthalten in der Apparatkammer die Kugelschieber und die Venturirohre für die Rohrbruchsicherung, und enden im Krafthaus Limberg mit je einem Kugelabzweigstück, um die Aufspaltung des Stranges in die Turbineneinlaufleitung und die Pumpenauslaufleitung zu vollziehen (Bild 88 und 89); die erstere wird durch einen Kugelschieber und die letztere durch einen Ringschieber verschlossen, wobei sich aus hochbaulichen Gründen die Notwendigkeit ergab, die zwischen dem Kugelabzweigstück und dem Ringschieber wegen der Überbrückung einer Baufuge erforderliche Dilatation durch eine „druckausgeglichene“ Stopfbüchse (nach einem Vorschlag von Escher-Wyss in Zürich) zu bewerkstelligen. Diese beiden Stopfbüchsen wurden von der Waagner-Biró AG hergestellt. Bei der

Bild 52: Schweißung der Montagerundnähte von innen. Panzerrohre mit  $D_i = 6000$  mm,  $s = 14/36$  mm, nahe der Einbaustelle aus Teilschalen hergestellt. Rheintalstollen Schluchsee III (Walldshut). Baustahl St 52 Feinkorn. Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange, Gelsenkirchen



Bemessung der Falleitung war der ungünstigste Betriebslastfall des Turbinen- oder Pumpbetriebes sowie auch der Ausnahmestartfall des Turbinenbetriebes (Versagen des Druckreglers der Francis-Spiralturbinen) und der Ausnahmestartfall des Pumpbetriebes (Schließen der oberen Drosselklappe im Pumpbetrieb) zu berücksichtigen. Die zulässigen Spannungen wurden für den örtlich ungünstigsten Betriebs- und den örtlich ungünstigsten Ausnahmestartfall mit 52 bzw. 65% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes bei den freien Druckrohren (mit Abminderung dieser Werte auf das 0,9-fache bei Rohren im Krafthausbereich oder außerhalb der Rohrbruchsicherung oder bei Formstücken mit nicht spannungsfrei geglähten Längsnähten) und mit 80 bzw. 100% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze bei den Panzerrohren (bei gedachter Nichtmitwirkung des Gebirges) festgesetzt. Gefordert war für die Werknähte das Spannungsfreiglühen, stichprobenweise Röntgen- oder Isotopenprüfung, Wasserdruckprobe mit dem 1,3-fachen größten Betriebsdruck bzw. mit dem Rohrenteil dieses Druckes bei den Panzerrohren. Durchführung von Dehnungsmessungen während der Wasserdruckprobe der Formstücke mit der Empfehlung, die Bemessung und Konstruktion so durchzuführen, daß auch an den Spannungshäufungsstellen unter dem Prüfdruck die Vergleichsspannung unter  $29 \text{ kg/mm}^2$  bleibt. Der Übergang vom Panzerrohr zum rechnermäßig freien Druckrohr beginnt im Bereich der Flachstrecke schon 55 m vor dem Hosenrohr und endet 35 m vor dem Hosenrohr, weil hier die Gebirgsüberlagerung klein wird und die Auflockerung durch die Sprengarbeiten schon zu stark ist, um das Gebirge zum Mittragen heranziehen zu können; das Panzerrohr besitzt demnach schon im Bereich 35 m vor dem Hosenrohr, obwohl es ebenso wie dieses einbetoniert und hinterpreßt ist, die große Wanddicke eines freien, von der Luft umgebenen Druckrohres, und ebenso ist auch das Hosenrohr ohne Berücksichtigung einer Gebirgs-

Bild 53: Spannungsfreiglühen einer Montage-Rundnaht einer freien Druckrohrleitung, elektrischer (nicht induktiver) Außenglühofen. Druckrohrleitung Riddes (Anlage Mauvoisin, Walliser Alpen). Gebrüder Sulzer AG, Winterthur



Bild 54: Spannungsfreiglühen der Montage-Rundnaht einer Druckstollen-Panzerung. Mit Butangas geheizter Innenglühofen. Blick auf die Stirnseite des neu angeschlossenen Panzerrohrstückes und auf den koaxialen Spalt zwischen dem Panzerrohr und dem Gebirge; dieser Spalt wird später ausbetoniert und hinterpreßt. Im Vordergrund die Butangasflaschen. Falleitung Fionnay der Anlage Grande Dixence (Walliser Alpen). Gebrüder Sulzer AG, Winterthur

mitwirkung bemessen worden. Die Prüfung der Schweißnähte auf der Baustelle erfolgte mit Hilfe des Iridium-Isotops, mit der Filmkassette außen im koaxialen Spalt zwischen dem Rohrmantel und dem umgebenden Gebirge.

Im heurigen Jahr 1955 wurde die Falleitung des Innkraftwerkes *P r u t z - I m s t*<sup>42)</sup> mit einem gepanzerten Druckschacht und zwei Hosenrohren aus ALDUR 47 (eines davon ist in Bild 15 dargestellt) gebaut; die drei Francisurbinen besitzen keinen Druckregler, so daß bei der Bemessung der Panzerrohre auf die großen dynamischen Drucksteigerungen (50% beim Schnellschluß aller drei Turbinen) schon im Rahmen des Betriebslastfalles Rücksicht genommen werden mußte. Bild 90 zeigt einen Lageplan und Bild 91 einen Längenschnitt der Anlage. Im Herbst 1955 ging auch die erste Maschine des Ennskraftwerkes *H i e f l a u* der STEWEAG in Betrieb,<sup>43)</sup> das einen gepanzerten Druckschacht besitzt, und weiters wurde Ende 1955 auch die Falleitung des Salzachkraftwerkes Schwarzach der TKW vergeben; bei den Panzerrohren des Druckschachtes, der einen Innendurchmesser von 5200 bis 4700 mm aufweist, kommt als Werkstoff der ALDUR 35, 44 und 47 zur Verwendung und wurde mit Rücksicht auf die Gefahr des Einbeulens unter Gebirgswasserdruck (beim Entleeren des Schachtes) eine Mindestwanddicke von 15 mm festgelegt. Bild 92 zeigt den Lageplan und Bild 93 stellt den Längenschnitt des Kraftwerkes dar. Schließlich wurde 1955 auch mit der Herstellung der Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifseeck sowie der Falleitung des Lünserseewerkes begonnen. Es sind dies die beiden österreichischen „Rekordleitungen“, die wir schon einleitend erwähnt haben und auf die wir nunmehr — als das Kernstück des Referates — näher eingehen wollen.



Bild 55: Ultraschallprüfung einer Montage-Rundnaht einer freien Druckrohrleitung. Druckrohrleitung Riddes (Anlage Mauvoisin, Walliser Alpen). Gebrüder Sulzer AG, Winterthur

## 7.

Wenn wir die Kühnheit des Entwurfes einer Druckrohrleitung vergleichsweise beurteilen wollen und als Vergleichsmaß einfach die Größe des Innendruckes wählen, so zeigt uns die Zusammenstellung 7, daß es in dieser Hinsicht schon in den Jahren 1912/15 zum Bau einer beachtenswerten Hochdruckanlage in den Walliser Alpen kam. Es ist dies die einstufige Leitung vom Lac de Fully (Stauziel 2145,50 m) hinunter zum Krafthaus Fully im Rhonetal (Düsenkote 494,30 m) mit einer schiefen Länge von 4625,50 m.<sup>44)</sup> Im oberen Teil der Leitung kamen Rohre mit wassergeschweißten Längsnähten und Wanddicken bis zu 34 mm (zulässige Ringspannung 900 kg/cm<sup>2</sup>) zur Verlegung, und im unteren Teil der Leitung, wo die statische Druckhöhe bis auf H<sub>s</sub> = 1650,70 m anwächst, gelangten nahtlos gewalzte Rohre mit Wanddicken bis zu 41 mm (zulässige Ringspannung 1000 kg/cm<sup>2</sup>) und Flanschverbindung (lose Flanschen mit Rundgummidichtung) zur Verwendung. Weiters entnehmen wir der Zusammenstellung, daß die Druckrohrleitung des in den Jahren 1929/35 errichteten Hochdruckkraftwerkes Dixence-Chandoline<sup>45)</sup> (das sich ebenfalls in den Walliser Alpen befindet) bis dato an der Spitze der Welttrangliste stand. Die statische Druckhöhe von der Düse bis hinauf zum Stauziel des Speichers — der Sperrkörper wird durch eine Pfeilerkopfmauer gebildet — beträgt hier 1748,00 m und die schiefe Länge der beiden Rohrstränge ist je

## Zusammenstellung 7

### Druckrohrleitungen mit großen Innendrüken:

- 1882: Fabrikskraftwerk Saint-Mury (Schweiz), H<sub>s</sub> = 500 m, D<sub>i</sub> = 500 mm, max. s = 21 mm, genietet; Ausführung E. B. V., Établissements Bouchayer et Viallet, Grenoble.
- 1914: Kraftwerk Fully (Walliser Alpen) der Socié d'Electro-Chimie de Martigny, H<sub>s</sub> = 1650,70 m, D<sub>i</sub> = 600/500 mm, oberer Teil der Leitung wassergeschweißte Längsnähte mit s = 6/34 mm,  $\sigma_{zul}$  = 900 kg/cm<sup>2</sup>; unterer Teil nahtlos gewalzte Rohre, System Erhard, s = 31/41 mm,  $\sigma_{zul}$  = 1000 kg/cm<sup>2</sup>; Stoßverbindung mit losen Flanschen und Rundgummidichtung. Ausführung Thysen & Co, Mülheim/Ruhr, Montage Fa. Boucher.
- 1934: Kraftwerk Dixence-Chandoline der S. A. La Dixence (Walliser Alpen), H<sub>s</sub> = 1748,00 m, zwei Stränge mit D<sub>i</sub> = 1420/985 mm, oberer Teil der Leitung glatte Rohre mit s = 10/33 mm; unterer Teil mit bandagierten Rohren; warm aufgeschumpfte Ringe, Seelenrohre s = 14/40 mm, Dicke der Ringe 28 bis 68 mm, Ausführung: Società Italiana TUBITOGNI, Brescia.
- 1942: Portillon (Hautes Pyrénées), H<sub>s</sub> = 1413 m, D<sub>i</sub> = 1040 mm, Ausführung E. B. V., Établissements Bouchayer et Viallet, Grenoble.
- 1951: Miéville (Salanfe, Wallis), H<sub>s</sub> = 1474 m, D<sub>i</sub> = 1100 mm, Ausführung: Gebrüder Sulzer AG, Winterthur.
- 1955: Speicherstufe Reifheck, H<sub>s</sub> = 1778,80 m, D<sub>i</sub> = 1350/950 mm. Ausführung Waagner-Biró AG in Wien-Graz, Soc. TERNI in Terni, A. T. B., già TUBITOGNI in Brescia, VOEST in Linz und Gebrüder Sulzer AG in Winterthur.

Bild 56: Röntgenprüfung der Montage-Rundnähte einer freien Druckrohrleitung. Druckrohrleitung III und IV der Hauptstufe Glockner-Kaprun



5476,30 m; das Gewicht dieser Leitung beträgt 14 800 t. Im oberen, 1591,80 m langen Teil der Leitung kamen glatte Rohre mit Wanddicken bis 33 mm und wassergasgeschweißten Längsnähten zur Verlegung, und im unteren, 3884,50 m langen Teil wurden — da die glatten Rohre bei den damals verfügbaren Baustählen zu übergroßen Wanddicken geführt hätten — bandagierte Rohre ähnlich wie bei der Druckrohrleitung des Vermuntwerkes (Bild 24) gewählt. Wie bei der letzteren wurden die Seelenrohre mit ihren wassergasgeschweißten Längsnähten durch nahtlos gewalzte, warm aufgeschumpfte Ringe aus hochfestem Stahl verstärkt; es ergaben sich für die Seelenrohre Wanddicken bis 40 mm. Diese Rekordleitung wurde von TUBITOGNI in Brescia gebaut; Bild 94 zeigt das Krafthaus, Bild 95 die bandagierte Leitung und Bild 96 die Verteilrohrleitung mit den aus Stahlguß bestehenden Abzweigstücken.

Die statische Druckhöhe der Leitung Dixence-Chandoline wird ein wenig überboten durch die statische Druckhöhe, die der Bemessung der Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifheck der Österreichischen Draukraftwerke AG zugrundeliegt. Die Achse des Rohrstranges vor der Verteilrohrleitung liegt hier auf Kote 605,20 und das seinerzeit vorgesehen gewesene Stauziel des Speichers „Kleiner Mühlendorfersee“ lag auf Kote 2377,80, so daß sich eine statische Druckhöhe von 1772,60 m ergab; dieser Wert steigt nunmehr auf 1778,80 m, da die Druckrohrleitung für das neue, erhöhte Stauziel 2384,00 m bemessen werden mußte. Die Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifheck ist derzeit die Leitung mit dem größten Innendruck. Der Innendurchmesser des Rohrstranges beträgt in diesem Bereich  $D_i = 950$  mm. Die Leitung speist drei von der „Charmilles Maschinenbau AG“ in Genf gebaute eindüsige Freistrahlturbinen von je 31 000 PS, die (ebenso wie auch die Maschinensätze der Laufwerkstufe Reifheck und der Stufe Kreuzeck) im Krafthaus Kolbnitz untergebracht sind. Vor den Turbinen ist außer dem Kugelschieber noch je ein von Charmilles gebauter Glockenschieber angeordnet. Bei einem Versagen der Steuerkreise für den Strahlablenker und die Düsenadel der Tur-

Bild 57: Druckrohrleitung des Salzkraftwerkes der STEWEAG. VOEST-Linz



Bild 58: Rohrbrücke der Druckrohrleitung des Salzkraftwerkes. VOEST-Linz

bine schließt dieser Glockenschieber in der Strömung des Betriebswassers nach einem Gesetz, das in der Leitung zu dynamischen Drucksteigerungen von bloß 10% führt — das ist nicht mehr als die dynamische Drucksteigerung, die beim Kurzschluß einer der drei Turbinen mit der Düsenadel auftritt.

Die Speicherstufe Reifheck ist für Pumpbetrieb eingerichtet, wobei das der Laufwerkstufe zufließende Wasser hochgepumpt wird — und zwar vorerst in den Speicher „Großer Mühlendorfersee“ mit dem Stauziel 2319,00 m. Die Pumpstation mit den drei achtstufigen Sulzerpumpen liegt rund 500 m höher als das Krafthaus Kolbnitz (eine ähnliche Anordnung finden wir auch bei der Anlage Cap de Long — Pragnères, deren Druckrohrleitung und Pumpstation in Bild 102 gezeigt wird). Da die Pumpen für eine Fließhöhe von je  $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$  ausgelegt sind, beträgt die Fördermenge maximal  $3 \cdot 0,45 = 1,35 \text{ m}^3/\text{s}$  und ist klein im Vergleich zur Fließhöhe des Turbinenwassers ( $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Fallen die Pumpen plötzlich vom Netz (Stromausfall der Antriebsmotoren), so gibt es loco Pumpstation eine dynamische Drucksteigerung von nur 10%; der Bemessung ist sicherheitshalber eine solche von 12% zugrundegelegt worden. Außer den Betriebslastfällen mußten auch die Ausnahmefälle untersucht werden, deren Auftreten durch besondere Sicherungseinrichtungen (elektrische Schaltungen mit Ruhe- und Arbeitsstrom) verhindert wird und daher nur in den ganz unwahrscheinlichen Fällen eines Versagens dieser Sicherungseinrichtungen denkbar ist; es ist daher gerechtfertigt, die zulässige Spannung zu erhöhen. Wenn man dies berücksichtigt, erweisen sich bei der Bemessung der Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifheck solche Ausnahmefälle — wie etwa das Anfahren einer Speicherpumpe bei geschlossener oberer Drosselklappe (eine solche Verschlusseinrichtung ist am oberen Ende der Druckrohrleitung in der Apparatenummer beim Wasserschloß als Rohrbruchklappe mit Fallgewicht und Stauscheibe angeordnet) oder das Schließen dieser Drosselklappe im Pumpbetrieb — als nicht maßgebend. Schließlich ist die Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifheck auch für regelrechte Katastrophenfälle, wie sie sich beim Bruch von Teilen der Verschlusorgane (etwa beim Bruch der Düsenadel

Bild 59: Längenschnitt der Werksgruppe Reifjeck-Kreuz-  
eck der ODK.

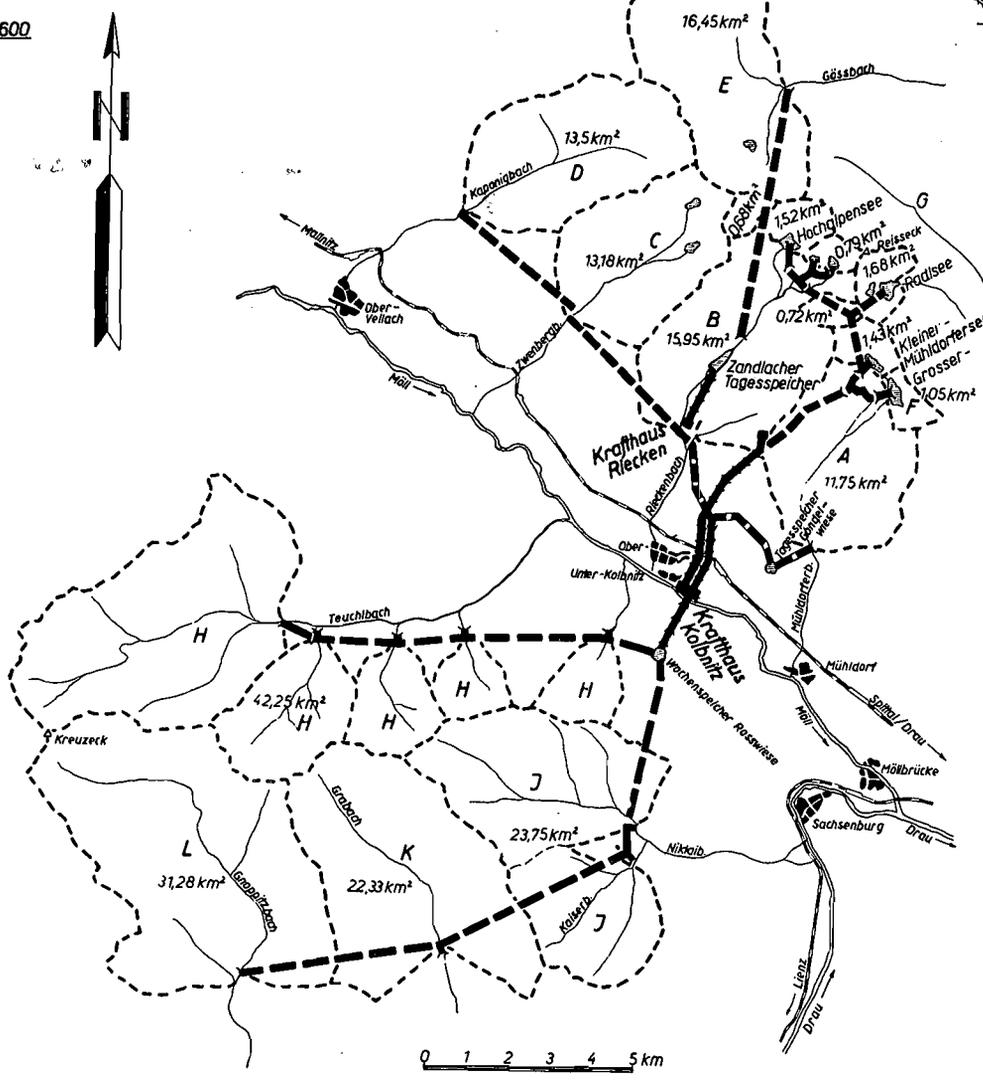
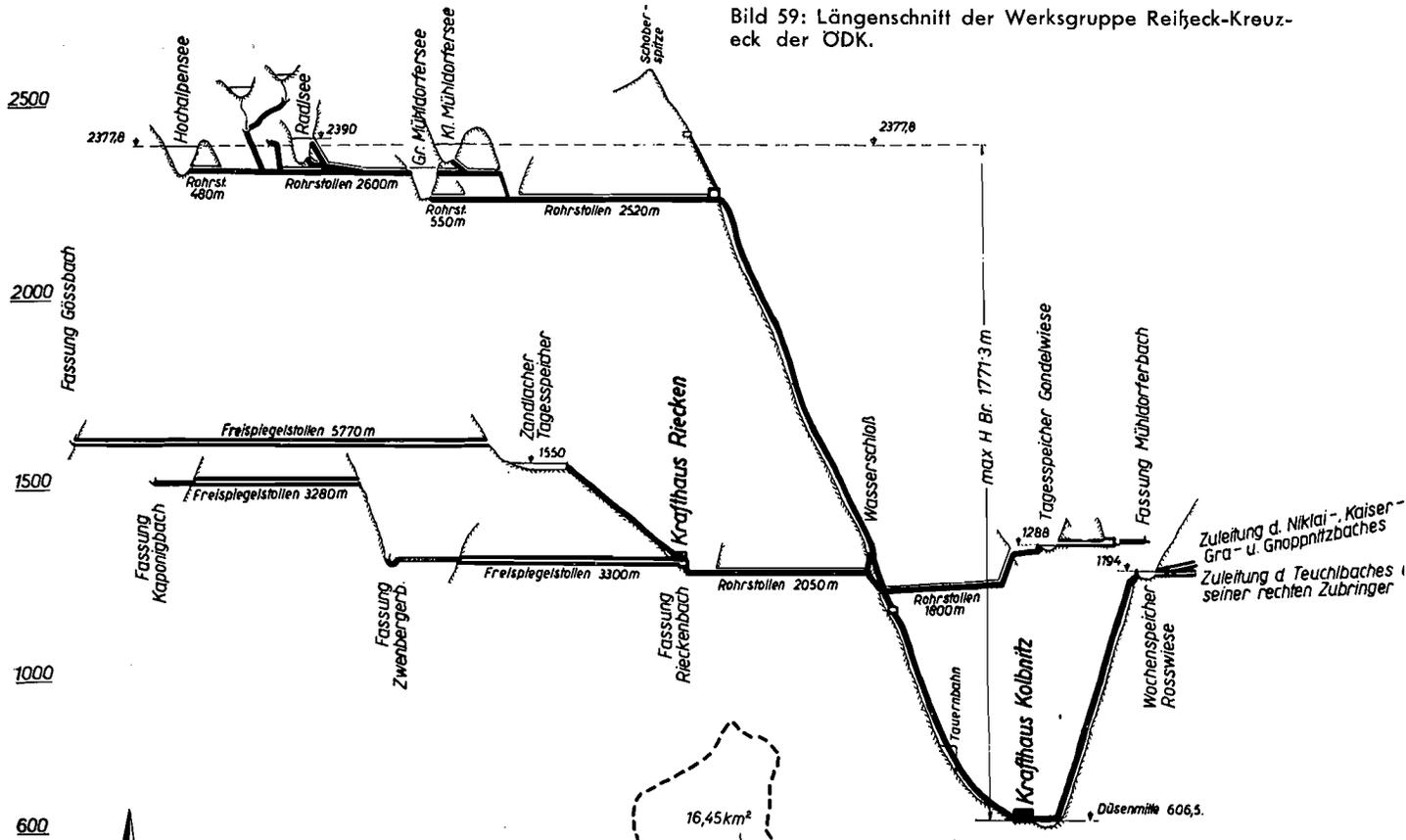


Bild 60: Lageplan der  
Werksgruppe Reifjeck-  
Kreuzeck der ODK.



Turbinenrohrleitung für das Kraftwerk Rauris-Kitzloch. Durchmesser 1800/1500 mm, Länge der Rohrleitung 750 m, Gefälle 250 m. Gesamte Rohrleitung elektrisch geschweißt

## Zusammenstellung 8

### Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifheck der ÖDK, Aufteilung in Baulose:

1. Waagner-Biró AG, Wien-Graz: glatte, geschweißte Rohre aus ALDUR 47,  $D_i = 1350/1150$  mm,  $s = 9/32$  mm. Aufgeschweißte Auflagerringe in 16 m Abstand, auf Gleitplatten aufliegend.
2. TERNI, Società per l'Industria e l'Elettricità, TERNI: bandagierte Rohre, autofrettiert nach Patent Ferand. Seelenrohre aus ALDUR 47,  $D_i = 1150/1050$  mm,  $s = 11/16$  mm, Ringe aus Chrom-Molybdänstahl FCF 2—3 (St 100/115, Mindestbruchdehnung 14%), Breite 70 mm, Dicke 25/34 mm, Achsabstand 140 mm. Krümmer polygonal und gleichfalls bandagiert, einbetoniert mit Haube.
3. A. T. B., Acciaieria e Tubificio di Brescia, già TUBITOGNI, Brescia: bandagierte Rohre, warm aufgezoogene Ringe. Seelenrohre aus ALDUR 47,  $D_i = 1050/950$  mm,  $s = 17/20,5$  mm, Ringe aus Chrom-Molybdänstahl (Mindestbruchdehnung 13%), Breite 80 mm, Dicke 34/41 mm, Achsabstand 162 mm, Dehn-Stopfbüchsen und Mannlochstücke auch aus ALDUR 47, unbandagiert, max.  $s = 83$  mm, Stahlgußkrümmer seit 1951 vorhanden, einbetoniert mit Haube.
4. VOEST, Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG, Linz: Glatte, geschweißte Rohre aus ALDUR 58,  $D_i = 950$  mm,  $s = 46/49$  mm, eingeschüttete Flachstrecke.
5. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur: Glatte, geschweißte Rohre aus ALDUR 58,  $D_i = 950$  mm,  $s = 47/51$  mm, eingeschüttete Flachstrecke in Krafthausnähe.

#### Verteilrohrleitung:

Fliegende Anordnung (also am letzten Festpunktblock hängend), glatte Rohre. Abzweigstücke mit lose aufgepaßtem Kragen, Patent Sulzer, Werkstoff ALDUR 58, Ausführung Gebrüder Sulzer AG, Winterthur.

Bild 61: s. Titelfbild

Bild 62: Druckrohrleitung der Laufwerkstufe Reifheck, VOEST-Linz

einer Turbine oder beim Bruch der Ventilstange oder des Öldruckzylinders eines Glockenschiebers) ergeben können, nachgerechnet worden; die Ringspannungen bleiben auch hier noch unterhalb der Proportionalitätsgrenze des Blechwerkstoffes, so daß ein Zurückfedern der Formänderung gewährleistet ist.

Die Trasse der Speicherstufenleitung führt in ihrem unteren Teil neben der Trasse der schon geschilderten, im Jahre 1950 gebauten Laufwerkleitung Reifheck, so daß acht Festpunktblöcke bei den Strängen dienen. Um diese Festpunktblöcke mit ihren Verankerungen und Hauben fertigstellen zu können, mußten die Krümmer der Speicherstufenleitung mit den anschließenden geraden Rohrstücken schon im Frühjahr 1951 montiert werden. Die Herstellung dieser kurzen Stücke der Speicherstufenleitung (Bild 97) wurde TUBITOGNI in Brescia übertragen. Der Stahlguß der Krümmer ist der A 45 nach der italienischen Norm UNI 671 und entspricht etwa dem Stahlguß 45.5 nach DIN 1681. Die Seelenrohre der angeschlossenen bandagierten Rohrstücke bestehen aus ALDUR 44 und haben Wanddicken bis 33 mm. Die nahtlos gewalzten, warm aufgezoogenen Ringe besitzen eine größte Breite von 107 mm, eine größte Dicke von 70 mm und einen kleinsten Lichtabstand von 90 mm; sie bestehen aus dem Stahl Aq 60 der italienischen Norm UNI 743, der etwa dem unlegierten Maschinenbaustahl St 60 nach DIN 1611 entspricht. (Für solche Vergleiche steht uns das Ringbuch „Stahlvergleich der gängigen Sorten der Montanunion-Länder“ zur Verfügung, das vom COLIME, Comité de Liaison des Industries Métalliques Européennes, herausgegeben worden ist.) Die Seelenrohre wurden nach dem elektrischen Schweißen der Längsnähte in der 7000 t-Rohrpresse des Lieferwerkes erstmals abgepreßt, und dann nach dem Aufziehen der Ringe neuerlich (diesmal mit dem 1,5-fachen größten Betriebsdruck) der Wasserdruckprobe unterworfen. Die Stahlgußkrümmer sind als Behälter





Bild 63: Druckrohrleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun der TKW. Links die beiden Stränge I + II; rechts die beiden Stränge III + IV im Bau. Im Vordergrund das Krafthaus, dahinter der eingedeckte untere Teil der Druckrohrleitungen I + II und III + IV

mit dem 1,5-fachen größten Betriebsdruck abgedrückt worden.

Die Hangstrecke der Speicherstufenleitung wurde auf Grund einer internationalen Ausschreibung an die drei Firmen Waagner-Biró AG, TERNI und TUBITOGNI vergeben (vgl. die Zusammenstellung 8). TERNI wählte bandagierte Rohre, schrumpft aber die Ringe nicht warm auf, sondern schiebt sie lose über das Seelenrohr und setzt nun dieses Seelenrohr in der 7000 t-Abdrückvorrichtung (Bild 46) einem so großen Innendruck aus, daß es sich plastisch aufweitet und von innen her an die Ringe anpreßt, ohne beim Nachlassen des Druckes restlos zurückzufedern; man bezeichnet diesen Herstellungsvorgang als „Autofrettage“ und kann sich hierbei ein sauberes Abdrehen der Ringe auf den Innenseiten ersparen. Das Ausmaß der Kaltverformung ist, wenn die Ringe gut passen, so gering, daß nennenswerte Alterungserscheinungen nicht zu befürchten sind (Reckgrad unter 1%); die Ringe bestehen aus einem Vergütungsstahl St 115, wobei jedoch bei der Bemessung der Rohre nicht die relativ hohe Streckgrenze dieses Werkstoffes, sondern grundsätzlich nicht mehr als 70% der Zugfestigkeit in die Rechnung eingeführt werden darf, um das übliche Streckgrenzenverhältnis von 0,70 zu wahren. Das Verfahren zur Herstellung solcher autofrettierter Reifenrohre ist 1932 von der S. D. E. M., Grenoble, entwickelt und 1934 beim Bau der schweren Druckrohrleitung des Kraftwerkes La Bissorte<sup>48)</sup> angewandt worden. TUBI-

TOGNI wählte im Anschluß an die von ihr schon in den acht Festpunktblöcken verlegten Rohrstücke ebenfalls bandagierte Rohre, zieht die Ringe jedoch hintereinander warm auf; die Ringe werden auf den Innenflächen so abgedreht, daß sie im Mittelteil der Ringbreite etwas ausgenommen sind und sich daher nur mit den Randteilen anpressen; es gibt dies im Seelenrohr bei der Innendruckbelastung kleinere Zusatzspannungen. Die Ringe bestehen aus einem vergüteten Chrom-Molybdän-Stahl der Festigkeitsstufe St 100/115; die Aufschumpftemperatur bleibt mit 300° C noch unterhalb der Vergütungstemperatur dieses Stahles. Der Blechwerkstoff für die Seelenrohre ist sowohl beim Baulos TERNI als auch beim Baulos TUBITOGNI der ALDUR 47. Bei den Stopfbüchsen-Dehnstücken und bei den Mannlochstützen lassen sich die Bandagenringe nicht im erforderlichen Schrittmaß anordnen, so daß man gezwungen ist, hier sehr große Wanddicken zu wählen. Trotz Verwendung des hochfesten Baustahles ALDUR 47 ergaben sich so im Baulos TUBITOGNI bei den Scheidenrohren der Stopfbüchsen und bei den Mannlochstützen Wandstärken bis 83 mm. Die Leitung liegt auf Gleitlagern mit Rohrsockeln, so daß die Spannungen zufolge der „Trägerwirkung“ der schweren Rohre gering bleiben und die relativ dünnwandigen Seelenrohre dieser Trägerwirkung gewachsen sind.

Im Talgrund wird die Speicherstufenleitung — ähnlich, wie dies auch mit der Laufwerksleitung

geschehen ist — eingeschüttet. Die Herstellung dieser Flachstrecke der Leitung, die den größten Innendruck erhält, wurde der VOEST übertragen. Ein kleines, nahe dem Krafthaus gelegenes Reststück dieser Flachstrecke und die gesamte Verteilrohrleitung wird von der Gebrüder Sulzer AG hergestellt; die Verteilrohrleitung wird in „fliegender“ Anordnung (mit dem Hauptrohr am letzten Festpunktblock hängend und daher zusätzlich auf axialen Längszug beansprucht) gebaut. Die Flachstrecke und die Verteilrohrleitung haben glatte Rohre aus ALDUR 58 und gestatten, wie schon begründet worden ist, die Bezeichnung „Druckrohrleitung mit dem größten Innendruck der Welt“.

## 8.

Bandagierte Druckrohrleitungen sind seinerzeit von der AG Ferrum in Kattowitz und später auch von TUBITOGNI und von den Mannesmannröhren-Werken Huckingen zur Anwendung gebracht worden, wenn sich bei glatten Rohren aus den damals verfügbaren Baustählen allzu große Wanddicken ergaben. Heute ist dieser konstruktive Zwang nicht mehr vorhanden, da wir über sehr leistungsfähige Druckrohrleitungsstähle verfügen. Man kann den Bandagenrohren vorwerfen, daß im Seelenrohr (das sich unter der Innendruckbelastung mit Längswellen in die Ringe preßt) ein recht inhomogenes Spannungsfeld entsteht,<sup>47)</sup> daß die Röntgenprüfung der Längsnaht (wenn man sie nicht vor dem Aufziehen der Ringe durchführt) durch die Ringe behindert wird und daß man bei den Konusrohren, den Mannlochstützen, den Stopfbüchsen und den Abzweigstücken streckenweise auf die Bandagierung verzichten und auf eine sehr dickwandige (gegebenenfalls aus Stahlguß bestehende) Konstruktion übergehen muß. Die österreichische Wasserrechtsbehörde stellt alle diese Bedenken mit Rücksicht auf die guten Erfahrungen,

die man mit einer Unzahl von bandagierten Druckrohrleitungen — vor allem in Frankreich und Italien — gemacht hat, zurück und überläßt es dem Bauherrn, allfällige wirtschaftliche Vorteile dieser Bauweise auszunützen. Man hat daher auch in Österreich (im Jahre 1949 im Zusammenhang mit der Projektierung der Speicherstufenleitung Reifjock) das Problem der bandagierten Leitung studiert und die Waagner-Biró AG hat an der TH Graz einen einschlägigen Bruchversuch durchführen lassen.<sup>48)</sup> Die Ringe des Versuchsrohres waren nicht geschmiedet oder gewalzt, sondern aus einem schweißbaren Stahl mit Hilfe einer Tulpenstumpfnahnt zusammenschweißt und dann spannungsfrei geglüht und innen ausgedreht worden; es war nicht möglich, das Versuchsrohr zum Bersten zu bringen, trotzdem der Innendruck bis auf 272 atü gesteigert worden war. Wenn wir die Zukunftsaussichten der bandagierten Druckrohre im österreichischen Druckrohrleitungsbau beurteilen sollen, so dürfen wir nicht übersehen, daß seit den guten Erfahrungen, die mit den freitragenden Balken-Rohrbrücken in Österreich gesammelt worden sind, die Tendenz besteht, freie Druckrohrleitungen nach Art von solchen Rohrbrücken zu bauen. Dieser Wunsch ist den bautechnischen und betrieblichen Erfahrungen mit den Gleitsätteln und Rohrsockeln entsprungen; es ist nicht bloß die latente Rostgefahr, sondern es sind auch die Schwierigkeiten beim Justieren der Sättel, wenn man dieses Einrichten der Lager mit dem leeren, der Lufttemperaturschwankung und der Sonneneinstrahlung ausgesetzten Rohr durchführt, und es sind Erwägungen des tiefbaulichen Terminprogrammes. Wir streben also Rohrstränge an, die zwischen den Festpunktblöcken einen Durchlaufträger mit Feldweiten von größenordnungsmäßig 20 m bilden, die über ihren Auflagern aufgeschweißte Versteifungsringe tragen und deren Lager den Rollenlagern der Stahlbrücken gleichen.



Bild 64: Druckrohrleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun der TKW, mittlerer Teil der Stränge III + IV (Festpunktblock, Mannlochverschlüsse, Stopfbüchsen-Dehnstücke). VOEST-Linz



Bild 65: Montage der Stränge III + IV der Druckrohrleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun; Reiterkran. VOEST-Linz. Im Talgrund rechts die Freiluftschaltanlage, im Talgrund links der Ort Kaprun

Das Einrichten dieser Lager soll bei gefülltem Rohr, mit Hilfe hydraulischer Pressen erfolgen, und die Festpunktblöcke dürfen ohne Betonhaube ausgeführt werden, weil die einbetonierten Rohre aus hochfesten Stählen schon so große zulässige Umfangszugspannungen (und daher so große elastische Umfangsdehnungen) haben, daß sich Rissebildungen im umhüllenden Beton kaum vermeiden

Bild 66: Montage der Festpunkt-Krümmen der Stränge III + IV der Druckrohrleitung der Hauptstufe Glockner-Kaprun. Krümmer mit angeschweißten Schubringen und Flanschen



lassen. Die ersten Ansätze im Sinne der geschil-  
derten Bestrebungen sind schon beim Taldücker  
Kleinvermunt (Bild 8, 69, 110) zu erkennen, wo die  
aufgeschweißten Auflagerringe in rund 12 m Ab-  
stand liegen und auf Gleitplatten ruhen, und wir  
finden sie später auch im obersten Teil der Druck-  
rohrleitung der Speicherstufe Reifheck (Schober-  
boden-Trog), wo die aufgeschweißten Auflager-  
ringe in rund 16 m Abstand angeordnet sind und  
gleichfalls auf Gleitplatten liegen. Beide Leitungen  
sind von der Waagner-Biró AG hergestellt  
worden. Eine Druckrohrleitung mit 20 m Abstand  
der aufgeschweißten Auflagerringe, mit Rollen-  
lagern und mit Festpunktblöcken ohne Betonhaube  
ist derzeit im Bau; es ist dies die von der VOEST  
hergestellte freie Druckrohrleitung Gollm des Lüner-  
seewerkes. Die Trägerwirkung des schweren, gefüll-  
ten Rohres ist bei Feldweiten von 20 m schon eine  
ausgeprägte und es gibt daher hier Zugspannungen  
in der Längsrichtung des Rohres, die quer zur  
Rundnaht verlaufen, und es gibt Druckspannungen  
in dieser Längsrichtung, die zusammen mit der  
großen Umfangszugspannung des Rohres den Ver-  
gleichsspannungswert der Werkstoffanstrengung  
heben. Das bandagierte Rohr würde hier im Nach-  
teil sein, weil das Seelenrohr vergleichsweise dünn-  
wandig ist (TUBITOGNI pflegt die Dicke des See-  
lenrohres und die Austeilung der Ringe so zu wäh-  
len, daß die Umfangszugkraft rein flächenmäßig  
je zur Hälfte auf das Seelenrohr und die Bandagen  
aufgeteilt wird) und daher kleinerer Stütz-  
weiten — wie sie beim Vermuntkraftwerk und bei  
der Speicherstufe Reifheck durch die Rohrsockel ge-  
geben sind — bedarf. Letztlich werden aber auch  
hier rein wirtschaftliche Überlegungen den Aus-  
schlag geben.

Im Zusammenhang mit dieser Frage sei auch  
erwähnt, daß die derzeit schwerste Druckrohr-  
leitung der Welt (vgl. die Zusammenstellung 10),  
die freie Druckrohrleitung des Kraftwerkes  
Cimego, eine bandagierte Leitung ist. Dieses  
Kraftwerk (L'Impianto idroelettrico di Cimego,  
Società Elettrica Bresciana, Gruppo Edison) liegt  
nordwestlich des Gardasees, im Tal des Flusses  
Chiese, und wurde als „Centrale caposaldo“ sehr  
leistungsfähig ausgelegt. Es hat eine Laufwerk-  
und eine Speicherstufe, die letztere mit dem Speicher  
Malga Boazzo im oberen Chiesetal (mit einer  
Pfeilerkopfmauer vom „Typ Marcello“, der sich als  
Betongewichtsmauertyp seit 1938 bewährt hat) und  
dem Stauziel auf Kote 1224,50 m. Der Düsenhori-  
zont liegt auf Kote 488,73 und die Achse des tief-  
sten Rohres mit  $D_i = 2850$  mm (des einbetonierten  
Krümmers vor der Verteilrohrleitung) hat die Kote  
489,40. Die Druckrohrleitung speist zwei Maschinensätze  
mit je zwei Peltonrädern. Diese Turbinen  
werden als die größten der Welt bezeichnet<sup>49)</sup> und  
die Leistung der beiden Maschinensätze beträgt  
214 MVA. Das Werk ist derzeit im Bau und die  
Druckrohrleitung wird von der A. T. B., già TUBI-  
TOGNI, Brescia, hergestellt. Die statische Druck-  
höhe beträgt  $H_s = 1224,50 - 489,40 = 735,10$  m  
und die Innendurchmesser nehmen von  $D_i = 3300$   
bis auf  $D_i = 2850$  mm ab. Die Seelenrohre  
bestehen aus SM-Stahl St 48 mit einer Mindeststreck-  
grenze von  $30 \text{ kg/mm}^2$  und die Ringe bestehen aus  
dem schon erwähnten vergüteten Chrom-Molyb-  
dän-Stahl St 100/115. Die größte Wanddicke des  
Seelenrohres im unteren Krümmer vor der  
Verteilrohrleitung (also vor der Reduktion des  
Wertes  $D_i = 2850$  mm) beträgt 58 mm; wenn man

den Längsschnitt des bandagierten Rohres flächenmäßig in den Längsschnitt eines glatten Rohres umrechnen würde, würde sich eine Wanddicke von 101 mm ergeben. Bei glatten Rohren aus ALDUR 58 hätte sich eine Wanddicke von schätzungsweise  $101.30/38 = 80$  mm (die gewährleistete Mindeststreckgrenze des ALDUR 58 liegt bei Blechdicken über 50 mm bei  $38 \text{ kg/mm}^2$ ) als notwendig erwiesen und man hätte diesen hochfesten Stahl mit diesen großen Dicken auf der Baustelle verschweißen müssen. Die Druckrohrleitung hat eine schiefe Länge von 1278 m, weist 9 Festpunktblöcke auf, hat Stopfbüchsendehnstücke und ist aus 6 m langen Rohren zusammengebaut. Die Rohre liegen auf Gleitsätteln mit Betonsockel in 6 m Abstand. Zur Bemessung der Rohre sei erwähnt, daß bei den Ringen das Streckgrenzenverhältnis 0,70 gewahrt wird, indem für den vergüteten St 115 nur eine Streckgrenze von  $80 \text{ kg/mm}^2$  in die Rechnung eingeführt wird. Die zulässige Umfangszugspannung des Seelenrohres wurde im ungünstigsten Betriebslastfall (Bemessungsdruckhöhe rund 820 m) mit 40% der Mindeststreckgrenze, also mit  $1200 \text{ kg/cm}^2$  gewählt. Rechnet man das gedachte glatte Rohr mit diesem Wert nach und berücksichtigt man die nicht-lineare Spannungsverteilung in üblicher Weise dadurch, daß man anstelle des Innenradius den Außenradius in die Kesselformel einführt, so erhält man  $s = 820 \cdot 1,483/12000 = 0,101 \text{ m} = 101 \text{ mm}$  in Übereinstimmung mit dem von TUBITOGNI angegebenen Wert. Die rechnermäßigen Sicherheitsreserven sind hier größer gewählt worden, als dies nach den österreichischen Vorschriften (diese lassen für die Vergleichsspannung, die sich bei Beachtung der Nebenwirkungen ergibt, 54,5% der Mindeststreckgrenze zu) der Fall ist.

Das erwähnte, im Baulos TERNI der Speicherstufenleitung Reifheck zur Anwendung kommende Autofrettieren der bandagierten Rohre fällt in den Rahmen der von Herrn G. Ferrand (des Präsidenten der S. D. E. M., Société Dauphinoise d'Études et de Montages, Grenoble) entwickelten Herstellungsverfahren von Druckrohrleitungen<sup>60</sup>), wie sie in der Zusammenstellung 9 kurz skizziert sind. Das Autofrettieren, bei dem man Festigkeitssteigerungen durch die Kaltverformung mit der anschließenden natürlichen Alterung weder beabsichtigt noch erzielt, ist — wie wir schon vermerkten — erstmals beim französischen Kraftwerk „La Bissorte“<sup>40</sup>) durch die S. D. E. M. zur Anwendung gekommen; es wurde in den letzten Jahren auch bei Druckrohren angewandt, die nicht durch biegesteife Ringe, sondern durch eine Umwicklung mit Stahldrahtkabel verstärkt sind, die durch das plastische Einpressen des Seelenrohres unter Spannung gelangen. Solche Rohre kamen beispielsweise bei der Wiederherstellung von „La Bissorte“ nach dem zweiten Weltkrieg (mit  $H_s = 1146 \text{ m}$  und  $D_i = 1400/1300 \text{ mm}$ ), bei Vénéon ( $H_s = 499 \text{ m}$ ,  $D_i = 2000 \text{ mm}$ ) und bei Malgovert ( $H_s = 750 \text{ m}$ ,  $D_i = 2200/2100 \text{ mm}$ ) zum Einbau.

### Zusammenstellung 9

**Herstellungsverfahren nach G. Ferrand, Präsident der S. D. E. M. (Société Dauphinoise d'Études et de Montages, Grenoble):**

1. Tuyaux autofrettés (Tubi autofrettati): Das Seelenrohr wird geringfügig plastisch aufgeweitet, um es von innen an die aufgeschobenen Ringe anzupres-

sen. Anwendung z. B. 1932 bei La Bissorte, 1939 bei Portillon, 1940 bei Vénéon, 1946 bei Pouget und Aussois, 1948 bei Malgovert, 1949 bei San Antonio, 1950 bei Pragnères; im weiteren auch bei Aura, Mucone I, Plima Lasa, Avise und bei der Speicherstufe Reifheck.

Ersatz der Ringe durch eine Umwicklung mit Stahldrahtkabeln. Anwendung z. B. 1940 bei Vénéon und 1948 bei Malgovert (Haute Isère).

2. Tuyaux surpressés (Tubi surpressati): Glatte Rohre werden um 2 bis 5% plastisch aufgeweitet, um durch diese Kaltverformung bei der nachfolgenden natürlichen oder künstlichen Alterung eine Festigkeitssteigerung (auf Kosten der Bruchdehnung) zu erzielen. Anwendung z. B. bei Lana d'Adige der Soc. Trentina di Elettricità. (Theorie: R. Mufang, Zeitschr. angew. Math. u. Mech. 1948).
3. Tuyaux surpressés-autofrettés (Tubi surpressati-autofrettati): Das Seelenrohr wird um 2 bis 5% plastisch aufgeweitet und hierbei an die lose aufgeschobenen Ringe von innen angepreßt.
4. Tuyaux autofrettés-surpressés (Tubi autofrettati-surpressati): Das autofrettierte Bandagenrohr wird als Ganzes plastisch aufgeweitet, so daß auch die Ringe (diese etwa 2%) kaltverformt werden und nach der natürlichen oder künstlichen Alterung eine Festigkeitssteigerung erzielen. Anwendung z. B. bei Cestrède-Pragnères (Haute Pyrénées).
5. Verteilstücke mit Stahlgußkugeln, die den Innendruck aufnehmen und die strömungstechnisch erforderlichen Leitrohre (perforiert und mit kleiner Wanddicke) enthalten. Anwendung z. B. bei Malgovert, Aussois, San Antonio, Avise.

Bei den drei anderen in der Zusammenstellung 9 angeführten Herstellungsmethoden wird das plastische Aufweiten des Seelenrohres in der Rohrpresse so weit getrieben, daß sich im Zuge der Alterung (der natürlichen oder einer künstlichen Alterung) eine Festigkeitssteigerung bemerkbar macht. Damit diese plastische Aufweitung überall gleich groß ist, kommt um das Seelenrohr eine Art Käfig, der mit seinem vorgegebenen Innendurchmesser den Fließvorgang des aufgeweiteten Seelenrohres begrenzt; dieses Aufweiten — bei den glatten Rohren beträgt der Innendruck das 2,0- bis 2,5-fache des späteren Betriebsdruckes — stellt zugleich eine sehr strenge Wasserdruckprobe für die Längsnähte des Seelenrohres dar. Bei der Verfestigung durch Kaltverformung mit nachträglicher Alterung (vgl. dazu den Titel der ersten unter Fußnote 31 genannten Abhandlungen von G. Ferrand) handelt es sich um den gleichen Grundgedanken, der auch der Herstellung der österreichischen Sonderbetonstähle (dem kaltgereckten ISTEK-stahl und dem kaltverwundenen TOR-stahl) zugrundeliegt. Auch hier wird die Zugfestigkeit und die Streckgrenze auf Kosten der Bruchdehnung gehoben — wird also die ungefähr rechteckig aussehende Fläche des Spannungsdehnungsdiagrammes „hochkant“ gestellt; einen ähnlichen Effekt könnte man auch durch einen höheren Kohlenstoffgehalt oder durch ein Abschrecken aus der Walzhitze erzielen. Die „Tuyaux surpressés“ werden in Frankreich seit 1937 verwendet. Die Herstellungsverfahren System Ferrand werden dort von den E. B. V., Établissements Bouchayer et Viallet, Grenoble, und in Italien von der COFOR, Società Condotta Forzate, Milano, und von TERNI, Società per l'Industria e l'Elettricità, Terni, verwendet. Bild 98 zeigt autofrettierte Reifenrohre für das Kraftwerk Mucone, Primo Salto, der Soc. Meridionale di Elettricità in

Neapel; die statische Druckhöhe ist hier  $H_s = 1142,25 - 501,25 = 641,00$  m und die schiefe Länge beträgt rund 900 m. Die Leitung wurde mit  $D_i = 2500/2000$  mm in einem Schrägstollen (Rohrstollenleitung, ähnlich wie bei Stubach I, Stubach III und Braz) verlegt, ohne Einschaltung von Dehnstopfbüchsen.<sup>61)</sup> Die „Tuyaux surpressés-autofretés“ und die „Tuyaux autofretés-surpressés“ kamen erstmals bei der Druckrohrleitung Cestrède-Pragnères ( $H_s = 922,70$  m) zur Verwendung. Es ist dies die Leitung am linken Ufer des Gave de Pau, zugehörig zum Großkraftwerk Pragnères (Hautes-Pyrénées) der Electricité de France. Am rechten Ufer führt eine noch größere Druckrohrleitung (die Leitung Cap de Long-Pragnères mit  $H_s = 1252,70$  m, vgl. Bild 102) zum Krafthaus Pragnères.<sup>62)</sup> Beide Leitungen wurden, was hier vermerkt sei, ohne Stopfbüchsendehnstücke gebaut, obwohl sie nicht unter Tag liegen; die Längskräfte zufolge der verhinderten Poisson-Schrumpfung (das Rohr erfährt bei der Innendruckbelastung als Folge der elastischen Umfangsdehnung eine Längskürzung gleich 30% der Umfangsdehnung, so daß es im Betrieb nicht nur im Durchmesser, sondern auch längs der Achse „atmet“), zufolge der verhinderten Temperaturdehnung und zufolge der verhinderten Sehnenverkürzung bei der elastischen Durchbiegung zufolge der „Träger-

wirkung“ müssen hier somit von den Festpunktblöcken mit ihren Stahlverankerungen aufgenommen werden. Es sind Längszugspannungen im Rohrstrang, die zu den vom Innendruck erzeugten Umfangszugspannungen hinzutreten, jedoch nicht dazu verleiten dürfen, wirtschaftliche Vorteile aus der Senkung der (für ebene Spannungszustände etwa an der Oberfläche von Körpern geltenden) Vergleichsspannung zu suchen; denn die erwähnten Zugspannungen sind über die endlich große Blechdicke verteilt und es gibt auch eine radiale Spannung, insgesamt also drei Hauptnormalspannungen und daher auch drei Kreise in der Mohr'schen Darstellung des Spannungszustandes. Die für den Fließbeginn maßgebende größte Schubspannung hängt nur vom Hauptkreisradius ab und wird daher durch die Existenz einer kleinen Längszugspannung nicht beeinflusst; beim Fließen kommt es hier immer zu einem Abgleiten von Werkstoffschichten unter einem Winkel von  $45^\circ$  gegen die Blechdicke. Nur wenn in der Längsrichtung des Rohres eine Druckspannung wirksam ist und daher die größte Schubspannung (der Radius des Mohr'schen Hauptkreises) größer als die halbe Umfangszugspannung wird, muß dies bei der Bemessung des Rohres durch Zugrundelegung des Vergleichsspannungswertes berücksichtigt werden.

Die Verwendung von Druckrohren, die durch Kaltverformung und Alterung auf Kosten der Bruchdehnung verfestigt worden sind, ist in Österreich von den Bauherren bisher noch nicht in Erwägung gezogen worden und daher gibt es auch noch keine diesbezügliche Stellungnahme der Wasserrechtsbehörde. Bisher hat die Wasserrechtsbehörde nicht gestattet, die plastische Reserve des Blechwerkstoffes bei den hochbeanspruchten Druckrohrleitungen (die Zulassung kaltverfertigter Stähle für die im Beton eingebetteten Bewehrungsstäbe bildet hier keinerlei Präzedenzfall) zur Erzielung wirtschaftlicher Vorteile in Anspruch zu nehmen; und hat diese Reserve sorgsam gehütet; denn wir haben schon erwähnt, daß die Wasserdruckprobe der Formstücke (Hosenrohre, Abzweigstücke) mit Dehnungsmessungen verknüpft werden, die dem Nachweis dienen sollen, daß unter dem Prüfdruck noch keine Plastifizierungen eintreten — daß das Stück somit „kerbmild“ konstruiert worden ist.

In Bild 99 ist ein Abzweigstück der italienischen Anlage Avise und in Bild 100 ist ein Hosenrohr der italienischen Anlage Muccone (Secondo salto, mit  $H_s = 501,25 - 192,50 = 308,75$  m) dargestellt, bei denen nach dem Vorschlag von Ferrand der Innendruck von einer Stahlgußkugel aufgenommen wird, während die hydraulischen Belange von durchlöchernten Leitblechen und Leitrohren besorgt werden. Solche Kugelabzweigstücke aus Stahlguß kamen auch schon bei der französischen Anlage Aussois ( $H_s = 874$  m,  $D_i = 1700/1600$  mm), bei der schon erwähnten Großanlage Malgoverf (Haute-Isère) im Kraftabstieg vom Speicher mit der großen Talsperre Tignes ( $H_s = 1557 - 809 = 748$  m,  $D_i = 2200/2100$  mm, zwei Stränge) und auch bei der Anlage San Antonio der S. T. E. ( $H_s = 606$  m,  $D_i = 1700/1600$  mm) zur Verwendung; auch in Österreich wurden sie (bei der schon geschilderten Verteilrohrleitung Limberg) gebaut.

Im Zusammenhang mit den Ausschreibungen für die Verteilrohrleitung der Speicherstufe Reifseeck und des Lünenseewerkes hat die VOEST den Ge-

Bild 67: Steilstrecke der Druckrohrleitung des Kraftwerkes Debant II der TIWAG. Waagner-Biró AG, Wien-Graz. Vgl. auch Bild 20



## Wasserüberleitungen aus Tirol - Taldüker Kleinvermunt

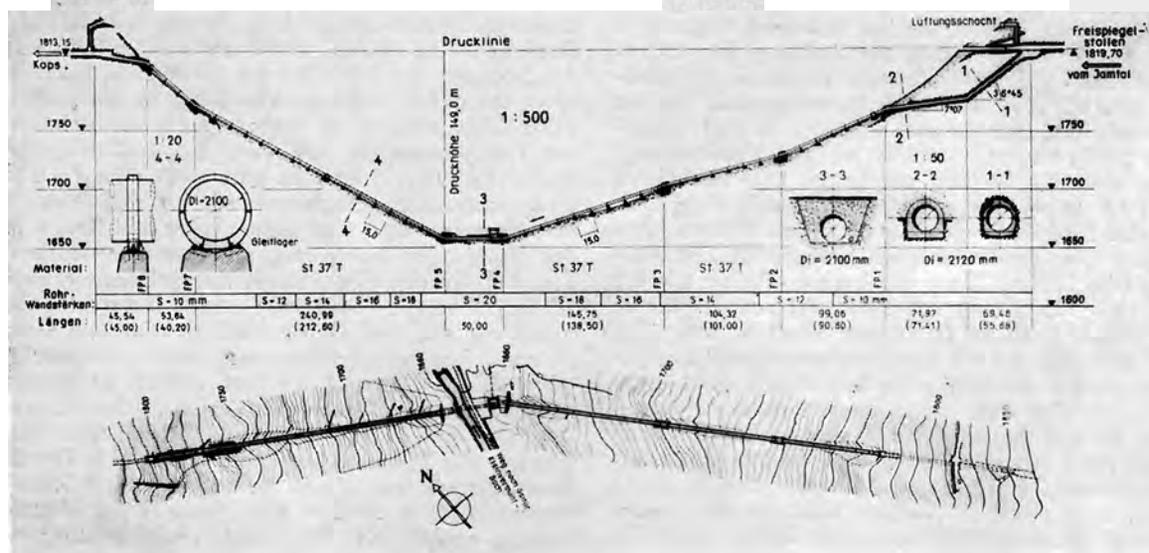


Bild 68: Längenschnitt und Lageplan des Taldükers Kleinvermunt der Bachüberleitungen nach Vermunt. Vorarlberger Illwerke AG. Vgl. auch Bild 8

danken entwickelt, solche schwerbelastete Kugelabzweigstücke aus ALDUR 58 zu schweißen; einschlägige Versuche an einem Modell vom Durchmesser 900 mm sind im März 1955 von der VOEST durchgeführt worden. Ein geschweißtes Kugel-Hosenrohr, das in seiner Art einen Rekord darstellt, wurde im Druckschacht der schon geschilderten Großanlage K e m a n o der ALCAN (British Kolumbien) eingebaut; die Kugel hat einen Durchmesser von 3,73 m und besteht aus dem schon erwähnten alterungsbeständigen Kesselblech kleinster Festigkeitsstufe — so daß sich eine Wanddicke von 94 mm ergab.

## 9.

Wenn wir freie Druckrohrleitungen mit den Panzerrohren von Druckstollen und Druckschächten vergleichen wollen, müssen wir beachten, daß bei den letzteren der Innendruck zum Teil („Gebirgsanteil“  $\beta$ ) vom Gebirge und nur mit dem Restbetrag  $\alpha = (1 - \beta)$  („Rohranteil“  $\alpha$ ) vom Stahlrohr unter Einhaltung zulässiger Spannungen übernommen wird; wenn man für das Panzerrohr die gleichen Sicherheitsreserven wie für ein freies Druckrohr fordert, hat man es für diesen Rohranteil  $\alpha$  des Innendruckes als von der Luft umgebenes Druckrohr zu bemessen. Der Gebirgsanteil  $\beta$  hängt von der Höhe der Gebirgsüberlagerung, vom geologischen Befund, vom Grad der Auflockerung des Gebirges durch die Sprengarbeiten und nicht zuletzt auch von der Qualität der Hinterbetonierungs- und Injektionsarbeiten ab. Der Wert  $\beta$  liegt erfahrungsgemäß zwischen Null und 0,75, so daß sich für den Rohranteil  $\alpha$  des Innendruckes Werte zwischen 1,00 und 0,25 ergeben. Der Rohranteil  $\alpha = 1$  gilt für die freien Rohre und wird bei den Panzerrohren dann in Rechnung gestellt, wenn sich das Rohr schon in der Nähe der Geländeoberfläche befindet, wenn die Überlagerung gering ist, wenn der geologische Befund ein schlech-

ter ist, oder wenn der Fels durch die Sprengarbeiten stark aufgelockert worden ist. Der Rohranteil  $\alpha = 0,25$  ist im Inneren des Bergleibes, bei großer Überlagerung und erstklassigem Fels zu erwarten; er hat sich mit diesem Wert bei den ersten österreichischen Messungen über die Beanspruchung von Druckschachtpanzerungen — den Messungen des Freiburger Professors P. Joye im Druckschacht des Achenseekraftwerkes — ergeben. Das Gebirge ist mitunter stark anisotrop und daher preßt sich das Panzerrohr unter dem Einfluß des Innendruckes keineswegs gleichmäßig in die Hinterbetonierung ein — zumal diese Hinterbetonierung durch radiale Risse fragmentiert ist und örtlichen Eindrückungen folgen kann. Das Rohr wird hierbei oval und es kann auch örtliche Ausbuchtungen erhalten, so daß sich zusätzliche Biegespannungen ergeben. Trotz der Gebirgsmitwirkung kann es daher vorkommen, daß die örtliche Umfangszugspannung in einem Panzerrohr größer ausfällt als bei einem von der Luft umgebenen und daher solchen Zusatzspannungen nicht ausgesetzten freien Druckrohr. Wenn der Blechwerkstoff in den Nahtzonen nicht sprödbrechunfähig ist und seine Bildsamkeit ungeachtet der tiefen Betriebstemperaturen dauernd beibehält, vermögen solche Zusatzspannungen auf die Beurteilung der Sicherheitsreserven keinen Einfluß zu nehmen; man erkennt auch hier wieder die dominierende Bedeutung der werkstofflichen und schweißtechnischen Fragen.

Die Frage der Gebirgsmitwirkung bei Panzerstollen und Panzerschächten ist verwandt mit der Frage des Gebirgsmoduls. Der Gebirgsmodul ist vom Elastizitätsmodul eines herausgeschnittenen Steinprismas wohl zu unterscheiden und ist unter Umständen ganz erheblich kleiner als dieser, weil sich bei der Zusammendrückung die Einflüsse feinsten Klüfte addieren. Um dieses Problem hat man sich in Österreich mehrfach bemüht. Beispiels-



Bild 69: Taldücker Kleinvermunt der Bachüberleitungen nach Vermunt, VIW. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

VIW

## Wasserüberleitungen aus Tirol – Durchleitung Kops

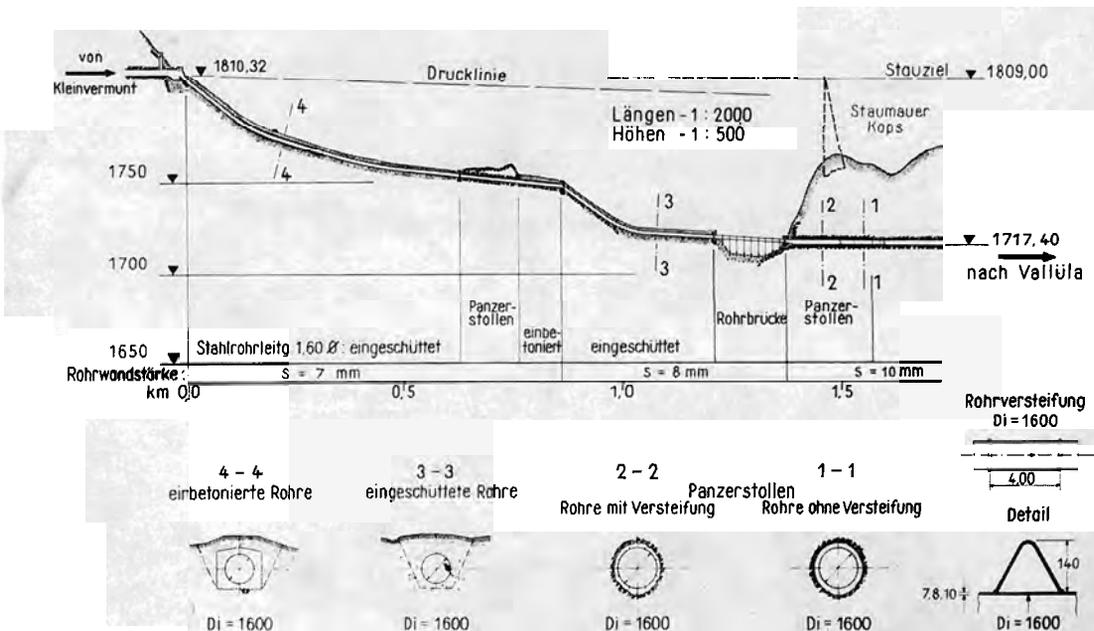


Bild 70: Längenschnitt der „Durchleitung Kops“ der Bachüberleitungen nach Vermunt, VIW, VOEST-Linz

weise wurden solche Messungen von den Vorarlberger Jllwerken im Zusammenhang mit der Erprobung der Kernringauskleidung nach den Vorschlägen von Herrn Dr. Ing. A. Kieser im Versuchsstollen Muleritsch durchgeführt<sup>53)</sup> und im selben Jahr 1948 hat auch Herr Professor Dr. Ing. O. K. Fröhlich im Auftrag der TKW Gebirgsmodulmessungen in Versuchsstollen auf Limberg gemacht. Seit dem Jahre 1951 gibt es in der Stadt Salzburg eine unter der verdienstvollen Führung von Herrn Dr. Ing. L. Müller stehende Arbeitsgemeinschaft für Geomechanik, die im Rahmen von akademischen Arbeitstagungen den einschlägigen Problemen an den Leib rückt. In Norwegen hat man die Frage des Gebirgsmoduls und des Rohranteiles von Panzerungen beim Lysø-Kraftwerk experimentell studiert, und in Deutschland hat man im Zusammenhang mit dem Projekt Sylvenstein Messungen gemacht.<sup>54)</sup> In der Schweiz sind viele und recht aufschlußreiche Versuche zur Klärung der Frage des Gebirgsmoduls und des Rohranteiles von Panzerungen durchgeführt worden, zum Teil in besonderen Versuchsstollen und zum Teil an ausgeführten Anlagen durch Messungen innerhalb des Bereiches der zulässigen Spannungen.<sup>55)</sup> Vor allem sind solche Untersuchungen von der Gebrüder Sulzer AG, Winterthur, durchgeführt worden, und zwar im Versuchsstollen Motec, im Druckstollen Mauvoisin und in den Druckschächten Peccia, Caverigno und Verbano der Maggia-Kraftwerke AG in Locarno.

Auch in Frankreich sind Methoden zur Bestimmung des Gebirgsmoduls entwickelt worden<sup>56)</sup> und beim Bau der Falleitung des Lünenseewerkes kam eine neuartige französische Bohrlochmethode für diesen Zweck zur Anwendung. Bezüglich der theoretischen und praktischen Erwägungen bei der Bemessung von Druckschacht- und Druckstollen-

panzerungen sei auf das einschlägige Schrifttum verwiesen.<sup>57)</sup>

## 10.

Wir haben bisher den Standpunkt vertreten, daß bei der Beurteilung der Kühnheit des Entwurfes einer Druckrohrleitung einzig die Größe des Innendruckes maßgebend ist. Nun ist aber leicht einzusehen, daß es kein besonderes Risiko bedeutet, eine Leitung für große Innendrucke zu bauen, wenn der Durchmesser ein sehr kleiner ist. Denn nach der klassischen Ring- oder Kesselformel ist die Umfangszugkraft gleich dem Innendruck mal dem Radius; aus dieser Umfangszugkraft  $Z$  ergibt sich nach Division durch die Wanddicke die vorhandene Umfangszugspannung oder nach Division durch die zugelassene Spannung die erforderliche Wanddicke. Bei großem Radius und großem Innendruck wird das Produkt  $Z$  groß, so daß sich große Wanddicken ergeben und hochfeste Stähle verwendet werden müssen; das Gefahrenmoment wird groß, weil in einem Schadensfall sehr große Wassermengen ausfließen würden. Hinsichtlich des Innendruckes  $p$  sind in Analogie zur Druckhöhe  $H$  (Wassersäulenhöhe) verschiedene Werte zu unterscheiden. So der statische Druck  $p_s$ , der einer Wassersäule entspricht, die von der Achse des untersuchten Rohres bis hinauf zum Stauziel (bzw. zum höchsten Spiegel, der bei Werkstillstand und fehlender Hochwasserüberströmung möglich ist) reicht. Dann der etwas größere „quasistatische“ Druck  $p_q$  bei dem die Wassersäule bis hinauf zum höchsten Schwall im Wasserschloß (etwa bis zur Kronenkote des Überlaufes im Wasserschloß) reicht und der die relativ langsame Spiegelhebung im Wasserschloß — und damit auch eine allfällige Überströmungshöhe beim Hochwasserüberfall des Speichers — miteinfäßt. Dann

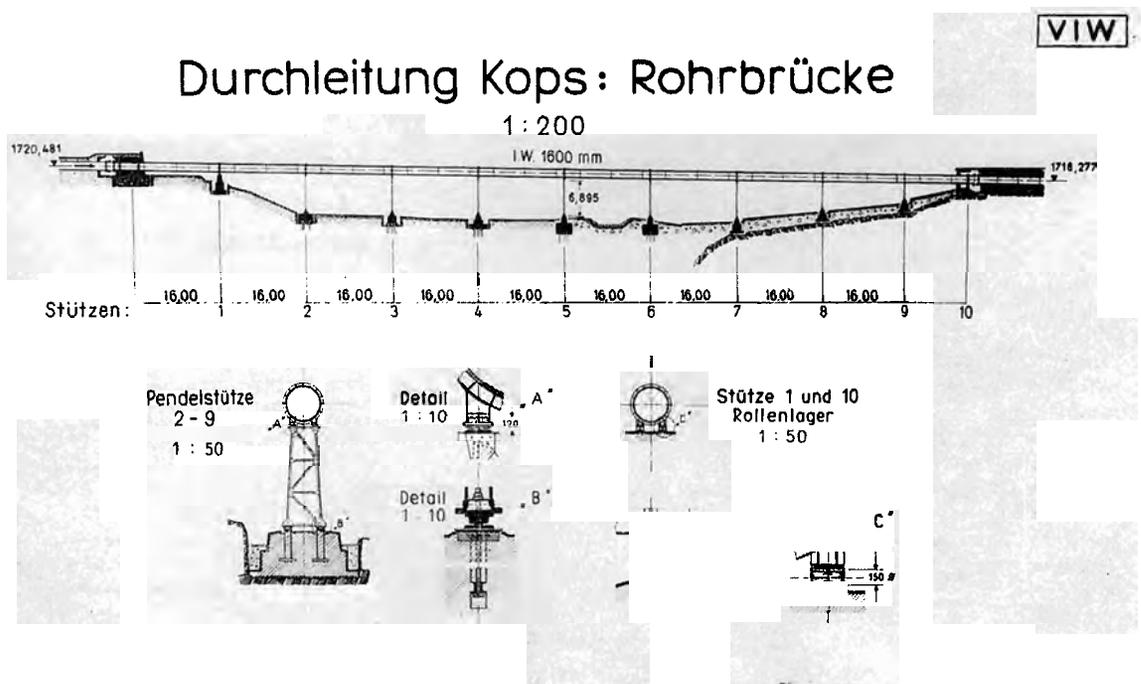


Bild 71: Rohrbrücke der „Durchleitung Kops“ der Bachüberleitungen nach Vermunt, VIW. VÖEST-Linz

der größte Druck im Turbinenbetrieb, mit  $p_T$  bezeichnet, bei dem die Wassersäule von der Achse des untersuchten Rohres bis hinauf zur dynamischen Drucklinie des Turbinenbetriebes (etwa für den Fall des Kurzschlusses aller Turbinen) reicht, und der größte Druck  $p_P$  im Pumpbetrieb, bei dem sie bis hinauf zur dynamischen Drucklinie des Pumpbetriebes (etwa beim Vom-Netz-Fallen der Pumpen) zu messen ist; hier sind also die Wirkungen der Druckstöße — die Druckwelle pflanzt sich mit Geschwindigkeiten von mehr als 1 km/s fort — mitberücksichtigt und auf eine zusätzliche Wassersäulenhöhe zurückgeführt<sup>58)</sup> Schließlich der Bemessungsdruck  $p_B$  des Betriebslastfalles (das ist der örtlich größte der genannten Werte  $p_s$ ,  $p_q$ ,  $p_T$  und  $p_P$ .) und der Bemessungsdruck  $p_A$  des Ausnahmefalles, bei dem die dynamische Drucklinie noch höher liegt, weil hier Belastungsfälle berücksichtigt werden, die nur beim Versagen von Sicherungseinrichtungen zustandekommen können; die zulässige Spannung ist im örtlich ungünstigsten Ausnahmefall verständlicherweise höher als im ungünstigsten Betriebslastfall.

Wenn man nun verschiedene Druckrohrleitungen vergleichend beurteilen will, wird man darauf verzichten, den beiden Faktoren „Innendruck“ und „Radius“ verschiedene Bewertungsgewichte zuzuweisen, und man wird darauf verzichten, auf die Ausnahmefälle näher einzugehen. Auch wird man bei den dickwandigen Rohren kleinen Durchmesser darauf verzichten, die am Innenrand auftretende Umfangszugspannung unter Beachtung der über die Wanddicke nicht linear verteilten Normalspannungen zu berechnen, sondern wird die Spannungsspitze näherungsweise dadurch erfassen, daß man in die klassische Kesselformel den etwas größeren Außenradius  $r_a$  einführt. Schließlich will man auch freie Druckrohrleitungen mit den Panzerrohren von Druckstollen und Druckschächten vergleichen und muß daher — wie wir schon dargelegt haben — beachten, daß bei den letzteren ein Teil  $\beta$  des Innendruckes rechnermäßig vom Gebirge getragen wird, so daß nur der Restteil  $\alpha = (1 - \beta)$  auf das Rohr entfällt. Wir gelangen so zur Formel

$$Z_{id} = \alpha \cdot p_B \cdot r_a$$

für eine ideelle Umfangszugkraft, die als Vergleichsmaß brauchbar erscheint, wenn wir für den Druckrohrleitungsstrang den Größtwert (in der Regel gilt dieser für ein Rohrstück unmittelbar vor Beginn der Verteilrohrleitung, mit möglichst tief liegender Achse und noch möglichst großem Durchmesser, damit das Produkt  $p_B \cdot r_a$  möglichst groß wird) herausuchen und verwenden. Da im Schrifttum über die Wasserkraftanlagen die Druckrohrleitungen meist recht spärlich behandelt werden und die für den Vergleich erforderlichen Werte nicht angegeben werden, wird man sich mit weiteren Vereinfachungen abfinden müssen. Die statische Druckhöhe der Leitung läßt sich in der Regel bequem feststellen und auch die Innendurchmesser der Rohre sind meist angegeben, so daß man mit dem vereinfachten Ausdruck für die ideelle Umfangszugkraft

$$Z_{id}^* = \alpha \cdot p_s \cdot r_i$$

wird arbeiten können.

Wenn man nun versucht, auf dieser Grundlage eine Rangliste aufzustellen, so erkennt man, daß



Bild 72: Rohrstoßenleitung des Kraftwerkes Uffendorf (Stubach III) der Österr. Bundesbahnen; Montage. Vgl. auch Bild 17. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

die früher erwähnten Leitungen mit großen Innendruck keineswegs an der Spitze liegen — denn es gibt andere Druckrohrleitungen, bei denen zwar der Innendruck kleiner, dafür aber der Radius erheblich größer ist und daher die Umfangszugkraft anwächst. Die Druckrohrleitung der Speicherstufe Reifsee rückt bei dieser neuen Beurteilungsweise an die sechste Stelle und Dixence-Chandoline rangiert vor Reifsee, weil die geringe Einbuße an Innendruck durch den etwas größeren Durchmesser überkompensiert wird; die Panzerrohre des großen Druckschachtes der ALCAN in Kemano liegen hier sogar erst an neunter Stelle, da bei ihrer Bemessung angenommen worden ist, daß 40% des Innendruckes vom Gebirge übernommen werden. Ich vermag zwar keineswegs alle großen Druckrohrleitungen der Welt zu überblicken, aber es scheint mir, daß die schon geschilderte Druckrohrleitung des Kraftwerkes Cimego (Alto Chiese, Prov. Trento, Italien) derzeit an der Spitze der Weltrangliste steht — gleichgültig, ob man  $Z_{id}$  oder den kleineren, einfacher feststellbaren Wert  $Z_{id}^*$  als Vergleichsmaß wählt. Vor Cimego rangiert zwar ein kleines Stück Hauptrohr der Verteilrohrleitung Fionnay der Anlage Grande Dixence in der Schweiz, doch handelt es sich hierbei nur um einen vorübergehenden Bauzustand mit erhöhter zulässiger Spannung und daher nicht um eine vergleichbare definitive Anlage. Im Krafthaus sind hier noch nicht alle Maschinensätze eingebaut und demgemäß hat man das Hauptrohr der Verteilrohrleitung hinter dem vierten Abzweigstück provisorisch abgeschlossen; da dieser Teil oberflächennahe ist, konnte er nicht unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Gebirges (Fionnay ist ein Kavernenkraftwerk) bemessen werden. Es ergab sich so für den vorübergehenden Bauzustand ein Rohranteil  $\alpha = 1$  und demgemäß ein Rekordwert an Umfangszugkraft. Das Rohr wurde aus ALDUR 58 her-



Bild 73: Druckrohrleitung des Kraftwerkes Mühlau der Trinkwasserversorgung der Stadt Innsbruck. Vgl. auch Bild 6. Waagner-Biró AG, Wien-Graz



Bild 74: Druckrohrleitung des Kaiserbachkraftwerkes der TIWAG. Vgl. auch Bild 11. Waagner-Biró AG, Wien-Graz

gestellt und die zulässige Spannung wurde höher angesetzt als bei der definitiven Rohrleitung des Lünenseewerkes — und demgemäß beträgt die Wanddicke nur 58 mm gegenüber 65 mm bei der (gleichfalls aus ALDUR 58 geschweißten) Leitung des Lünenseewerkes. Das Bild 101 zeigt das erwähnte Abzweigstück mit dem Hauptrohr während der Werkstattschweißung (Gebrüder Sulzer AG, Winterthur); man erkennt den mächtigen, 200 mm dicken Sulzerkränzen, der auf das Rohr nicht aufgeschweißt, sondern nur lose aufgepaßt wird, um die Zusatzspannungen gering zu halten.

In der Zusammenstellung 10 habe ich sechzehn Falleitungen unter Bedachtnahme auf die größte ideale Umfangzugkraft gereiht; ich konnte hierbei nur die paar Daten verwenden, die mir verfügbar waren, und daher vermag die Rangordnung keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Knapp hinter C i m e g o rangiert, wie wir sehen, die Falleitung des L ü n e r s e e w e r k e s und nach dieser folgt die Druckrohrleitung C a p d e L o n g - P r a g n è r e s, die wir schon erwähnt haben und die in Bild 102 dargestellt ist. Bei diesen Leitungen waren mir auch die Bemessungsdrucke  $p_B$  und die Außenradien (bei den bandagierten Röhren die Außenradien der glatten Vergleichsrohre) zugänglich, so daß ich hier nicht nur den vereinfachten Ausdruck, sondern auch den schärferen Ausdruck für die ideale Umfangzugkraft auswerten konnte; man sieht, daß die Reihung dadurch nicht beeinflusst wird. Zur Spitzengruppe unserer Zusammenstellung gehören vermutlich auch noch zwei baureife Projekte — der gepanzerte Druckschacht des Kraftwerkes R o s e l e n d' e r E l e c t r. d e F r a n c e und die Falleitung des U r - K r a f t w e r k e s d e s R W E im Rheinland an der luxemburgischen Grenze.

Um nun über die einzelnen Objekte der Triebwasserführung des Lünenseewerkes der Vorarlberger Illwerke-AG sprechen zu können, zeige ich vorerst den Lageplan (Bild 103) und den Längenschnitt (Bild 104) dieser Anlage. Wir sehen, daß schon weit vor dem Wasserschloß ein großes stahlbauliches Objekt — der T a l d ü k e r - S a l o n i e n — errichtet werden muß, um das Salontal unterfahren zu können (Bild 105); die Dükerschnekel sind hier — zum Unterschied vom Taldüker Kleinvermont der Bachüberleitungen nach Vermont (Bild 8 und Bild 69) — als Druckschächte in den Bergleib verlegt, und unten im Talgrund liegt ein mit Beton ummantelter und mit Erdreich überschütteter Rohrstrang, der als freie Druckrohrleitung mit 1 mm Rostzuschlag bemessen worden ist. Durch dieses Umhüllen des Stahlrohres mit einem dicken Betonmantel wird den Fragen, die sich bei der Bemessung von eingeschütteten Druckrohrleitungen im Fall der Entleerung ergeben, in zweckmäßiger Weise ausgewichen. Beim Vortrieb des unteren Stollens hat man im Bergsturzgebiet des Osthanges die Stämme eines vor fünftausend Jahren konservierten Waldes angefahren (Altersbestimmung mit der Radio-Karbon-Datierung, also mit Hilfe des Kohlenstoffisotops C-14, das eine Halbwertszeit von 5589 Jahren besitzt). Am Rande der Ausschreibung dieses Objektes hat sich auch der Konkurrent der Stahlbauweise — die Spannbetonbauweise — mit einem von sehr berufener Seite ausgearbeiteten Entwurf eingeschaltet, um die Wettbewerbsfähigkeit der Spannbetonbauweise trotz der großen Druckhöhe von 326 m und trotz der großen Rohrdurchmesser Di = 2600/2400 mm zu demonstrieren. Die

Mehrkosten für das vergrößerte Ausbruchprofil des Schachtes werden hier dadurch kompensiert, daß die Umfangzugkräfte durch hochfeste Rundstähle aufgenommen werden, an die man die Zusatzforderung nach guter Schweißbarkeit nicht zu stellen hat, da nicht geschweißt wird; und wohl auch dadurch, daß die Dichtungshaut aus einem sehr dünnen Stahlblech bestehen kann, da ein Einbeulen durch den Gebirgswasserdruck (bei entleertem Schacht) wegen des eingelegten dickwandigen Betonrohres nicht zu befürchten ist. Wir können, wie hier in Erinnerung gebracht sei, in Österreich auf dem Gebiet der Druckstollenauskleidung durch vorgespannten Beton auf eine bemerkenswerte Ausführung bei der Hauptstufe Glockner-Kaprun der TKW hinweisen — auf die im Jahre 1943 hergestellte Druckstollenauskleidung aus Betonfertigteilen mit vorgespannter Stahldrahtumwicklung<sup>21)69)</sup>; die Fertigteile wurden fabrikmäßig erzeugt und im Stollen maschinell versetzt und mit Stahldraht  $\varnothing$  6 mm unter Vorspannung umwickelt. Entwurf und Ausführung lag in den Händen der Wayss & Freytag AG in Frankfurt/Main. Nicht unerwähnt sei auch, daß es eine Großausführung schon vor zwei Jahrzehnten in Frankreich bei der Anlage M a r è g e s<sup>60)</sup> gab und daß im kürzlich erschienenen Buch von B e l l o m e t t i<sup>31)</sup> ein ganzes Kapitel den vorgespannten Druckrohren gewidmet wird.

Die Falleitung des Lünenseewerkes, die vom Wasserschloß hinunter zum Krafthaus führt, gliedert sich — wie Bild 106 zeigt — in den Panzerstollen G r ü n e c k, die anschließende freie Druckrohrleitung G o l m, den gepanzerten Druckschacht mit der Steilstrecke und der Flachstrecke, sowie in die anschließende Verteilrohrleitung in fliegender Anordnung. Die Aufteilung der Stahlbauarbeiten der Triebwasserführung in einzelne Baulose ist in der Zusammenstellung 11 angeführt. Diese Zusammenstellung zeigt, daß bei der Steilstrecke des Druckschachtes für die Panzerrohre der deutsche Sonderbaustahl UNION 40 (vgl. die Zusammenstellung 3) und ansonsten ausnahmslos der ALDURstahl (vgl. die Zusammenstellung 2) zum Einsatz kommt.

Das Stauziel des Speichers Lünensee hat die Kote 1970,00 und die Überlaufkante im Wasserschloß liegt auf Kote 1988,00, so daß sich am äußeren Ende der Flachstrecke, wo die Rohrachse auf Kote 995,90 liegt, der statische Druck  $p_s = 974,10 \text{ t/m}^2$  und der „quasistatische“ Druck beim höchsten Schwall im Wasserschloß mit  $p_q = 992,10 \text{ t/m}^2$  ergibt. Der für die Bemessung der Flachstrecke maßgebende Betriebslastfall tritt auf, wenn alle Speicherpumpen arbeiten und plötzlich vom Netz fallen (Stromausfall). J. D u c<sup>68)</sup> hat einen ähnlichen Fall im Modell untersucht und es ergab sich hier acht Sekunden nach dem plötzlichen Abschalten der Pumpe ein Druckabfall auf 45% des Betriebsdruckes und 15 Sekunden nach dem plötzlichen Abschalten eine Drucksteigerung auf 125% des Betriebsdruckes, worauf ein allmähliches Auspendeln eintrat. Beim Lünenseewerk steigt der Wasserspiegel, wenn die Pumpen mit der höchstzulässigen Frequenz anfahren, ungünstigstenfalls bis zur Überlaufkante des Wasserschlosses (Kote 1988,00 höchster Schwall im Wasserschloß), obwohl der Beharrungswasserspiegel des Pumpbetriebes um 2 m tiefer liegt. Wenn nun die Pumpen zu einem Zeitpunkt vom Netz fallen, in welchem der Spiegel im Wasserschloß diese höchste Kote er-



Bild 75: Durchführungsrohre durch den Sperrkörper Limberg, Turbinenauslauf- und Pumpeneinlaufrohre der Oberstufe Glockner-Kaprun der TKW. Waagner-Biró AG, Wien-Graz. Im Vordergrund die Stahlschalungen für die Mauerblöcke der Gewölbemauer Limberg

## Zusammenstellung 10

### Versuch einer Rangordnung für 1955:

Erreichte Größtwerte des Vergleichsmaßes  $Z_{id} = \alpha \cdot p_B \cdot r_a$  ( $p_B$  = Bemessungsdruck,  $r_a$  = Außenradius) und des vereinfachten Vergleichsmaßes  $Z_{id}^* = \alpha \cdot p_s \cdot r_i$  ( $p_s$  = statischer Druck,  $r_i$  = Innenradius):

1. Fionnay (Grande Dixence S. A., Sion, Walliser Alpen, Schweiz), Provisorium der Verteilrohrleitung, vorübergehend freies Rohrende mit  $\alpha = 1$ ; glatte Rohre:  
 $Z_{id} = 1,00 \cdot 961,19 \cdot 1,273 = 1223,59 \text{ t/m}$   
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 870 \cdot 1,215 = 1057,05 \text{ t/m}$
2. Cimego (Alto Chiese, Trento, Italien), bandagierte Rohre:  
 $Z_{id} = 1,00 \cdot 821,26 \cdot 1,483 = 1217,93 \text{ t/m}$   
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 746,60 \cdot 1,425 = 1063,91 \text{ t/m}$
3. Lünserseewerk (Vorarlberg, Österreich), glatte Rohre:  
 $Z_{id} = 1,00 \cdot 1111,15 \cdot 1,090 = 1211,15 \text{ t/m}$   
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 974,1 \cdot 1,025 = 998,45 \text{ t/m}$
4. Cap de Long — Pragnères (Hautes Pyrénées, Frankreich), bandagierte Rohre:  
 $Z_{id} = 1,00 \cdot 1440,60 \cdot 0,80 = 1152,48 \text{ t/m}$   
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1252,70 \cdot 0,75 = 939,53 \text{ t/m}$
5. Chandoline (S. A. La Dixence, Walliser Alpen), bandagierte Rohre:  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1748 \cdot 0,4925 = 860,89 \text{ t/m}$ ,  
 (größte statische Druckhöhe in der Schweiz).
6. Speicherstufe Reifjeck (Kärnten):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1778,80 \cdot 0,475 = 844,93 \text{ t/m}$   
 (größte statische Druckhöhe in Österreich).
7. Miéville (Salanfè S. A., Wallis), im Schrägstollen frei verlegt:  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1474 \cdot 0,55 = 810,70 \text{ t/m}$ .
8. Avise (Soc. Idroelettrica Piemonte):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1037 \cdot 0,775 = 803,68 \text{ t/m}$ .
9. Kemano (Britisch Kolumbien), Druckschachtpanzerung mit  $\alpha = 0,60$ :  
 $Z_{id}^* = 0,60 \cdot 792 \cdot 1,675 = 795,96 \text{ t/m}$ .
10. Malgover (Haute Isère):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 748 \cdot 1,05 = 785,40 \text{ t/m}$ .
11. Riddes (Mauvoisin S. A., Sion, Walliser Alpen):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1025 \cdot 0,75 = 768,75 \text{ t/m}$ .
12. La Bissorte (Frankreich):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1144 \cdot 0,65 = 743,60 \text{ t/m}$ .
13. Portillon (Hautes Pyrénées):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 1413 \cdot 0,52 = 734,76 \text{ t/m}$ ,  
 (größte statische Druckhöhe in Frankreich).
14. Plima Lasa (Soc. Montecatini, Milano):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 984 \cdot 0,725 = 713,40 \text{ t/m}$ .
15. Aussois (Frankreich):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 874 \cdot 0,80 = 699,20 \text{ t/m}$ .
16. Cestrède — Pragnères (Hautes Pyrénées):  
 $Z_{id}^* = 1,00 \cdot 923,70 \cdot 0,75 = 692,78 \text{ t/m}$ .

## Zusammenstellung 11

### Triebwasserführung des Lünserseewerkes der Vorarlberger Illwerke AG, Aufteilung in Baulose:

1. Waagner-Biró AG, Wien-Graz: Taldüker Salorien,  $H_s = 326 \text{ m}$ ,  $D_i = 2600/2400 \text{ mm}$ , ALDUR 44 und 47.
2. VOEST, Vereinigte Eisen- und Stahlwerke AG, Linz: Stollenpanzerung Grüneck,  $D_i = 3200 \text{ mm}$ , ALDUR 47, mit Rohranteil  $\alpha = 1$  bemessen. Freie Druckrohrleitung Galm,  $D_i = 2250 \text{ mm}$ , ALDUR 47; zwischen den Festpunktblöcken Weitspannfelder von  $L = 20 \text{ m}$ , aufgeschweißte Auflageringe und Rollenlager. Festpunkte ohne Betonhaube.
3. Dortmunder UNION Brückenbau-AG, Werk Orange, Gelsenkirchen: Druckschachtpanzerung Steilstrecke;  $D_i = 2150 \text{ mm}$ , Stahl UNION 40 der Dortmund-Hörder-Hüttenuion AG.
4. VOEST-Linz: Druckschachtpanzerung Flachstrecke, bergseitiger (innerer) Teil;  $D_i = 2050 \text{ mm}$ , ALDUR 58.
5. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur: Druckschachtpanzerung Flachstrecke, äußerer Teil;  $D_i = 2050 \text{ mm}$ , ALDUR 58, größte Wanddicke  $65 \text{ mm}$ .
6. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur: Verteilrohrleitung, fliegende Anordnung, Abzweigstücke mit lose aufgepaßtem Kragen, ALDUR 58, größte Wanddicke  $67 \text{ mm}$ .

reicht hat, tritt einige Sekunden nach dem starken Druckabfall der erwähnte Druckstoß in der Rohrleitung auf, wobei wir wieder das äußere Ende der Flachstrecke und die Verteilrohrleitung untersuchen. Diese Drucksteigerung beträgt, der Gewährleistung der Lieferfirmen entsprechend, maximal 12%. Der größte Bemessungsdruck beträgt demnach  $p_B = 1,12 (1988,00 - 995,90) = 1111,15 \text{ t/m}^2$  und dieser Wert legt die Ordinate der Bemessungsdrucklinie am äußeren Ende der Flachstrecke fest. Das Stahlrohr ist hier ohne Mitwirkung des Gebirges wie eine freie Druckrohrleitung zu bemessen. Die zulässige Vergleichsspannung stimmt, da wir (im Sinne unserer früheren Erwägungen an Hand des Mohr'schen Hauptkreises) den Einfluß der durch die fliegende Anordnung der Verteilrohrleitung bedingten Längsspannungen unbeachtet lassen, mit der zulässigen Ringzugspannung überein. Wie wir schon dargelegt haben, beträgt diese zulässige Spannung 54,5% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes, muß jedoch im Hinblick auf die Krafthausnähe auf das 0,9-fache reduziert werden. Für den Stahl ALDUR 58 gilt, wenn sich Wanddicken ab  $50 \text{ mm}$  ergeben, gemäß unserer Zusammenstellung 2 eine gewährleistete Mindeststreckgrenze von  $38 \text{ kg/mm}^2$ , so daß die zulässige Ringzugspannung  $0,9 \cdot 0,545 \cdot 3800 = 1860 \text{ kg/cm}^2$  beträgt und zu einer erforderlichen Wanddicke von  $s = 65 \text{ mm}$  führt. Denn der Innendurchmesser ist  $D_i = 2050 \text{ mm}$ , somit ist der Außenradius  $r_a = 1,025 + 0,065 = 1,090 \text{ m}$ , die ideale Umfangskraft  $Z_{id} = 1,00 \cdot 1111,15 \cdot 1,09 = 1211,15 \text{ t/m}$  und die Wanddicke  $s = 1211,15/18600 = 0,065 \text{ m} = 65 \text{ mm}$ .<sup>63)</sup> Der Wert  $Z_{id} = 1211,15 \text{ t/m}$  ist in der Zusammenstellung 10 angeführt und liegt knapp unter dem für Cimego geltenden Wert, wenn man dort die bandagierte Leitung in eine gleichwertige glatte umrechnet.



Bild 76: Druckrohrleitungsstrang II des Rannkraftwerkes der OKA; Montage. VÖEST-Linz. Links der alte, genietete Strang I

Der Längenschnitt der Flachstrecke mit dem Übergang zur Verteilrohrleitung ist in Bild 107 dargestellt. Das Bild 108 zeigt den Lageplan des Krafthauses und der Verteilrohrleitung, deren Verschlussorgane auf Gleitflächen aufrufen und die am Hauptrohr hängt (fliegende Anordnung); das auf Längszug beanspruchte Hauptrohr ist in einem schweren Festpunktblock und dann noch weiter bergwärts in der Flachstrecke verankert, wie in Bild 107 eingetragen ist. Für jeden der sechs Maschinensätze ist ein Kugelschieber als Trennschieber vor der Vergabelung in die Turbinen- und die Pumpenleitung (Bild 108) und dann je ein Kugelschieber vor der Turbine und ein Ringschieber vor der Pumpe angeordnet. Die Kugelschieber können auch in der Strömung der Betriebswassermenge einwandfrei geschlossen werden.

Die dynamische Drucklinie des geschilderten ungünstigsten Betriebslastfalles ist am Ort des Wasserschlosses durch die Kote 1988,0 des höchsten Schalles und am äußeren Ende der Flachstrecke durch die Kote  $995,90 + 1111,10 = 2107,00$  gekennzeichnet; sie ist längs der abgewickelt gedachten Rohrachse (also längs der schiefen Länge des Stranges) aufzutragen und bildet die Einhüllende der Druck-Maxima, die in den einzelnen Querschnittsstellen des Rohrstranges (zu verschiedenen Zeitpunkten) zustandekommen. Die Drucklinien sind — zumal die Rohrdurchmesser wechseln und die Schließgesetze der Verschlussorgane nicht immer lineare sind — schwach gekrümmte Kurven, dürfen jedoch praktisch durch Gerade ersetzt werden. Demnach dürfen die zu den statischen Wassersäulenhöhen hinzutretenden dynamisch bedingten (den Druckstößen entsprechenden) Wassersäulenhöhen zwischen den genannten Randwerten durch lineare Interpolation längs der Rohrachse bestimmt werden. Auch bei der Falleitung des Lünenseewerkes ist in dieser Weise vorgegangen worden. Wenn im Längenschnitt der Leitung die Abszissenwerte nicht als abgewickelte

Längen des Rohrstranges aufgetragen werden, weicht die Drucklinie etwas von der Geraden ab; in Bild 106 ist auf die Berücksichtigung dieser kleinen Abweichungen in der Darstellung verzichtet worden. Der Druckabfall, der wenige Sekunden nach dem Vom-Netz-Fallen der Pumpen zustandekommt, bewirkt eine kurzfristig starke Neigung der dynamischen Drucklinie; im oberen Teil der freien Druckrohrleitung 60 m (Bild 106) sinkt der Innendruck dann auf kleine Werte ab — doch kommt es nicht zu einem Unterdruck und daher auch nicht zum Problem des Einbeulens der freien Rohre.

In der Projektierungsabteilung der Vorarlberger Illwerke AG sind auch alle anderen denkbaren Betriebslastfälle und auch alle denkbaren Ausnahmefälle untersucht worden. Wenn alle sechs Turbinen aus der Vollast ( $Q_{max} = 31,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mit der kürzesten Schließzeit abgestellt werden, so kommt es zu einer dynamischen Drucksteigerung und zu einem Steigen des Wasserspiegels im Wasserschloß über den Beharrungswasserspiegel des Turbinenbetriebes. Dieser Beharrungswasserspiegel liegt, wenn am Lünensee das Stauziel mit der Kote 1970,00 vorhanden ist, rund 34 m unter diesem Stauziel, doch nähert sich der während der Schließzeit aufsteigende Spiegel im Wasserschloß dem Stauziel bis auf Kote 1952,00. Dieser Kote ist nun die Wassersäule zu überlagern,

Bild 77: Rohrbrücke über den Kamp, Druckrohrleitung des Kraftwerkes Dobra-Krumau der NEWAG. VÖEST-Linz

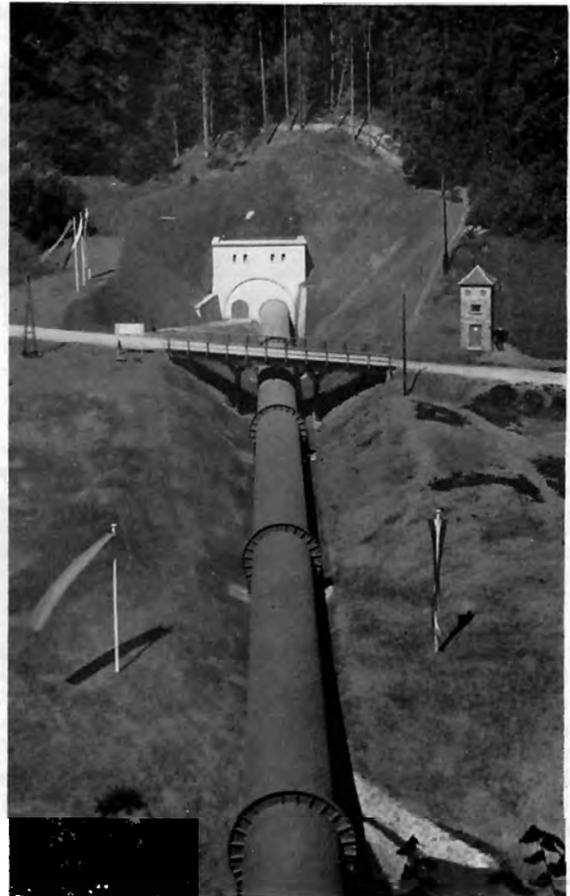




Bild 78: Rohrbrücke über den Genitzbach, Druckrohrleitung des Kraftwerkes Dobra-Krumau der NEWAG. VOEST-Linz

die der dynamischen Drucksteigerung von 12% entspricht und die somit die Höhe  $0,12 (1952,00 - 995,90) = 114,90$  m besitzt. Man erhält so für die dynamische Drucklinie des Turbinenkurzschlusses am äußeren Ende der Flachstrecke und bei der Verteilrohrleitung die Kote  $1952,00 + 114,90 = 2066,90$  m und am Ort des Wasserschlosses die Kote 1952,00 m. Wie wir sehen, befindet sich diese Drucklinie unterhalb der früher geschilderten Drucklinie und ist daher für die Bemessung der Rohrwanddicken nicht maßgebend. Schlimmer wäre der Fall eines Schnellschlusses der Turbinen aus sehr kleiner Teillast, so daß das Schließen noch innerhalb der Reflexionszeit der Druckwelle — bei der Falleitung des Lünnerseewerkes also innerhalb eines Zeitraumes von rund 5 Sekunden — zustandekommt. Die Schließgesetze der Düsenadeln und der Turbinen-Kugelschieber sind zwar so gewählt worden, daß die Drucksteigerung in keinem Falle mehr als 12% beträgt, doch liegt der Beharrungswasserspiegel nunmehr höher und daher wäre die dynamisch bedingte Wassersäule auf einer höheren statischen Kote aufzustocken. Da wir aber früher, beim Vom-Netz-Fallen der Pumpen, eine Drucksteigerung von 12% im Augenblick des höchsten Schalles im Wasserschloß berücksichtigt haben, kann auch der betriebstechnisch recht unwahrscheinliche Fall des Schnellschlusses aller Turbinen aus kleiner Teillast für die Bemessung der Leitung nicht maßgebend werden.

Von den Ausnahmelastfällen (die nur auftreten können, wenn die vorgesehenen mechanischen oder elektrischen Sicherungseinrichtungen versagen, und denen daher erhöhte zulässige Spannungen bei der Rohrbemessung zugeordnet sind) haben sich bei der Dimensionierung eines Teiles der freien Druckrohrleitung  $G \circ I m$  (vgl. Bild 106) die Fälle des Schließens der oberen Drosselklappe im Pumpbetrieb und des Anfahrens einer Pumpe gegen die geschlossene Drosselklappe als maß-

gebend erwiesen. Diese obere Drosselklappe befindet sich in der Sperrkammer am unteren Ende des Panzerstillens Grüneck (zwischen dem Konusrohr 3200/2500 mm und dem Festpunktblock 12) und wird aus betriebstechnischen Gründen ohne Automatik ausgeführt. Die dynamische Drucklinie verläuft waagrecht und liegt, der Pumpencharakteristik entsprechend, auf Kote 2263,00 m. Da es sich um einen Ausnahmelastfall (also um einen Lastfall, dessen Eintritt durch Sicherungseinrichtungen mit Ruhe- und Arbeitsstrom verhindert wird) handelt, ist die zulässige Spannung mit 85% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes angesetzt worden; dies entspricht der Proportionalitätsgrenze des Stahles oder dem ungünstigsten Schweißfaktor der Längsnaht des Rohres.

Bild 79: Panzerrohre mit Flachstahlankern gegen das Einbeulen durch den Gebirgswasserdruck. Druckschacht des Kraftwerkes Dobra-Krumau der NEWAG. Wagner-Biró AG, Wien-Graz





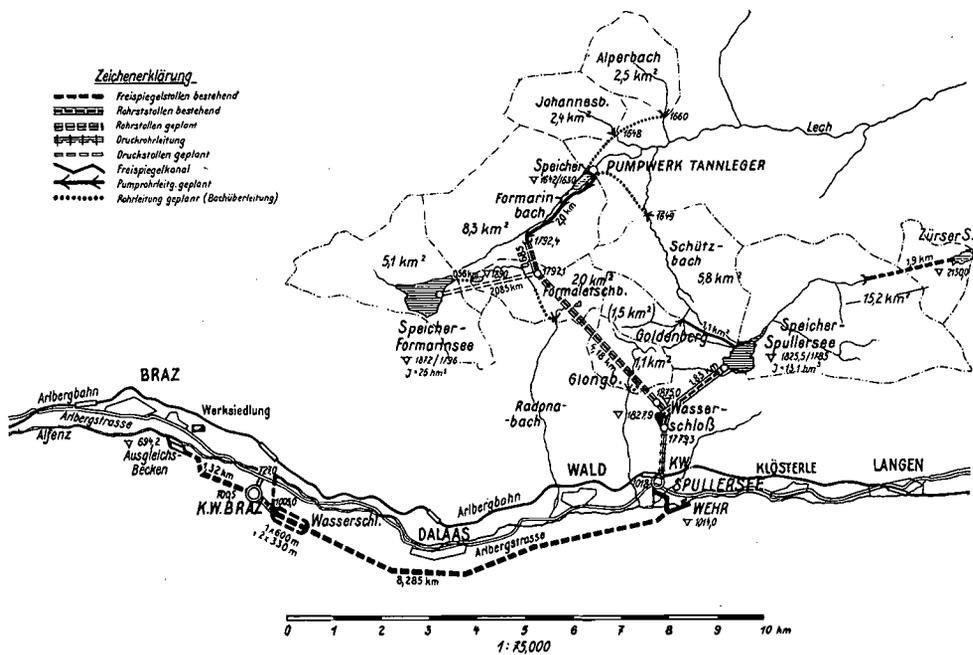


Bild 81: Lageplan der Alfenz-Werksgruppe der Österr. Bundesbahnen (Kraftwerk Spullersee und Kavernenkraftwerk Braz)

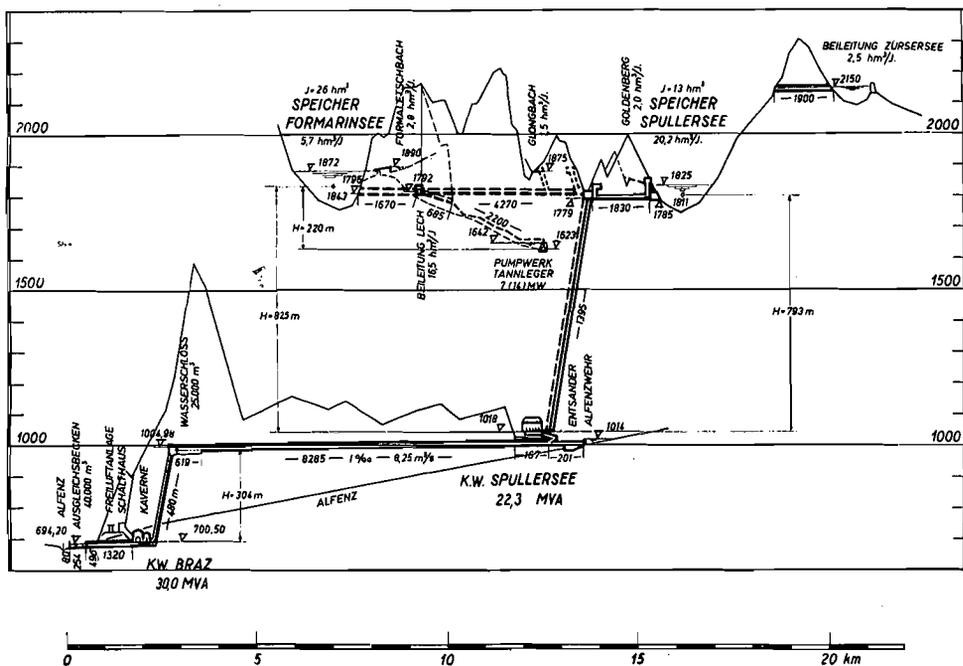


Bild 82: Längenschnitt der Alfenz-Werksgruppe der Österr. Bundesbahnen

vergnö (Maggia-Kraftwerke AG) ein, so gelangt man im Mittel zu Gebirgsanteilen von 45 bis 70%, also zu Rohranteilen von 30 bis 55%. Da demgegenüber der früher erwähnte Wert von 65% bei Vorliegen sehr günstiger Verhältnisse (große Überlagerungshöhe, guter geologischer Befund, geringe Auflockerung des Felsens durch die Sprengarbeiten, erstklassige Hinterbetonierung und Injizierung) als zu konservativ erscheint, hat die Wasserrechtsbehörde schon anlässlich der Bemessung der Panzerrohre für das Kavernenkraftwerk der Innstufe Prutz-Imst der TIWAG eine Erhöhung der zulässigen Spannungen zugestanden, indem sie

den Fall des Schnellschlusses aller drei Turbinen (der wegen des Fehlens von Druckreglern zu 50% dynamischer Drucksteigerung führt) nicht als regulären Betriebsfall wertete, und sie hat für die Rohrrohrleitung der Speicherstufe Reifheck und die Fallleitung des Lünseeerwerkes die zulässige Ringspannung der Panzerrohre bei gedachter Außerachtlassung der Gebirgsmitwirkung von 80 auf 100% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze erhöht. Bei der Beurteilung dieser bei sehr günstigen Verhältnissen zugelassenen Ringzugspannungen von 100% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze ist zu beachten, daß die zulässige Ringspannung für

Bild 83: Druckrohrleitung des Kraftwerkes Kaming der KELAG. VOEST-Linz

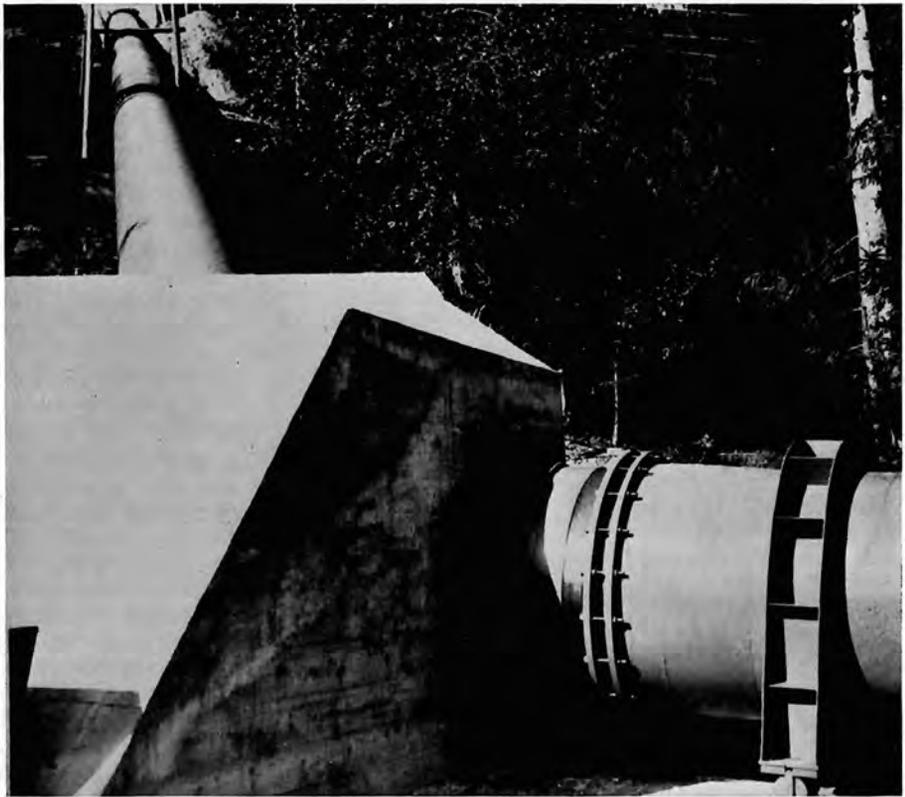


Bild 84: Druckrohrleitung des Kraftwerkes Rauris-Kitzloch der Salzburger Aluminium Gesellschaft. Waagner-Biró AG, Wien-Graz. Rechts der alte, genietete Strang



die Panzerung des Druckschachtes des Achen-see-Kraftwerkes schon vor drei Jahrzehnten bei einer Mindeststreckgrenze von 2200 kg/cm<sup>2</sup> mit 2000 kg/cm<sup>2</sup> (das ist 91% dieser Mindeststreckgrenze, wieder bezogen auf den gedachten Fall einer Nichtmitwirkung des Gebirges) festgelegt worden ist und daß diese Festlegung nicht nur durch die Meßergebnisse von Prof. Joye, sondern auch durch die zwischenzeitliche Bewährung gerechtfertigt worden ist. Die neue Regelung paßt sich auch gut den Werten an, die man bei den neuesten Druckschachtbauten in der Schweiz zulieft. Der Zusammenstellung 12, die ich der Gebrüder Sulzer AG verdanke, entnehmen wir, daß die in Österreich bei Vorliegen sehr günstiger Verhältnisse nunmehr gestaffelte Ringspannung von 100% der gewährleisteten Mindeststreckgrenze des Blechwerkstoffes (bei gedachter Außerachtlassung der Gebirgsmitwirkung) im Mittel den in dieser Zusammenstellung angeführten Werten entspricht. Am Rande sei vermerkt, daß es in der Schweiz auch zwei Druckschächte gibt, die hinsichtlich der Bemessung ihrer Panzerung als extrem kühn bezeichnet werden müssen. Es betrifft dies den Druck-

## Zusammenstellung 12

### Bemessung neuester schweizerischer Druckschachtpanzerungen (Gebrüder Sulzer AG, Winterthur):

1. Caveragno (Maggia-Kraftwerke AG, Locarno),  $p_B = 57,5$  kg/cm<sup>2</sup>,  $D_i = 2200$  mm,  $s = 30$  mm, Blechwerkstoff COLTUF 28 mit einer Mindeststreckgrenze von 26 kg/mm<sup>2</sup>; vorhandene Ringspannung bei Berücksichtigung von einem Millimeter Rostzuschlag  $\sigma = p_B \cdot r_i / (s - 0,1) = 57,5 \cdot 110 / 2,9 = 2180$  kg/cm<sup>2</sup>, das ist 84% der Mindeststreckgrenze.
2. Zervreila (Kraftwerke Zervreila AG, Vals),  $p_B = 73,7$  kg/cm<sup>2</sup>,  $D_i = 2100$  mm,  $s = 24$  mm, Blechwerkstoff UNION 36 mit einer Mindeststreckgrenze von 36 kg/mm<sup>2</sup>; vorhandene Ringspannung bei Berücksichtigung von 1 mm Rostzuschlag  $\sigma = 73,7 \cdot 105 / 2,3 = 3370$  kg/cm<sup>2</sup>, das ist 94% der Mindeststreckgrenze.
3. Verbano (Maggia-Kraftwerke AG),  $p_B = 31,0$  kg/cm<sup>2</sup>,  $D_i = 2850$  mm,  $s = 18$  mm, Blechwerkstoff ALDUR 41 mit einer Mindeststreckgrenze von 26 kg/mm<sup>2</sup>; vorhandene Ringspannung bei Berücksichtigung von 1 mm Rostzuschlag  $\sigma = 31,0 \cdot 142,5 / 1,7 = 2600$  kg/cm<sup>2</sup>, das ist 100% der Mindeststreckgrenze.
4. Lienne (Walliser Alpen),  $p_B = 93,7$  kg/cm<sup>2</sup>,  $D_i = 1600$  mm,  $s = 23$  mm, Blechwerkstoff COLTUF 32 mit einer Mindeststreckgrenze von 33 kg/mm<sup>2</sup>; vorhandene Ringspannung bei Berücksichtigung von 1 mm Rostzuschlag  $\sigma = 93,7 \cdot 80 / 2,2 = 3400$  kg/cm<sup>2</sup>, das ist 103% der Mindeststreckgrenze.
5. Peccia (Maggia-Kraftwerke AG),  $p_B = 47,1$  kg/cm<sup>2</sup>,  $D_i = 1800$  mm,  $s = 15$  mm, Blechwerkstoff COLTUF 28 mit einer Mindeststreckgrenze von 26 kg/mm<sup>2</sup>; vorhandene Ringspannung  $\sigma = 47,1 \cdot 90 / 1,4 = 3020$  kg/cm<sup>2</sup>, das ist 116% der Mindeststreckgrenze.
6. Fionnay (Grande Dixence S. A., Sion),  $p_B = 93,5$  kg/cm<sup>2</sup>,  $D_i = 2800$  mm,  $s = 33$  mm, Blechwerkstoff ALDUR 50 mit einer Mindeststreckgrenze von 34 kg/mm<sup>2</sup>; vorhandene Ringspannung  $\sigma = 93,5 \cdot 140 / 3,2 = 4090$  kg/cm<sup>2</sup>, das ist 120% der Mindeststreckgrenze.

schacht Innertkirchen, dessen Panzerung im Jahre 1940 mit amerikanischen Blechen ( $D_i = 2400$  mm,  $s = 20$  mm, Mindeststreckgrenze 2800 kg/cm<sup>2</sup>) ausgeführt worden ist und bei dem die Ringzugspannung — wenn man 1 mm Rostzuschlag berücksichtigt und den Betriebsdruck mit 73 atü einsetzt — den Wert  $73 \cdot 120 / 1,9 = 4600$  kg/cm<sup>2</sup>, also 165% der Streckgrenze annimmt; und dann betrifft es den Druckschacht der Kraftwerke Wassen AG, dessen Panzerung mit Kesselblech M I ( $D_i = 2400$  mm,  $s = 11$  mm, Mindeststreckgrenze 21 kg/mm<sup>2</sup>) ausgeführt worden ist und bei dem die Ringzugspannung — wenn man 1 mm Rostzuschlag berücksichtigt und den Betriebsdruck mit 33,4 atü einsetzt — den Wert  $33,4 \cdot 120 / 1,0 = 4000$  kg/cm<sup>2</sup>, also 190% der Streckgrenze annimmt.

Bei den Druckstollen und Druckschächten muß das Ausfüllen des Spaltes zwischen dem Panzerrohrmantel und dem Felsausbruch mit großer Sorgfalt erfolgen, damit das durch den Innendruck elastisch aufgeweitete Panzerrohr den rechnermäßig geforderten Widerstand im umhüllenden Gebirge findet. Bei Panzerrohren aus Blechwerkstoffen mit einer Streckgrenze von 40 kg/mm<sup>2</sup> (ALDUR 58, UNION 40) entstehen unter den zugelassenen Ringzugspannungen  $0,545 \cdot 4000 = 2180$  kg/cm<sup>2</sup> schon Umfangsdehnungen von mehr als einem Promille. Der umhüllende Beton vermag solch große Dehnungen nicht mitzumachen, da seine Bruchdehnung rund fünfmal kleiner ist; er wird durch radiale Haar-Risse fragmentiert, doch verhindert dies nicht die Druckübertragung, wenn die Betonkörper satt anliegen. Beim Druckschacht Limberg der Oberstufe Glockner-Kaprun hat man in der Steilstrecke die Hinterbetonierung erstmals nach dem Prepaktverfahren ausgeführt<sup>41)</sup>, bei dem bekanntlich vorerst das Kiesgerüst und dann erst der verkittende Mörtel eingebracht wird. Das Injizieren des Prepaktmörtels erfolgt vom Innern der neu angeschlossenen Rohre aus, so daß im Rohrmantel Injektionsöffnungen vorgesehen werden müssen; die einzelnen Rohre hatten beim Druckschacht Limberg eine Länge von rund 10 m. Auch für die Steilstrecke des Druckschachtes des Lünerseewerkes ist eine Hinterbetonierung nach dem Prepaktverfahren geplant; die einzelnen Rohre haben hier eine Länge von 20 m. Wird die Hinterbetonierung mit Pumpbeton ausgeführt, so muß hinterher mit Zementmörtel oder Zementmilch injiziert werden, um den saften Anschluß an das Gebirge und an den Rohrmantel sicherzustellen. Auch dies kann nur vom Innern des Panzerrohres geschehen, so daß auch hier Injektionslöcher notwendig sind. Das Verschließen der Löcher nach den Hinterpressungsarbeiten erfolgte zumeist mit Hilfe von Gewindepfropfen, die nach dem Einschrauben eine Dichtschweißung erhielten. Sowohl das Gewinde (als innere Kerbe im hochbeanspruchten Rohr) als auch die Dichtschweißung (mit ihrem Eigenspannungsfeld) sind unwillkommene Begleiterscheinungen des Hinterpressens. Um das Dichtschweißen zu vermeiden, hat die Waagner-Biró AG im Jahre 1953 bei den Druckschächten des Jam-Dükers (zweiter Bauabschnitt der Bachüberleitungen nach Vermunt der VIW) die Gewindepfropfen mit Dichtungsscheiben aus Klingerit vorgesehen, unter Verwendung von Klebezement eingeschraubt und durch einen Körnerschlag fixiert. Die VOEST hat für die Panzerrohre einen Gewindepfropfen konstruiert, bei dem die Dichtschweißung



Bild 85: Druckschacht Limberg der Oberstufe Glockner-Kaprun der TKW. Zubringen der Panzerrohre am oberen Ende des Druckschachtes, links der Wagen zum Ablassen der Panzerrohre. Wagner-Biró AG, Wien-Graz

durch eine Rundgummidichtung ersetzt wird. Die Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange in Gelsenkirchen, baut konische Gewindeproppen, die unter Verwendung von Epple-Kitt fest eingeschraubt werden können und keiner Dichtschweißung bedürfen. Bei der Falleitung des Lünenseewerkes werden die beiden letztgenannten Injektionsverschlüsse zur Verwendung gelangen. Die Panzerung der Flachstrecke des Druckschachtes des Lünenseewerkes weist Bleche aus dem hochfesten Stahl ALDUR 58 in großen Dicken auf, so daß es ratsam schien, nicht nur die Dichtschweißung, sondern auch die Kerbwirkung zufolge des Gewindes zu vermeiden. Man wählte hier das Felsausbruchsprofil so groß, daß die Hinterbetonierung mit erstklassigem Rüttelbeton durchgeführt werden kann, so daß sich ein Hinterpressen erübrigt. Nur im Bereich der schlechteren Felsbeschaffenheit kommt es primär zur Ausführung einer Betonauskleidung des Stollens und eines Hinterpressens dieser Auskleidung; es verbleibt aber auch hier noch eine ausreichende Spaltbreite zur einwandfreien Rüttelung des Betons zwischen dem Rohrmantel und der injizierten Auskleidung.

In der eben erwähnten Flachstrecke des Druckschachtes des Lünenseewerkes wurde im Hinblick auf den hochfesten Werkstoff ALDUR 58 und die großen Wanddicken darauf Wert gelegt, die Schweißung der Montagerundnähte (die beim Einschleiben 20 m langer Rohre alle 20 m erforderlich wird) von innen und außen zu ermöglichen. Es wurden daher besondere Schweiß-Nischen an diesen Stellen ausgeschossen und durch einen an der Firste angeordneten Kriechgang verbunden. Auch die Isotopenprüfung der Montagerundnaht (mit dem Isotop in der Mitte des Panzerrohres und der Filmkassette außen am Rohrmantel) und ihre Glühung (mit dem Innenglühofen und mit der Asbestmatratze außen) kann hier bequem erfolgen. Bei den Panzerrohren der Steilstrecke ist dieses Über-

profil nicht vorhanden und daher müssen die Montagerundnähte (auch hier werden 20 m lange Rohre verwendet) von innen gegen eine Bandage geschweißt werden. Die Breite des coaxialen Spaltes zwischen dem Rohrmantel und dem Felsausbruch sinkt hier in Bereichen standfesten Gebirges bis auf 15 cm ab. In Bereichen druckhaften Gebirges ist ein stählerner Einbau der Österreichisch-Alpine Montangesellschaft vorgesehen, der in der Hinterbetonierung verloren bleibt; die Breite des coaxialen Spaltes ist hier im Mittel 40 cm, wird aber durch diesen Einbau stellenweise eingengt. Um die Filmkassette in diesem engen, 20 m langen Spalt an die gewünschte Stelle der Montagerundnaht zu bringen und dort anzupres-

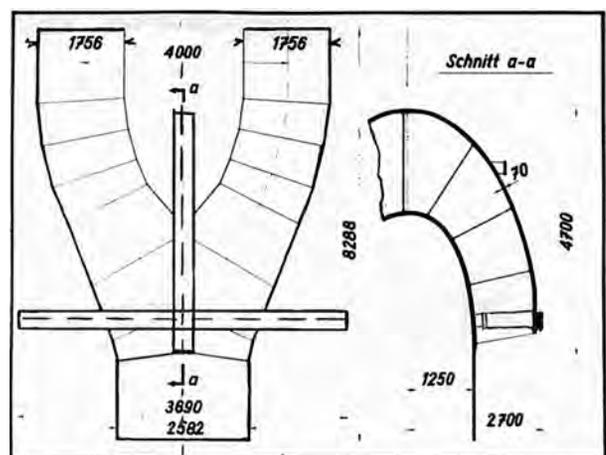


Bild 86: Hosenrohr in der Flachstrecke des Druckschachtes Limberg der Oberstufe Glockner-Kaprun. Schematische Zeichnung mit dem angeschweißten Bügel (Nahträger) und dem freien Ring. VOEST-Linz

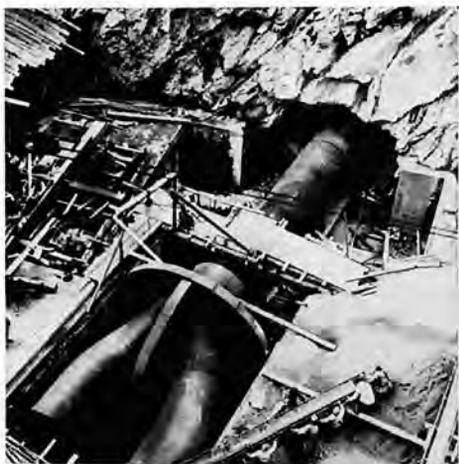
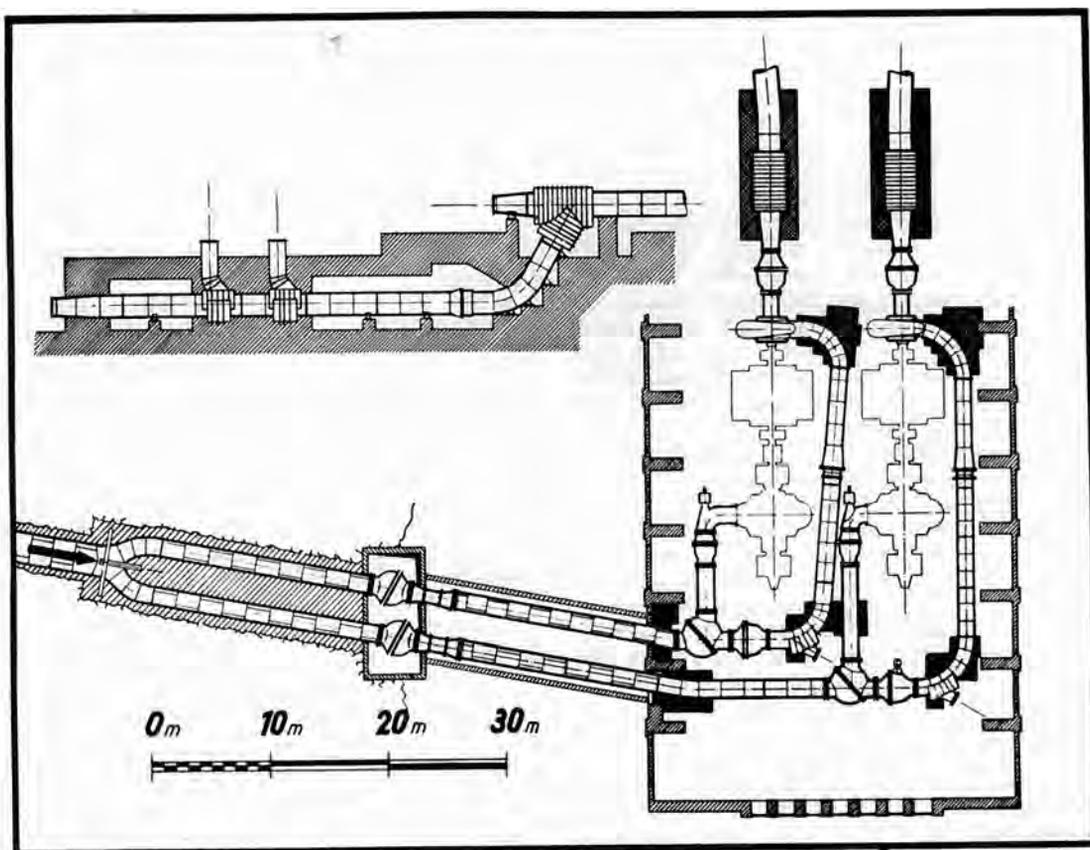


Bild 87: Hosenrohr wie in Bild 86, Montageschweißungen außerhalb des Stollens. VOEST-Linz

Bild 88: Verteilrohrleitung des Krafthauses Limberg der Oberstufe Glockner-Kaprun. Im Bild links oben der Längenschnitt der Turbinenauslauf- und Pumpenzulaufleitung, rechts oben der Anschluß an die beiden Durchführungsrohre Bild 75. Im Lageplan erkennt man links unten das Hosenrohr, Bild 86, an seiner Einbaustelle, dann die beiden Kugelschieber und im weiteren die beiden Kugelabzweigstücke mit den Abzweigen der Speicherpumpenleitungen (Hochdruckseite). In diesen Pumpenabzweigen sind „druckausgeglichene“ Stopfbüchsen-Dehnstücke eingeschaltet. VOEST-Linz und Waagner-Biró AG, Wien-Graz



sen, mußte von der Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange in Gelsenkirchen, ein besonderer „Röntgenwagen“ entworfen, gebaut und erprobt werden (Bild 109).

Die Panzerung des Panzerstollens Grüneck wird im Hinblick auf die geringe Überlagerung ohne Gebirgsmitwirkung, also wie eine freie Druckrohrleitung bemessen. Der Stollen erhält eine Betonauskleidung, so daß zwischen dem Panzerrohrmantel und der Auskleidung ein coaxialer Spalt von 11 cm Breite entsteht. Die Rohre sind 10 m lang und weisen Injektionslöcher auf, durch die ein Prepakt-Mörtel zur Ausfüllung dieses Spaltes eingebracht wird. Die Löcher werden mit den erwähnten, von der VOEST entwickelten Injektionsverschlüssen ohne Dichtschweißung verschlossen.

Die Wasserdruckprobe mit dem 1,3-fachen Betriebsdruck als Prüfdruck hat — da sie in erster Linie eine Dichtheitsprobe für die Längsnaht darstellt — bei den dickwandigen Rohren und Krümmern der Flachstrecke und der Verteilrohrleitung des Lünerseewerkes ihren Sinn verloren. Die Wasserrechtsbehörde hat hier daher nur für die Abzweigstücke (mit ihren aufgepaßten Sulzerkragen als Nahträger) eine Wasserdruckprobe vorgeschrieben und verlangt, daß bei dieser Probe Dehnungsmessungen durchgeführt werden — mit dem Nachweis, daß unter dem Prüfdruck auch an den Spannungshäufungsstellen die Streckgrenze nicht erreicht wird. Was die Prüfung der Schweißnähte anbelangt, ist bei der Falleitung des Lünerseewerkes und auch beim Saloniendücker eine hundertprozentige, also die gesamte Nahtlänge umfassende Ultraschallprüfung<sup>62)</sup> und zusätzlich eine Prüfung mit „gezielten“ (also nicht

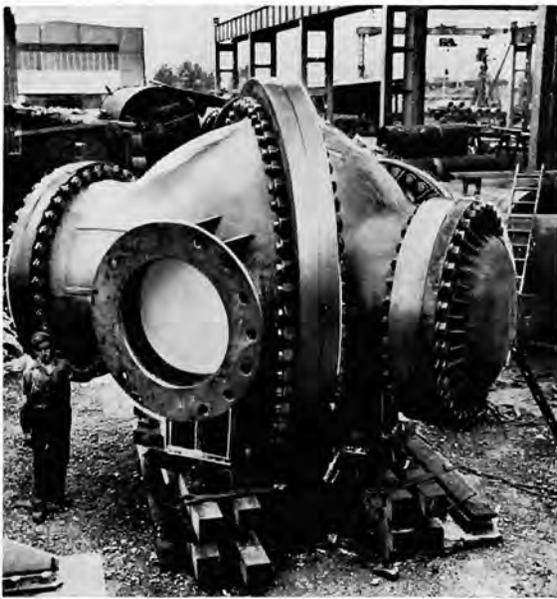


Bild 89: Kugelabzweigstück aus Stahlguß, wie in Bild 88 dargestellt. VOEST-Linz

stichprobenweisen, sondern auf Grund der Ergebnisse der Ultraschallprüfung vom Abnahmebeamten festgelegt) Röntgen- oder Isotopenaufnahmen gefordert worden, wobei das Ausmaß der letzteren in der Regel 10 bis 20% der gesamten Nahtlänge umfaßt. Die Anforderungen, die an den Blechwerkstoff gestellt werden, gehen bei den aus ALDUR 58 bestehenden Flachstrecken und Verteilrohrleitungen des Lünseeerwerkes und des Reifeckerwerkes im Hinblick auf die großen Wanddicken über die Lieferbedingungen der VOEST noch hinaus. Es wurden für den Blechwerkstoff dieser „Rekord-Strecken“ ausnahmsweise besondere Lieferbedingungen vereinbart, die Zuschärfungen hinsichtlich des Nachweises der Alterungskerbzähigkeit und der Mindestbiegewinkel im Aufschweißbiegeversuch enthalten. Es ist demnach bei diesen beiden Leitungen im Rahmen gemeinsamer und einvernehmlicher Absprachen des Bauherrn,

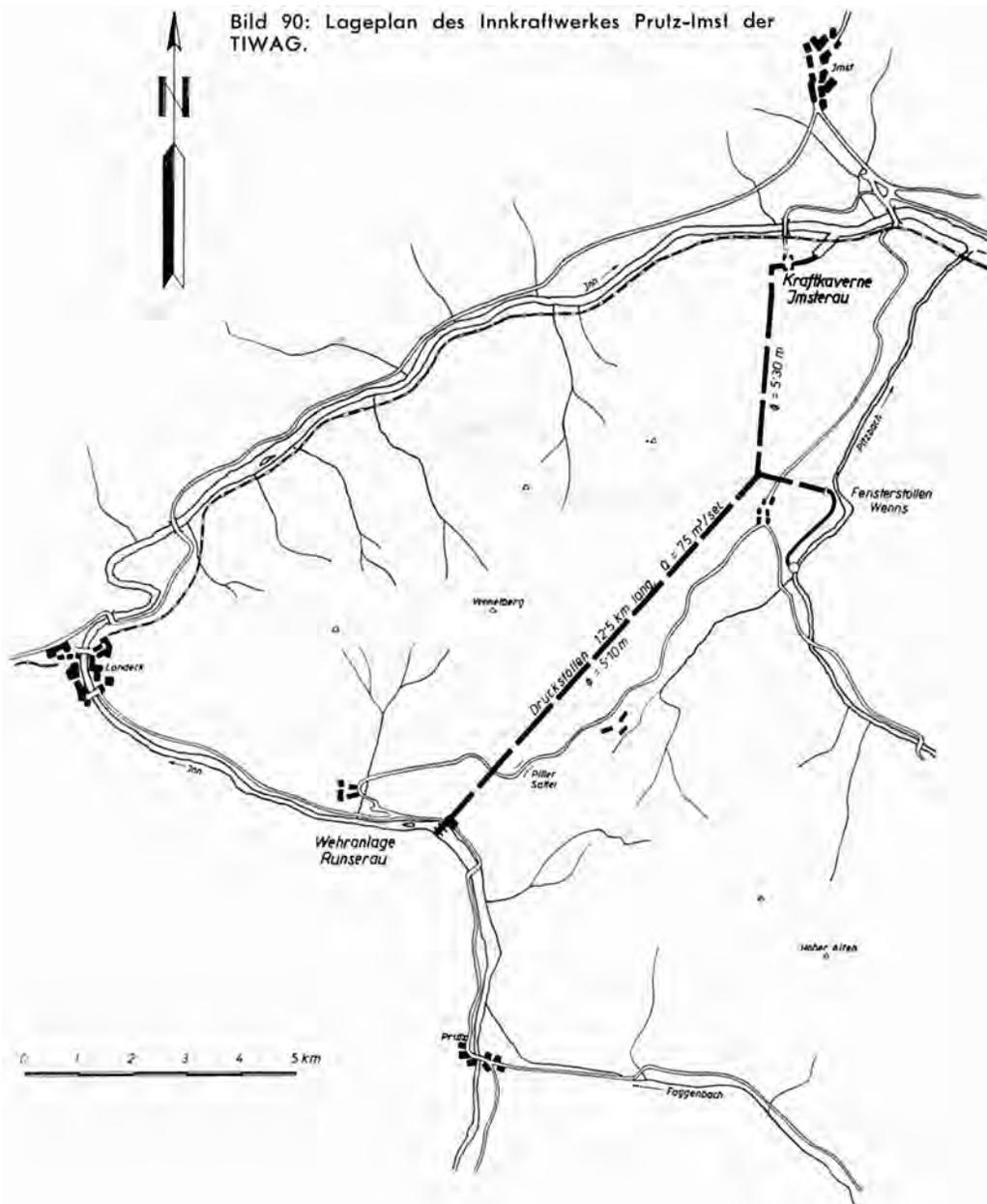


Bild 91: Längenschnitt des Druckschachtes des Innkraftwerkes Prutz-Imst der TIWAG.

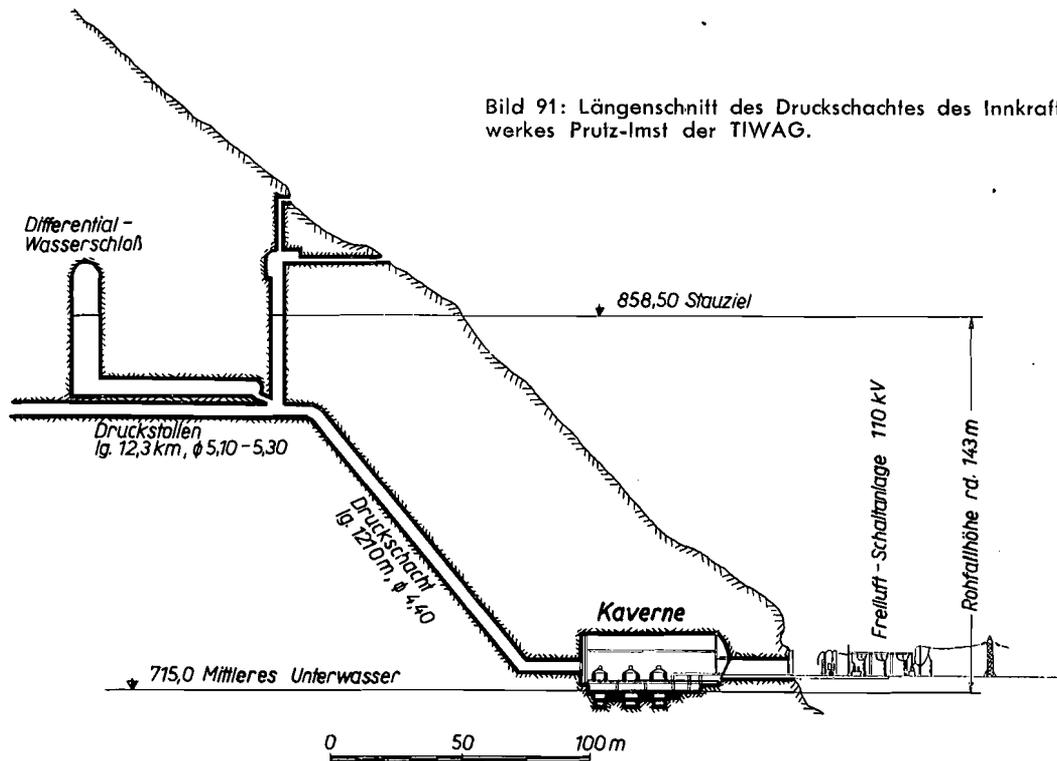


Bild 92: Lageplan des Salzachkraftwerkes Schwarzach der TKW.

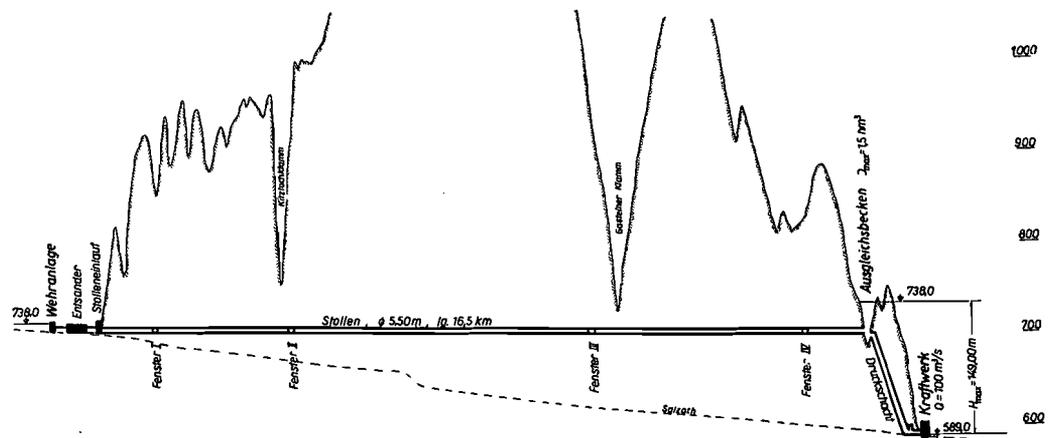
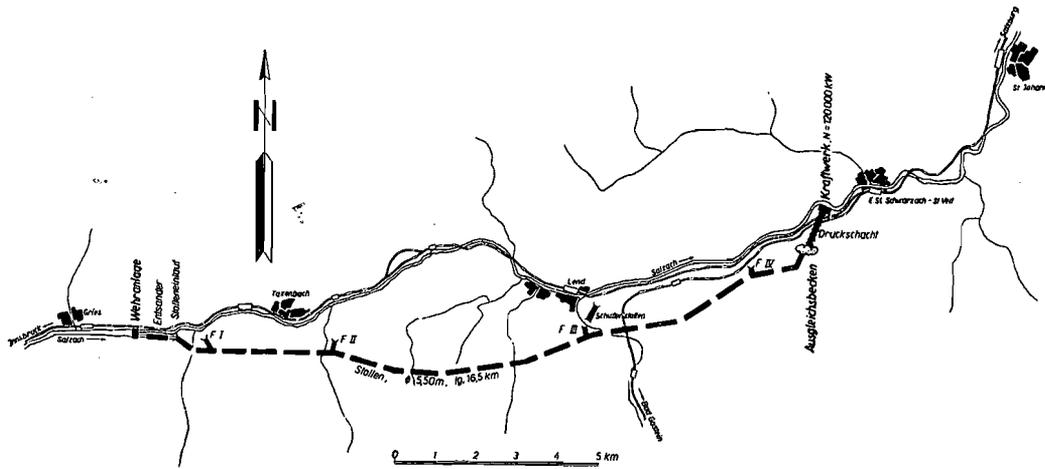


Bild 93: Längenschnitt des Salzachkraftwerkes Schwarzach der TKW.

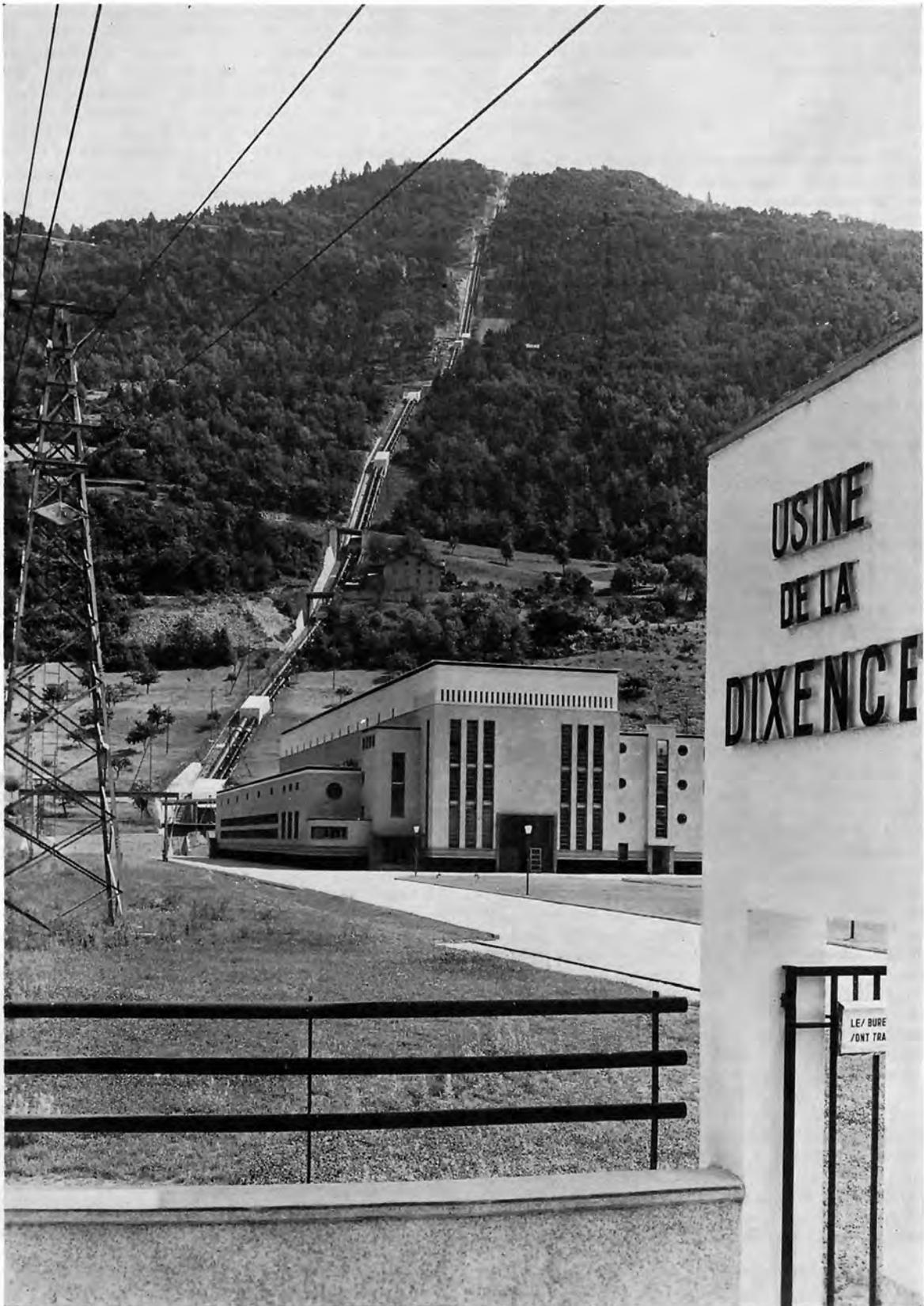


Bild 94: Kraftwerk Dixence-Chandoline der S. A. La Dixence, Walliser Alpen, Schweiz. Blick auf den untersten Teil der Druckrohrleitung und das Krafthaus. Soc. TUBITOGNI, Brescia

der Lieferfirmen und der Behörden alles vorgesorgt worden, um den Sicherheits-Anforderungen voll zu entsprechen und die Bewährung im Betrieb zu gewährleisten.

## 12.

Bei der Bemessung der Panzerrohre für Druckstollen und Druckschächte ist auch darauf Rücksicht zu nehmen, daß in Reparaturfällen (nach dem Entleeren) das Kluffwasser des umgebenden Gebirges auf den Rohrmantel drückt und diesen einbeulen kann. Derlei ist im Ausland schon geschehen, und man hat es in ähnlicher Weise auch schon bei den Herstellungsarbeiten erlebt, wenn das Panzerrohr mit großen Injektionsdrücken hinterpreßt wurde und nicht ausreichend ausgesteift worden war. Wir haben schon dargelegt, daß die bei der Inbetriebnahme des Druckschachtes oder Druckstollens durch den Innendruck bewirkte elastische Aufweitung des Panzerrohres — bei Rohren aus hochfesten Blechwerkstoffen gibt es Umfangsdehnungen von rund 1 Promille — zur Ribfbildung im Hinterfüllungsbeton führt und daß daher das Gebirgswasser bis zum Rohrmantel vorzudringen vermag. Wenn diese elastische Aufweitung beim Entleeren rückgängig gemacht wird, kommt es zur Bildung eines feinen koaxialen Spaltes zwischen dem Rohrmantel und dem Beton, weil der Beton während der vorangegangenen Innendruckbelastung eine plastische Zusammendrückung durch das Kriechen erfahren hat und weil wir auch mit dem Schwinden und mit Temperaturwirkungen zu rechnen haben. Es ist ja eine grundsätzliche Eigenheit der gepanzerten Druckschächte und Druckstollen, daß man hier den Stahl (der bis über seine Betriebsspannungen hinaus dem Hooke'schen Gesetze folgt und daher eine gerade Spannungs-Dehnungs-Linie besitzt) mit dem Beton und dem Gebirge (die schon bei geringen Spannungen vom Hooke'schen Gesetz abweichen und eine krumme Arbeitslinie besitzen) zu gemeinsamer Wirkung zusammenspannt und daß man daher nicht mit einem rein elastischen Atmen des Stranges rechnen darf. Die Breite des entstehenden Spaltes ist sehr gering — etwa von der Größenordnung eines halben Millimeters — doch hat man beispielsweise bei der Panzerung eines Stollens der schon erwähnten Anlage Roselend, wie U. Bellometti auf Seite 146 seines Buches<sup>31)</sup> angibt, Spaltbreiten von 4 mm festgestellt. Wir müssen daher damit rechnen, daß das Gebirgswasser beim Entleeren des Stollens oder Schachtes den Rohrmantel einem hydrostatischen Außen-Druck unterwirft, der große Bereiche des Mantels umfassen und gegebenenfalls auch gleichmäßig über den ganzen Rohrumfang verteilt sein kann. Vom elastostatischen Standpunkt beurteilt, eröffnen sich hier Spannungsprobleme der Theorie zweiter Ordnung ebenso wie auch Verzweigungsprobleme und Durchschlagprobleme.

Um den Außendruck zu verringern, baut man Drainagen längs der Panzerrohrtrasse ein. Sind solche Drainagen nicht bekriechbar, so muß damit gerechnet werden, daß sie im Laufe der Jahre ver-klausen oder versintern; wenn sich eine solche Verstopfung am unteren Ende der Drainage ergibt und dann der Drainagekanal bis hinauf mit Gebirgswasser aufgefüllt wird, können Außendrucke recht unerwünschten Ausmaßes an den Pan-

zerrohrmantel herangetragen werden. Um dieses Gefahrenmoment auszuschalten, baut man die Drainagen mitunter mit so großen Profilen, daß sie bekriechbar oder gar befahrbar werden. Beispiele hierfür sind die schon erwähnten Druckschächte von Gerlos,<sup>22)</sup> Brevières,<sup>23)</sup> Santa Massenza<sup>24)</sup> und Kemanó.<sup>32)</sup> Nach den Schadensfällen Gerlos machte sich in Österreich der Wunsch bemerkbar, von bekriechbaren Drainagen abzusehen und das Panzerrohr so auszubilden, daß es dem Außenwasserdruck standzuhalten vermag. Bei Stollen und Schächten mit großen Innendrucken ergeben sich große Wanddicken, die zumeist allein schon ausreichen, um die Einbeulsicherheit zu gewährleisten. Ist dies nicht der Fall, so muß man das Panzerrohr im Hinterfüllungsbeton verankern oder Aussteifungsringe anschweißen. Solche Aussteifungsringe liegen aus strömungstechnischen Gründen auf der Außenseite des Panzerrohres; nur bei den Wasserschloßpanzerungen großen Durchmessers — vor allem bei den Schachtwasserschloßern — wird man die Versteifungsringe auf die Innenseite legen können, wie dies in Österreich erstmals von der NEWAG bei Dobra-Krumau (Bild 80) ausgeführt worden ist.

Zur Beurteilung der Frage, ob besondere Aussteifungen notwendig sind, und zur Bemessung dieser Aussteifungen oder Verankerungen des Panzerrohres ist die Kenntnis des kritischen Außendruckes erforderlich. Da sich dieser Wert, wie wir schon erwähnten, als Lösung eines Verzweigungsproblems oder eines Durchschlagproblems oder eines Spannungsproblems der Theorie zweiter Ordnung (Berücksichtigung des Einflusses der Deformation auf das Kräftefeld) ergeben kann, bestehen hier einige Schwierigkeiten. Setzen wir voraus, daß der Gebirgswasserdruck über den ganzen Umfang des Panzerrohres gleichmäßig verteilt ist, so erscheint es naheliegend, bei glatten Rohren die seit siebzig Jahren bekannte Lösung von Lévy<sup>63)</sup> und bei Panzerrohren mit aufgeschweißten Ringen die Lösung von Sanden-Tölke<sup>64)</sup> anzuwenden — und in jenen Fällen, in denen das versteifte Rohr als elastisch-orthotrope Kreiszyinderschale aufgefaßt und die Exzentrizität des Ringquerschnittes beachtet werden muß, auf die einschlägige Theorie von Flügge<sup>65)</sup> zurückzugreifen.

Alle diese Untersuchungen wären wirklichkeitsnahe, wenn der koaxiale Spalt zwischen dem Rohrmantel und dem Hinterfüllungsbeton nicht gar so schmal wäre. Denn nach Überwindung der geringen Spaltbreite legt sich das einbeulende Rohr an den umhüllenden Beton an und vermag im weiteren nur mehr Radialverschiebungen nach innen auszuführen; dieser kinematische Zwang führt zu einer erheblichen Steigerung des Beulwiderstandes unmittelbar nach Beginn der Ausweicherscheinung. Zur Klarstellung des Verhaltens war schon im Zuge der Entwurfsarbeiten für den Druckschacht Limberg der Oberstufe Glockner-Kaprun die Durchführung eines Modellversuches in Graz geplant worden, bei welchem das umhüllende, den Außenwasserzutritt gestattende Gebirge durch ein über das Versuchsrohr geschobenes perforiertes Rohr ersetzt werden sollte. Zur Durchführung dieses Versuches ist es nicht gekommen, doch hat die Gebrüder Sulzer AG in Winterthur bald darauf (un-

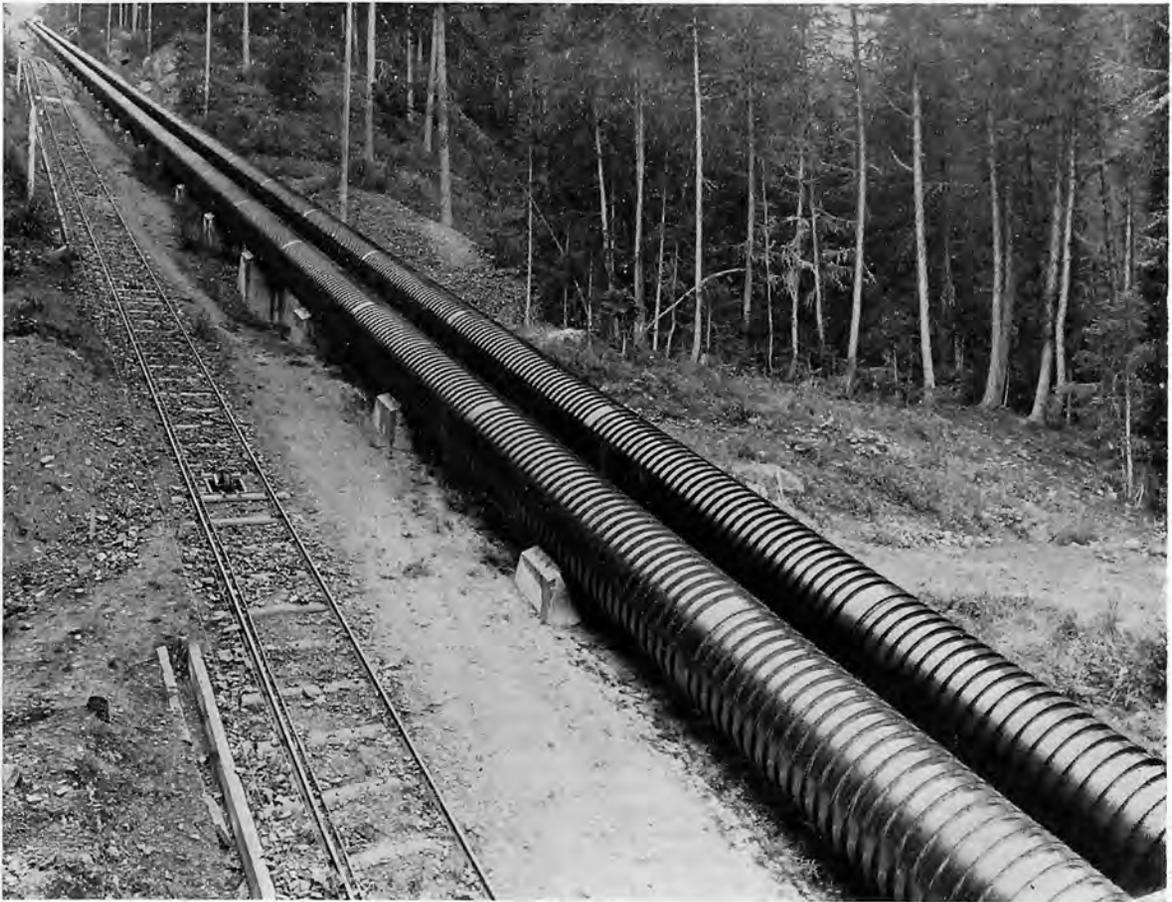
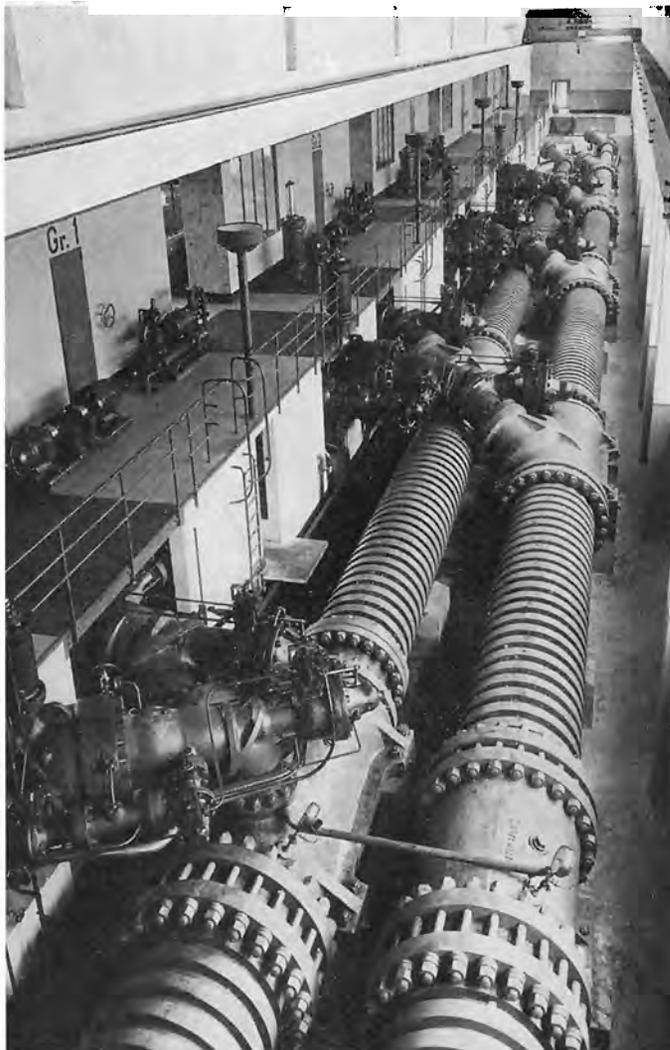


Bild 95: Kraftwerk Dixence-Chandoline wie in Bild 94, Blick auf die beiden Rohrstränge mit bandagierten Rohren. Soc. TUBITOGNI, Brescia



abhängig von Limberg) einen Modellversuch durchgeführt, der in seiner Wirklichkeitstreue noch weiterging als der geplante Grazer Versuch. Zwischen dem Versuchsrohr und dem Überschubrohr wurde hier noch der Hinterfüllungs-beton angeordnet und das Versuchsrohr wurde vorerst einem großen Innendruck ausgesetzt, um den Hinterfüllungs-beton zu fragmentieren und zum Kriechen zu bringen. Erst dann wurde der Innendruck durch den Außenwasserdruck ersetzt und seine Verteilung über den Rohrmantel an 40 Manometern verfolgt. Es zeigte sich, daß sich der Beton unter der keilenden Wirkung des Druckwassers vom Rohrmantel ablöst und daß dieser Außendruck schließlich längs des ganzen Rohrumfanges zur Geltung gelangt; es kommt zur Ausbildung vielwelligiger Beulfiguren, die den ganzen Rohrumfang umfassen.<sup>69)</sup> Die Gebrüder Sulzer AG hat dann im Jahre 1953 noch Außendruckversuche im Druckschacht Oberaar und 1955 im Versuchsstollen Motec durchgeführt und ist hierbei zu grundsätzlich gleichen Ergebnissen gelangt, so daß eine Gebrauchsformel zur Vorberechnung des kritischen Außendruckes entwickelt werden konnte. Unabhängig

Bild 96: Kraftwerk Dixence-Chandoline wie in Bild 94. Blick auf die Verteilrohrleitung mit bandagierten Rohren und mit Formstücken aus Stahlguß

Bild 97: Blick auf die Druckrohrleitung der Laufwerkstufe Reifack der ÖDK, mit den Festpunktblöcken, die auch die Druckrohrleitung der Speicherstufe aufnehmen; VOEST-Linz. In den Blöcken sind die Stahlgußkrümmer der Speicherstufenleitung schon einbetoniert und man erkennt die anschließenden geraden Rohrstücke mit den Bandagen. (A. T. B., già TUBITOGNI, Brescia).

von diesen Versuchen und auch unabhängig von den Druckschächten der Wasserkraftanlagen hat Heinz Link<sup>67)</sup> (im Zusammenhang mit dem stählernen Ausbau von Bergwerksschächten in wasserführenden Deckgebirgsschichten) eine rationelle Stabilitätstheoretische Lösung des vorliegenden Ausweichproblems gefunden.

Nimmt man an, daß der Außenwasserdruck nur auf einer örtlich begrenzten Fläche des Panzerrohrmantels, also nicht über den ganzen Umfang wirksam ist, so liegt ein Spannungsproblem der Theorie zweiter Ordnung vor, das von schweizerischen Autoren untersucht worden ist.<sup>68)</sup> Bei großen Durchmessern und kleinen Blechdicken, wie sie bei den Panzerstollen und Panzerschächten von **Mitteldruckanlagen** vorkommen, pflegt man das Einbeulen durch eine Rückverankerung des Bleches in den Hinterfüllungsbeton zu verhindern. Man braucht dann radiale Anker, die am Rohrmantel aufgeschweißt werden und die so auszubilden sind, daß die Schweißverbindung ausreichend zugfest ist (Bild 79); diese Anker müssen so dicht angeordnet sein, daß ein Durchschlagen des flachgekrümmten, dünnen Bleches zwischen den Ankeren ausgeschlossen ist. Auch bei der Lösung dieser Aufgabe wäre auf den kinematischen Zwang durch die einseitige Begrenzung der Formänderung Rücksicht zu nehmen.<sup>69)</sup>

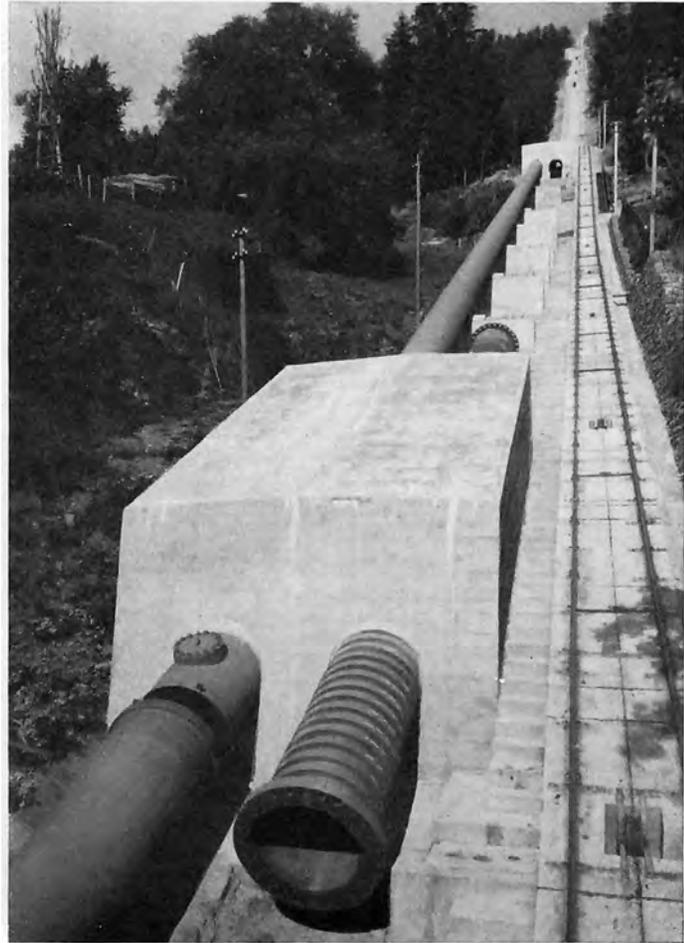


Bild 98: Bandagierte Rohre auf dem Lagerplatz für das Kraftwerk Mucone I der Soc. Meridionale di Elettr., Napoli. Ausführung Soc. TERNI, Terni



Bild 99: Stahlgußkugel-Abzweigstück der Verteilrohrleitung Avise der Soc. Idroelett. Piemonte; statische Druckhöhe 1037 m. Soc. TERNI, Terni

Mit diesen Ausführungen bin ich am Ende meines Referates angelangt. Ich schließe mit der Bitte, die vielen technischen Einzelheiten, mit denen ich Ihre Geduld ungebührlich in Anspruch nahm, rasch wieder zu vergessen und nur das schöne Bild 110 in Erinnerung zu behalten. Es zeigt eine österreichische Druckrohrleitung in der österreichischen Alpenlandschaft — im obersten Paznauntal, wo die Rentiere leben.

Obiger Vortrag wurde mit Unterstützung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft — Staubeckenkommission — und des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes Wien gedruckt.

Bild 100: Stahlgußkugel-Hosenrohr der Falleitung Muccone II der Soc. Meridionale di Eleltr., Napoli. Soc. TERNI, Terni

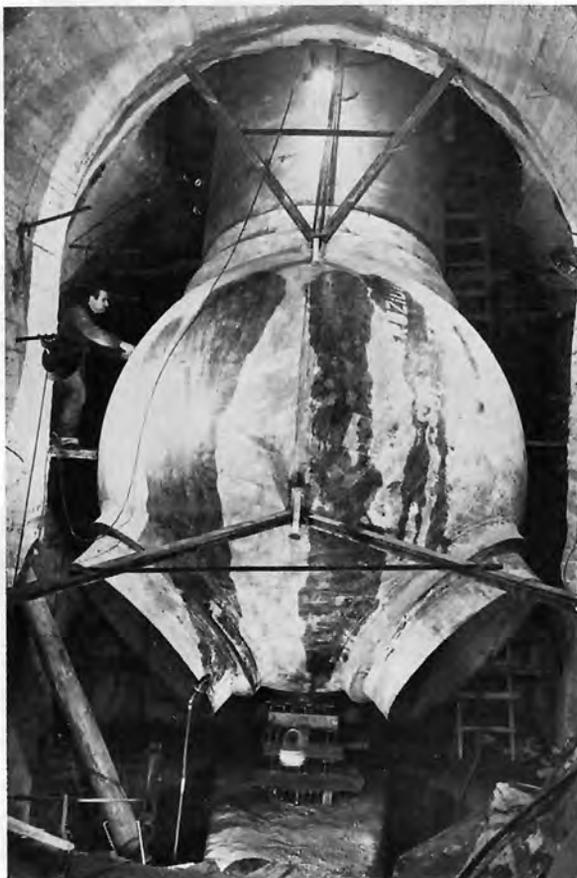


Bild 101: Viertes (im vorübergehenden Bauzustand letztes) Abzweigstück der Verteilrohrleitung des Kraftwerkes Fionnay, Grande Dixence, Walliser Alpen. Schweißen des 200 mm dicken Kragens aus ALDUR 58, schmale Tulpennah. Das Hauptrohr mit  $D_i = 2430$  mm und  $s = 58$  mm (gleichfalls aus ALDUR 58) wird provisorisch verschlossen. Gebrüder Sulzer AG, Winterthur





Bild 102: Druckrohrleitung Cap de Long des Kraftwerkes Pragnères (Hautes Pyrénées, Frankreich). S. D. E. M., Grenoble

# LÜNERSEEWERK LAGEPLAN 1:5000

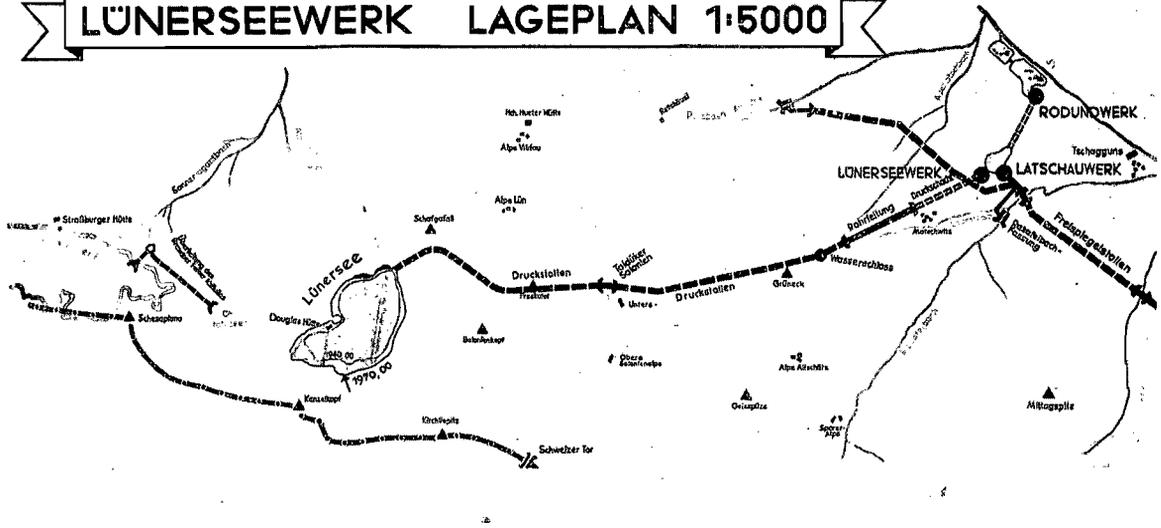
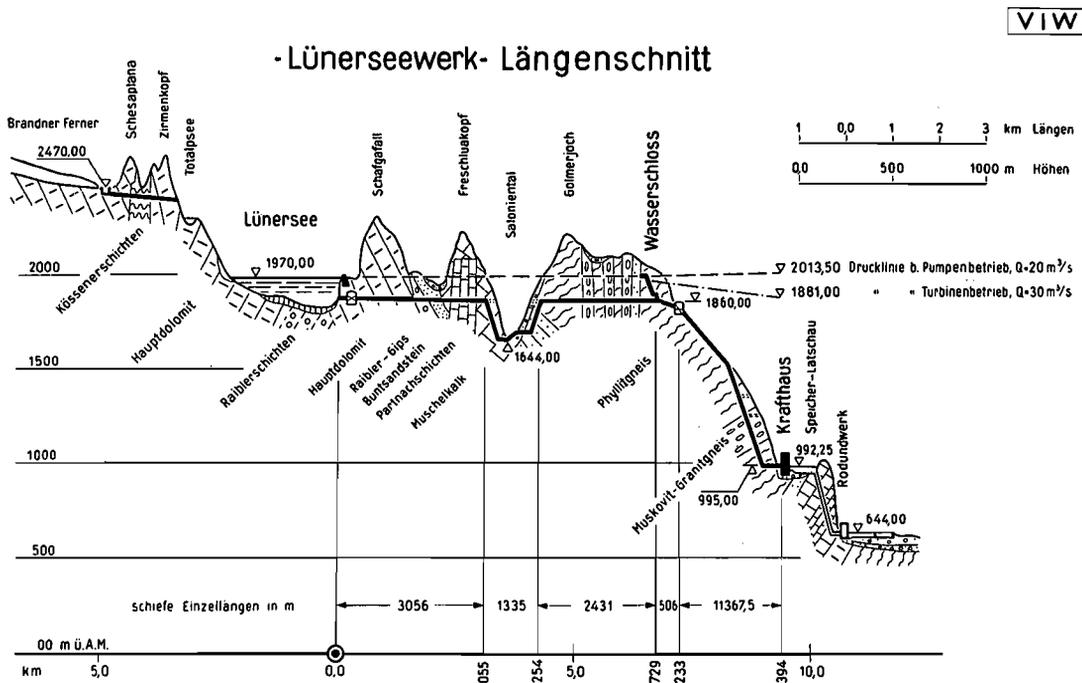


Bild 103: Lageplan des Lünerseewerkes der VIW.

Bild 104: Längenschnitt der Triebwasserleitung des Lünerseewerkes der VIW.



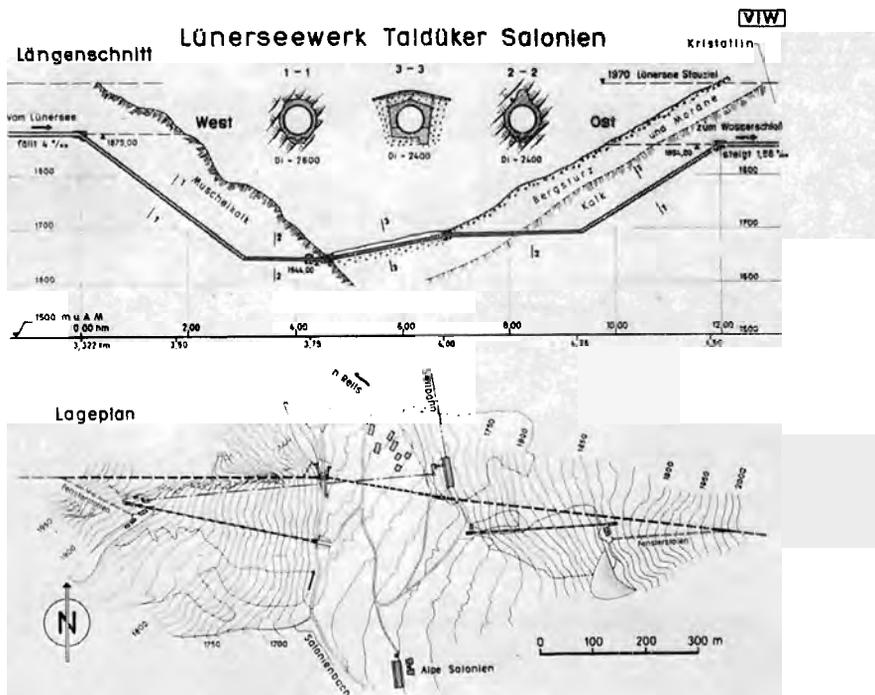


Bild 105: Taldüker Salonten der Triebwasserleitung des Lünarseewerkes der VIW, Längenschnitt und Lageplan

### Anmerkungen und Schriftumshinweise

- 1) A. Hruschka: Die Berechnung von Druckrohrleitungen. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1922, S. 533. — A. Hruschka: Druckrohrleitungen der Wasserkraftwerke. Verlag von Julius Springer, Wien und Berlin 1929.
- 2) Als Kurzbezeichnung der Eigentümer von Druckrohrleitungen sei angeführt:  
 TKW, Tauernkraftwerke AG, Zell am See und Salzburg.  
 ÖDK, Österreichische Draukraftwerke AG, Klagenfurt.  
 VIW, Vorarlberger Jllwerke AG, Bregenz.  
 NEWAG, Niederösterreichische Elektrizitätswerke AG, Wien.  
 OKA, Oberösterreichische Kraftwerke AG, Linz.  
 SAFE, Salzburger AG für Elektrizitätswirtschaft, Salzburg.  
 STEWEAG, Steirische Wasserkraft- und Elektrizitäts-AG, Graz.  
 TIWAG, Tiroler Wasserkraftwerke AG, Innsbruck.  
 KELAG, Kärntner Elektrizitäts AG, Klagenfurt.  
 VKW, Vorarlberger Kraftwerke AG, Bregenz.  
 ÖBB, Österreichische Bundesbahnen, Generaldirektion, Elektrifizierungsamt Wien.  
 Von Firmen werden im weiteren u. a. genannt:  
 VÖEST, Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG, Linz.  
 Waagner-Biró AG, Wien-Graz.  
 Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur.  
 Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange, Gelsenkirchen.  
 A. T. B., Acciaieria e Tubificio di Brescia, già TUBITOGNI, Brescia.  
 TERNI, Società per l'Industria e l'Elettricità, Terni-Rom.  
 COFOR, Società Condolte Forzate, Milano.  
 S. D. E. M., Société Dauphinoise d'Études et de Montages, Grenoble.  
 E. B. V., Établissements Bouchayer et Viallet, Grenoble.  
 Mannesmannröhren-Werke Hückingen.  
 Deutsche Röhrenwerke AG, Düsseldorf, Werk Thyssen, Mülheim/Ruhr (später: Rheinrohr, Rheinische Röhrenwerke AG, Mülheim/Ruhr).

Mannesmann-Rohrleitungsbau AG, Düsseldorf.

- Im Laufe der Jahrzehnte haben einzelne Anlagen den Eigentümer gewechselt und bei den Eigentümern wie bei den Firmen gab es mitunter Änderungen der Bezeichnung. Wir geben im weiteren die derzeitigen Eigentümer der Anlagen an und nennen die Firmennamen, wie sie zur Zeit der Herstellung der Druckrohrleitung Geltung hatten.
- 3) Vgl. F. Baumann: Die wasserwirtschaftlichen Amtsgutachten. „Österreichische Wasserwirtschaft“ 1953, S. 237.
  - 4) O. Vas: Grundlagen und Entwicklung der Energiewirtschaft Österreichs. Verlag von Julius Springer, Wien 1930. Ergänzungsband 1930 bis 1933, Wien 1933.
  - 5) O. Vas: Wege und Ziele der österreichischen Elektrizitätswirtschaft. Springer-Verlag, Wien 1952. Vgl. auch die vom Bundesministerium für Verkehr und verstaatlichte Betriebe herausgegebene Druckschrift „Österreichs Energiebauten 1954—1955“, ferner O. Vas: Wasserkraft- und Elektrizitätswirtschaft in der Zweiten Republik. „Schriftenreihe des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes“, Heft 30 (erscheint anfangs 1956), sowie die anfangs 1956 erscheinende Festschrift „Zehn Jahre Energieausbau in Österreich“.
  - 6) R. Steiner: Die Wasserkraftwirtschaft in Tirol. „Österreichische Wasserwirtschaft“ 1955, S. 190.
  - 7) Die Sillwerke der Stadt Innsbruck. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ 1922, S. 183.
  - 8) Vgl. A. Hruschka: Das vergrößerte Ruetzkraftwerk. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1925, S. 1.
  - 9) Wir kennzeichnen die Druckrohrleitungen im weiteren durch die Angabe der größten statischen Druckhöhe  $H_s$ , des Innendurchmessers  $D_i$  und der Wanddicke  $s$ . Den Wert  $H_s$  messen wir vom tiefsten Achsenpunkt des Rohrstranges (vor der Verteilrohrleitung) lotrecht hinauf bis zum Betriebsstauziel des Speichers oder bis zum höchsten Wasserspiegel bei Werkstillstand und fehlender Hochwasserüberströmung; die Überströmungshöhe des Hochwasserüberfalles wird somit ebensowenig einbezogen wie der Schwall im Wasserschloß. Von der größten statischen Druckhöhe  $H_s$  ist demnach die größte quasistatische Druckhöhe (bei höchstem Schwall im Wasserschloß) sowie auch die Bemessungsdruckhöhe des Betriebs-

Lünerseewerk - Falleitung

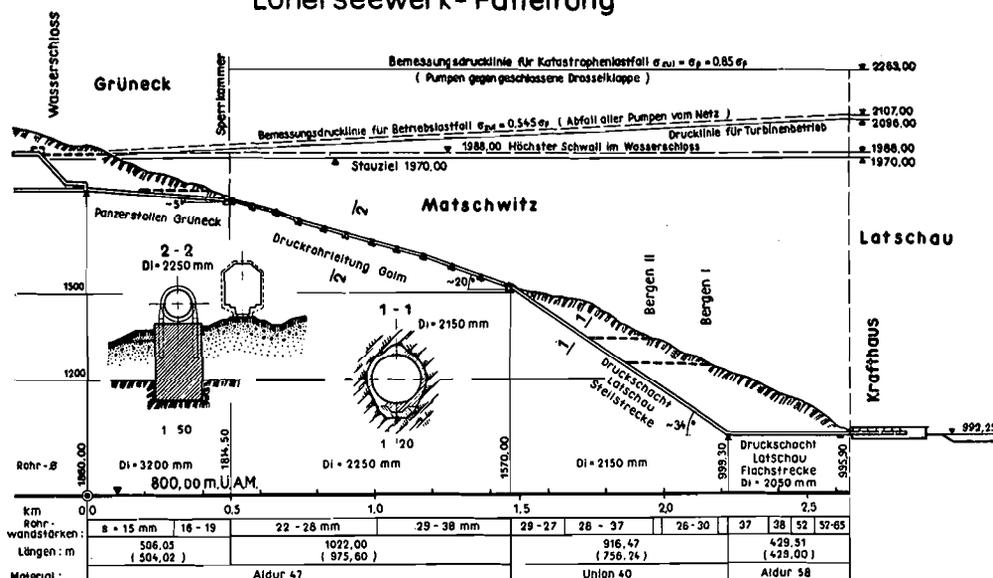


Bild 106: Falleitung des Lünerseewerkes der VIW, Längenschnitt

lastfalles und der Ausnahmestfälle (zusätzliche Berücksichtigung der den Druckstößen entsprechenden Wassersäulenhöhen) wohl zu unterscheiden. Für die Durchführung von Vergleichs ist zwar die Bemessungsdruckhöhe des Betriebslastfalles am besten geeignet, doch wählen wir im weiteren  $H_s$ , weil die Angaben über die Druckrohrleitungen im Schrifttum sehr spärliche sind und die Koten des Stauzieles und der tiefsten Rohrachse (gegebenenfalls die Kote von Mitte Leitapparat oder Düse) noch am ehesten festgestellt werden können. Der Innendurchmesser  $D_i$  des Druckrohrleitungsstranges nimmt von oben nach unten ab, und die Wanddicke  $s$  nimmt von oben nach unten zu; statt  $D_i = 1450$  bis  $1250$  mm und  $s = 8$  bis  $20$  mm schreiben wir im weiteren kurz  $D_i = 1450/1250$  mm und  $s = 8/20$  mm.

- 10) Stern & Hafnerl AG: Die Gosauwerke. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1911, S. 562. F. Kotschi: Die Entwicklung der Elektrizitätswerke Stern & Hafnerl AG. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1928, S. 721 und 820.
- 11) Vgl. F. Tölke: Über die Fortschritte in der Herstellung und Planung von Druckrohrleitungen. „Der Bauingenieur“ 1934, S. 424, und 1935, S. 13.
- 12) A. Fürst: Das Gampadelswerk und seine Einfügung in die Elektrizitätsversorgung des Landes Vorarlberg. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1926, S. 698.
- 13) R. Heinisch: Bärenkraftwerk Fusch der SAFE. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1926, S. 709.
- 14) A. Hruschka: Das Spullersee-Kraftwerk mit dem Unterwerk Danöfen. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1927, S. 961.
- 15) STEWEAG: Das Teigtischwerk. „Die Wasserwirtschaft“ 1926, S. 549. Vgl. auch die von der STEWEAG herausgegebene Druckschrift „25 Jahre Teigtischkraftwerk Arnstein“, Graz 1950.
- 16) R. Rapatz: Zur Betriebseröffnung des Forstseewerkes in Kärnten. „Die Wasserwirtschaft“ 1925, S. 100.
- 17) H. Peitzny: Der Umbau der Stauanlage Stierwaschboden des NEWAG-Kraftwerkes Erlaufboden. „Österreichische Wasserwirtschaft“ 1950, S. 129.

- 18) Die Zusammenstellung erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Beispielsweise sind in den Jahren 1924/26 von der Waagner-Biró AG Druckrohrleitungen für das Arriacher Werk der Stadtgemeinde Villach ( $H_s = 170$  m), für das Planseewerk Reutte ( $H_s = 111$  m) und für die Stadtgemeinde Wolfsberg ( $H_s = 380$  m) hergestellt worden, die in unsere Zusammenstellung — wie die Druckrohrleitungen der meisten Fabriks- oder Gemeindeanlagen — nicht aufgenommen worden sind. Die Daten der Zusammenstellung sind zumeist dem Schrifttum entnommen. Die Druckrohrleitungen werden in diesem Schrifttum recht stiefmütterlich behandelt. Es ist daher sehr begrüßenswert, daß die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW in Frankfurt/Main) mit der Herstellung einer umfassenden, auch die Druckrohrleitungen berücksichtigenden Wasserkraftkartei begonnen hat, und daß sich der Verband der Elektrizitätswerke Österreichs in diese Arbeiten schon eingeschaltet hat, so daß bald einwandfreie und vollständige Daten über unsere Druckrohrleitungen vorliegen werden.
- 19) E. Heller: Das Achenseekraftwerk. „Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“ 1926, S. 509; E. Heller: Die maschinellen und elektrischen Anlagen des Achenseekraftwerkes. „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1926, S. 690. Vgl. weiters F. Pollak: „Die Wasserwirtschaft“ 1925, S. 485; Dr. Reiter: „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1927, S. 850; Mühlhofer und Reindl: „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ 1928, H. 19; Simon: „Zeitschrift des VDI“ 1928, H. 12. Vgl. auch Fußnote 6.
- 20) E. Luchsinger: Hochdruckwasserkraftanlage Vermont. „Zeitschrift des VDI“ 1929, S. 827.
- 21) H. Grengg: Das Großspeicherwerk Glockner-Kaprun (Entwurf und Bauausführung 1938—1945). „Österreichische Bauzeitschrift“ 1952, S. 124. F. Gschaidner Druckstollen, Wasserschloß und Schrägstollen der Kraftwerksanlage Kaprun-Hauptstufe. Festschrift „Die Hauptstufe des Tauernkraftwerkes Glockner-Kaprun“ der TKW, September 1951, S. 180.
- 22) Vgl. E. Neuhäuser: Die Ursache der Rohrbrüche im Druckschacht des Gerloskraftwerkes. „Österreich-

chische Wasserwirtschaft" 1950, S. 185. Vgl. auch K. Girkmann: Die Beanspruchung einer Druckschichtpanzerung bei unvollständiger Umschließung. „Österreichisches Ingenieur-Archiv" 1948, S. 211.

- 23) Bei der Anlage Brevières (Haute-Isère, unterhalb des Tignes-Speichers und oberhalb der Anlage Malgoverd der Electr. de France) und bei der Anlage Santa Massenza (Soc. Sarca-Molveno, Trento) hat man solche bekriechbare Drainagestollen längs der Firste mit Lichtmaßen von 0,80 mal 1,20 m bzw. von 0,75 mal 1,05 m, allerdings mit erheblich größeren Scheitelabständen angeordnet. Vgl. dazu U. Bellometti: Condotte Forzate. Verlag U. Hoepli, Milano, 1955, S. 26 und S. 147.
- 24) E. Uhlir: Zur Frage des Werkstoffes für geschweißte Druckrohrleitungen. „Betrieb und Fertigung" 1949, S. 78. A. Leon: Lichtbogengeschweißte Druckrohrleitungen für Wasserkraftanlagen. „Österreichischer Maschinenmarkt und Elektrowirtschaft" 1951, S. 147. E. Uhlir: Kritische Betrachtungen der Abnahmebedingungen für lichtbogengeschweißte Druckrohrleitungen. „Maschinenmarkt und Wärmewirtschaft" 1952, S. 165.
- 25) H. Hauttmann: Stahl für lichtbogengeschweißte Turbinenrohrleitungen. VÖEST-Rundschreiben vom 16. August 1948. H. Hauttmann: Aluminiumhaltige alterungsbeständige Stähle. „Mitteilungen aus der Forschungs- und Versuchsanstalt der VÖEST" August 1950. H. Hauttmann: Sonderstähle für hochbeanspruchte geschweißte Konstruktionen, insbesondere Druckrohrleitungen. „VÖEST-Jahrbuch" 1950/1951, S. 61. H. Hauttmann: Sprödbrechensichere Baustähle in hochbeanspruchten geschweißten Konstruktionen. „Österreichischer Stahlbau", Heft 1/2, Juni 1952, S. 55.

- 26) Bei Atomkernumwandlungen auftretende elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von  $10^{-8}$  bis  $10^{-13}$  mm. Für die Grobstrukturprüfung von Schweißnähten verwendet man künstliche radioaktive Isotope, wie das Iridium-Isotop Ir 192 (Halbwertszeit 74 Tage, Anwendung z. B. bei der Druckschichtpanzerung Oberaar 1952 und bei der Druckschichtpanzerung Limberg 1953), das Kobalt-Isotop Co 60 (Halbwertszeit 5,26 Jahre) und das Cäsium-Isotop Cs 137 (Halbwertszeit 33 Jahre). Isotope sind Atomarten, die gleiche Ordnungszahlen im Periodischen System, aber verschiedene Massenzahlen, also verschiedene Atomgewichte besitzen.
- 27) A. Slattenschek: Eigenschaften der Stähle im Druckrohrleitungs- und Stahlwasserbau, sowie deren Abnahmebedingungen. Referat auf der Österreichischen Stahlbautagung 1955.
- 28) K. Klöppel: Werkstoffmechanik und Sicherheit geschweißter Stahlkonstruktionen. Sonderheft 1951 der Zeitschrift „Schweißen und Schneiden". K. Klöppel: Sicherheit und Güteanforderungen bei den verschiedenen Arten geschweißter Konstruktionen. Sonderheft 1954 der Zeitschrift „Schweißen und Schneiden". Vgl. auch D. Rühl, Vorschläge auf der 20. Sitzung des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, Oktober 1955.
- 29) Arbeitskreis im AWWV/VDEW-Sonderausschuß „Wasserkraft". Vorsitz Prof. Dr. Ing. O. Steinhardt, TH Karlsruhe; Hauptreferent für die Werkstofffragen: Prof. Dr. Ing. W. Peppeler, GHH, Oberhausen-Sterkrade. Vierte Hauptsitzung im Juli 1955.
- 30) W. Müller: Erfahrungen mit Kesselblechen im Druckleitungsbau. „Technische Rundschau Sulzer" 1951, Nr. 2, S. 12 bis 24. W. Müller: 75 Jahre Druckleitungsbau. „Technische Rundschau Sulzer"

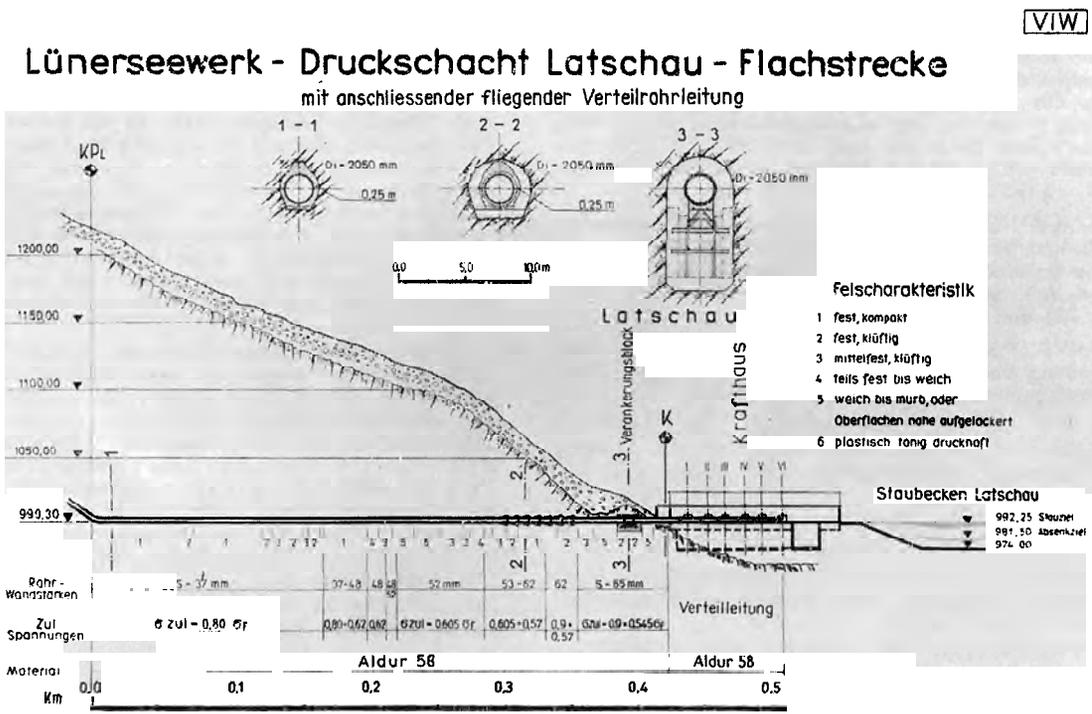


Bild 107: Falleitung des Lünerseewerkes der VIW, Längenschnitt der Flachstrecke des Druckschachtes mit dem Übergang zur Verteilrohrleitung

1954, Nr. 4, S. 1 bis 41. W. Felix: Qualitätsüberwachung von Schweißungen. „Technische Rundschau Sulzer“ 1950, Nr. 4, S. 7 bis 21. W. Felix: Die praktische Prüfung der Trennbruchsicherheit und Schweißbarkeit von Stahl. „Technische Rundschau Sulzer“ 1954, Nr. 1, S. 33 bis 43. E. Folkhard: Die Entwicklung und der Stand des schweißbaren St 52. „Schweizer Archiv für angew. Wiss. und Technik“ 1955, S. 183. K. L. Zeyen: Neue Erkenntnisse und Fortschritte auf dem Gebiete der Metallurgie des Schweißens von Eisenwerkstoffen. „Oerlikon-Schweißmitteilungen“ 1955, Nr. 23, S. 25 bis 69.

- <sup>31)</sup> Über die italienischen und französischen Druckrohrleitungsstähle vgl. G. Ferrand: Utilisation du principe du relèvement de la limite élastique des aciers par écrouissage et vieillissement artificiel à la construction des conduites forcées et économie en résultant. „La Houille Blanche“ 1953, S. 234. G. Ferrand: La soudure électrique et les conduites forcées. „La Houille Blanche“ 1954, S. 43. C. Fornaci: Le tendenze odierne delle tecnica nella costruzione delle condotte forzate. Soc. TERNI in Terni, 1951. U. Bellometti: Condotte Forzate. Verlag U. Hoepli, Milano 1955. Vgl. weiters R. Cardano und A. Ferrara: Einzelheiten bei geschweißten Konstruktionen hydroelektrischer Anlagen. „Sécheron Schweiß-Mitteilungen“ Nr. 25/1955, S. 32. Schweiß-Mitteilungen“ Nr. 25/1955, S. 32.
- <sup>32)</sup> Vgl. „The Engineering Journal“ (The Journal of the Engg. Institute of Canada), April 1953 und November 1954. G. Nosedà: L'impianto idroelettrico Nechako-Kemano-Kitimat. „L'Energia Elettrica“ 1955, S. 524.
- <sup>33)</sup> Vgl. H. Laizner: Die Großbaustähle in der österreichischen Normung. „Österreichischer Stahlbau“, Heft 3/4, Dezember 1954, S. 42.
- <sup>34)</sup> Vgl. H. Grengg und H. Lauffer: Der Gewölbemauerbau in Österreich. „Österreichische Bauzeitschrift“ 1948, S. 136. E. Fischer und H. Grengg: Die Gewölbemauern Salza und Hierzmann der Steirischen Wasserkraft- und Elektrizitäts-AG. „Österreichische Bauzeitschrift“ 1951, S. 181.
- <sup>35)</sup> Neben der Kohlenstoffbegrenzung und der Vorschreibung bestimmter Mindestbiegewinkel im Aufschweißbigeversuch beleuchtet vor allem diese Vorschreibung des Nachweises der Alterungskerbzähigkeit

bei tiefen Temperaturen den Unterschied in den Anforderungen, die an die Bleche für Dampfkessel (im Sinne der alten, einschlägigen Vorschriften) und an die Bleche für lichtbogengeschweißte Druckrohrleitungen (mit ihrer tiefen Betriebstemperatur, der großen Kaltverformungen beim Einrollen dicker Bleche für Rohre kleinen Durchmessers und mit der Notwendigkeit von Baustellenschweißungen in der Zwangslage und ohne nachträgliche Erholungsglühung) zu stellen sind. Der Steilabfall der Schlagarbeit im Bereich der tiefen Temperaturen kommt in gewissem Ausmaß auch beim statischen Biegeversuch zur Ausprägung, vgl. dazu G. Sachs and J. D. Lubahn: The Effect of Triaxiality on the Technical Cohesive Strength of Steels. „Journal of Applied Mechanics“ 1945, S. 241. Mit Bezug auf die Zusatzspannungen, die in den Leitungen III + IV als Folge der Gleitblech-Lagerung entstehen, vgl. K. Girkmann: Berechnung eines Rohrstranges mit Gleitblechlagerung. „Österreichisches Ingenieur-Archiv“ 1950, S. 115.

Über Bruchversuche mit Druckrohren vgl. etwa E. Siebel und A. Maier: Der Einfluß mehrachsiger Spannungszustände auf das Formänderungsvermögen metallischer Werkstoffe. „Z. VDI“ 77 (1933), S. 1345. E. Siebel u. E. Kopf: Versuche über die Festigkeitseigenschaften von Metallrohren bei der Beanspruchung durch Innendruck. „Zeitschrift für Metallkunde“ 1934, S. 169. A. Maier: Wechselbeanspruchung von Rohren unter Innendruck. „Stahl und Eisen“ 1934, S. 1289. F. Bollenrath: Das Verhalten von Schweißspannungen in Behältern bei innerem Überdruck. „Stahl und Eisen“ 1937, S. 389. Vgl. auch die Fußnoten 25 und 27—31.

<sup>36)</sup> Vgl. H. Hautmann: Der Stahl für die neuen geschweißten Druckrohrleitungen der Tauernkraftwerke Kaprun. Festschrift „Die Hauptstufe des Tauernkraftwerkes Glockner-Kaprun“ der TKW, September 1951, S. 194.

<sup>37)</sup> Vgl. G. Ferrand: „La Houille Blanche“ 1953, S. 20.

<sup>38)</sup> Vgl. W. Müller: Erfahrungen mit Kesselblechen im Druckleitungsbau. „Technische Rundschau Sulzer“ 1951, Nr. 2, Abb. 19, 20 und 21.

<sup>39)</sup> Vgl. A. Wobornik: Die Rohrbruchsicherung für die Druckrohrleitung der Kraftwerksanlage Kaprun-Hauptstufe. Festschrift „Die Hauptstufe des Tauern-

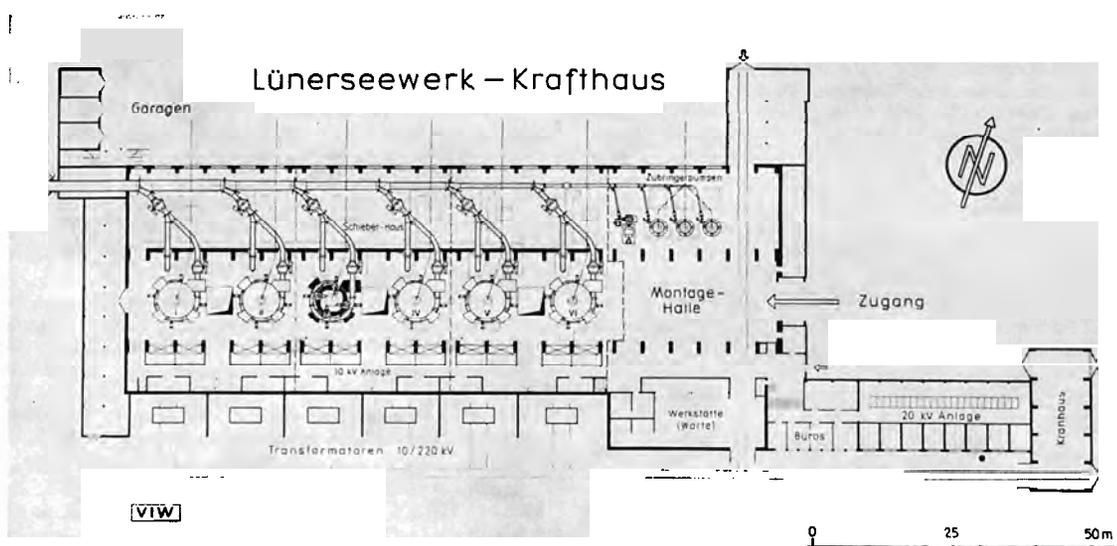


Bild 108: Krafthaus und Verteilrohrleitung des Lünenseewerkes, Lageplan



Bild 109: Röntgenfilmwagen zur Prüfung der Montage-rundnähte in der Stielstrecke des Druckschachtes des Lünserseewerkes. Rohrlänge 20 m, pneumatisches Anpressen der Filmkassette. Erprobung des Wagens an einem naturgroßen Holzmodell des Panzerrohres und der Schacht-Innenleibung. Dortmunder Union Brückenbau-AG, Werk Orange, Gelsenkirchen

- kraftwerkes Glockner-Kaprun" der TKW, September 1951, S. 213. P. de Haller: Mengenmessung mit Venturi-Düsen bei hohen Reynolds-Zahlen. „Technische Rundschau Sulzer" 1955, Nr. 1, S. 46.
- <sup>40)</sup> Vgl. die Festschrift „Die Oberstufe des Tauernkraftwerkes Glockner-Kaprun" der TKW, September 1955.
- <sup>41)</sup> W. Aufhäuser: Druckstollen, Wasserschloß und Druckschacht der Oberstufe in der Kraftwerksgruppe Glockner-Kaprun. W. Jurecka: Druckstoßprobleme der Oberstufe Kaprun. H. Hautmann: Bleche, Druckrohre und Stahlgußarmaturen für die Oberstufe. Beiträge in der unter Fußnote 40 zitierten Festschrift. Vgl. auch A. Brandestini: Die Verwendung des Prepaht-Verfahrens bei Druckschachtauskleidungen. „Schweizerische Bauzeitung" 1954, S. 755.
- <sup>42)</sup> H. Lauffer: Das Innkraftwerk Prutz-Imst, „Österreichische Wasserwirtschaft" 1955, S. 93.
- <sup>43)</sup> „Elektrobote" 1955 und 1956 der STEWEAG.
- <sup>44)</sup> H. Chenaud und L. Dubois: Die Wasserkraftanlage Fully. „Schweiz. Bauzeitung" 80 (1922), S. 247.
- <sup>45)</sup> Vgl. G. Sirovich: „L'Elettrotecnica" 1932, H. 23/24.
- <sup>46)</sup> Die Druckrohrleitung des 100 000 PS-Kraftwerkes „La Bissorte" ( $H_s = 2082 - 936 = 1146$  m,  $D_i = 1800/1300$  mm) besteht im oberen Teil aus lichtbogengeschweißten Rohren, im mittleren Teil aus glatten wassergeschweißten Rohren und im unteren Teil aus bandagierten Rohren, bei deren Herstellung das Verfahren der Autofrettage zur Anwendung kam. Vgl. J. Bouchayer: Stahldruckrohr des Kraftwerkes „La Bissorte". „Vorbericht zum

2. Int. Kongr. der Int. Ver. f. Brückenbau und Hochbau" in Berlin-München 1936, S. 1447.

- <sup>47)</sup> Zur Theorie und Berechnung bandagierter Druckrohre vgl. im Anschluß an die älteren Arbeiten von G. Albenga (1914), G. Cook (1923), U. Puppi (1927), E. Siebel (1927) und F. Arredi (1933) die Abhandlungen von R. Unterberger und G. Fabritz: Die Berechnung bandagierter Rohrleitungen unter innerem Überdruck. „Wasserwirtschaft und Technik" 1935, S. 175. P. Grüner: Beitrag zur Berechnung von zylindrischen, mit Schrupfringen versehenen Rohren. Diss. TH Breslau 1937. P. Grüner: Beitrag zur Berechnung bandagierter Rohre. „Archiv für das Eisenhüttenwesen" 12 (1938/39), S. 233. H. Leinfz: Die Beanspruchung einfacher Ringe und zweiteiliger Ringverbände unter Innendruck und deren günstigste Bemessung. „Ingenieur-Archiv" 1944, S. 387. O. Belluzzi: Sul calcolo statico delle condotte cerchiate. „L'Energia Elettrica" 1948, S. 167. G. Evangelisti: Un'osservazione sul calcolo delle tubazioni cerchiate. „L'Energia Elettrica" 1948, S. 238. G. Mattioli: I tubi blindati per condotta forzata. „L'Energia Elettrica" 1955, S. 198. U. Bellometti: Condotte Forzate. Verlag U. Hoepli, Milano 1955.
- <sup>48)</sup> Vgl. P. Götz und E. Tschsch: Elektrisch geschweißte Druckrohrleitungen mit aufgeschrupften Verstärkungen für höchste Betriebsdrücke. „Österreichische Bauzeitschrift" 1950, S. 55.
- <sup>49)</sup> Vgl. die „Quaderni di studi e notizie", Società EDISON, Nr. 174 vom 1. Juli 1954.
- <sup>50)</sup> G. Ferrand: Les tendances nouvelles. „La Houille Blanche" 1949, S. 231. G. Ferrand: vgl. Fußnote Nr. 31. G. Ferrand: Structure de la conduite forcée unique pour hautes chutes à grande puissance. Abhandlungen der Int. Ver. f. Brückenbau und Hochbau, Band VIII (Zürich 1947), S. 81. F. Tölke: Erfahrungsstand und Grundsätze der konstruktiven Gestaltung für Druckrohrleitungen von Wasserkraftanlagen in Frankreich. „Der Bauingenieur" 1951, S. 151. F. Orth: Neuerungen beim Bau von Druckrohrleitungen für hohe Wasserdrücke in Frankreich. „Der Bauingenieur" 1953, S. 213. U. Bellometti: Condotte Forzate. Verlag U. Hoepli, Milano 1955.
- <sup>51)</sup> L'entrata in servizio dell'impianto idroelettrico 1<sup>o</sup> Salto Mucone della Società Meridionale di Elettricità. „L'Energia Elettrica" 1953, S. 378.
- <sup>52)</sup> J. Cofillon et P. Chapouthier: L'Aménagement Hydroélectrique Cap de Long-Pragnères dans les Hautes-Pyrénées. „Le Génie civil" 1953, S. 101. J. Frank: Wasserkraftwerke in den französischen Pyrenäen. „Der Bauingenieur" 1953, S. 408. F. Tölke: Die Wasserkraftanlage Cap de Long — Pragnères. „Der Bauingenieur" 1954, S. 69.
- <sup>53)</sup> Vgl. A. Kieser: Neuartige Auskleidung von Druckstollen für Wasserkraftwerke. „Österreichische Wasserwirtschaft" 1950, H. 1. A. Kieser: Wasserdichte Druckstollen und Druckschächte mit Kernring-Auskleidung. „Schweiz. Bauzeitung" 1950, H. 24/25.
- <sup>54)</sup> K. Balk: Elastizitätsmessungen am gewachsenen Felsen. „Der Bauingenieur" 1955, S. 208.
- <sup>55)</sup> O. Frey-Baer: Die Dehnungsmessungen im Druckstollen des Kraftwerkes Lucendro. „Schweiz. Bauzeitung" 1947, S. 557. R. Vonplon: Dehnungsmessungen im Druckstollen des Juliawerkes Tiefencastel. „Schweiz. Bauzeitung" 1955, S. 191. M. Kohn: Der Panzerrohrversuch der Kraftwerke Zervreila. „Schweiz. Bauzeitung" 1955, S. 196.
- <sup>56)</sup> Vgl. H. Petermann: Druckmessungen im Gestein. (Nach „Annales Inst. Techn. du Bâtiment et des Travaux" 1952, S. 965). „Der Bauingenieur" 1953, S. 409.
- <sup>57)</sup> J. Büchi: Zur Berechnung von Druckschächten. „Schweiz. Bauzeitung" 77 (1921), S. 61. L. Mühlhofer: Theoretische Betrachtungen zum Problem des Druckstollenbaues. „Schweiz. Bauzeitung" 78 (1921), S. 245. L. Mühlhofer: Die Berechnung



Bild 110: Eine österreichische Druckrohrleitung in der österreichischen Alpenlandschaft (Taldücker Kleinvermunt der VIW im obersten Paznauntal, Tirol)

kreisförmiger Druckschichtprofile unter Zugrundelegung eines elastisch nachgiebigen Gebirges. „Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“ 1921, H. 15. L. Mühlhofer: Neuerungen auf dem Gebiete des Druckstollenbaues. „Der Bauingenieur“ 1922, H. 18. M. Lelli: Sollecitazioni termiche nelle rocce attraversate da gallerie in pressione. „Ann. Mat. pura e appl.“ 1941, S. 141. O. Frey-Baer: Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen. „Schweiz. Bauzeitung“ 124 (1944), S. 177. A. Hutter und A. Sulzer: Beiträge zur Theorie und Konstruktion gepanzelter Druckschächte. „Wasser- und Energiewirtschaft“ 1947, H. 11. H. Kastner: Nebenwirkungen in der Beanspruchung von Druckschichtauskleidungen. „Österreichische Bauzeitschrift“ 1947, S. 175. H. Kastner: Zur Theorie des gepanzerten Druckschachtes. „Wasser- und Energiewirtschaft“ 1949, S. 100. H. Kastner: Über die Bemessung von gepanzerten Druckschächten. „Österreichische Bauzeitschrift“ 1951, S. 27. J. Talobre: L'état actuel de la technique des conduites forcées souterraines. „La Houille Blanche“ 1952, S. 513.

- <sup>56)</sup> Vgl. dazu die einschlägigen Lehrbücher der Hydraulik, sowie etwa R. Löwy: Druckschwankungen in Druckrohrleitungen. Springer-Verlag, Wien 1928. O. Schnyder: Druckstöße in Pumpensteigleitungen. „Schweiz. Bauzeitung“ 94 (1929), S. 271. O. Schnyder: Über Druckstöße in Rohrleitungen. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ 1932, S. 49. O. Schnyder: Über Wasserschläge. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ 1935, S. 46. O. Schnyder: Über Druckstöße in verzweigten Leitungen mit besonderer Berücksichtigung der Wasserschloßanlagen. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ 1935, S. 133. F. Tölke: Veröffentlichungen zur Erforschung der Druckstoßprobleme in Wasserkraftanlagen und Rohrleitungen. Erstes Heft. Springer-Verlag 1949. M. Cuénod: Influence des phénomènes de coup de bélier sur le réglage de la vitesse des turbines hydrauliques. „La Houille Blanche“ 1949, Seite 163. L. Escande: Influence de la liaison entre chambre d'équilibre et canal s'aménée d'une usine hydroélectrique sur le régime des surpressions-rolé de l'étranglement. „La Houille Blanche“ 1949, S. 457. P. Bergeron: Complexité des phénomènes de coups de bélier sur les installations de pompage et essai de classification des solutions générales pour y remédier. „La Houille Blanche“ 1949, S. 724. P. de Haller: Das „Abreißen“ der Wassersäule infolge eines negativen Druckstoßes. „Technische Rundschau Sulzer“ 1951, Nr. 4, S. 18. W. Jurecka: Das Stahlinienverfahren zur Bestimmung von Druckschwankungen in Wasserrohrleitungen und von Spannungsschwankungen in elektrischen Leitungen. „Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft“ 1954, S. 49. W. Jurecka: Druckstoßprobleme der Oberstufe Kaprun. Festschrift „Die Oberstufe des Tauernkraftwerkes Glockner-Kaprun“ der TKW, September 1955. J. Duc: Die Berechnung der Druckschwankungen in Pumpenleitungen. „Technische Rundschau Sulzer“ 1955, Nr. 1, S. 22.

- <sup>57)</sup> Vgl. H. Lauffer: Referat am Österreichischen Beamtentag 1950 in Wien.

- <sup>58)</sup> Innendurchmesser  $D_i = 4400$  mm,  $H_s = 72,50$  m, Bemessungsdruckhöhe wegen der Krafthausnähe  $H_B = 102,50$  m. Vgl. M. Mary: Umschnürung der Druckleitungen des Kraftwerkes in Maréges. „Vorbereitung zum 2. Kongreß der Int. Ver. f. Brückenbau und Hochbau“ in Berlin-München 1936, S. 1233. Vgl. weiters M. Mary: Die Umschnürung des Siphons von Les Granges. „Abhandlungen Int. Ver. f. Brückenbau u. Hochbau“. 15 (1955), S. 117.

- <sup>59)</sup> Man kann hier leicht zeigen, daß die Einführung des Außenradius in die klassische Kesselformel bei dickwandigen Rohren eine brauchbare Annäherung

bringt; denn die größte Umfangszugspannung am Innenrand des Rohres ergibt sich hier nach der einschlägigen Theorie (vgl. „Hülfe“ Band I, 28. Auflage, S. 951) wegen  $c = (r_i/r_o)^2 = (1,025/1,090)^2 = 0,88429$  mit  $\sigma_t = (1+c) \cdot p_B / (1-c) = 1,88429 \cdot 111,115/0,11571 = 1809,5$  kg/cm<sup>2</sup> und die Radialspannung beträgt hier  $\sigma_r = -p_B = -111,1$  kg/cm<sup>2</sup>, so daß sich der als Anstrengungsmaß verwendete Ver-

gleichsspannungswert  $\sigma_v = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2} - \sigma_t \cdot \sigma_r = 1867,5$  kg/cm<sup>2</sup> nahe dem zulässigen Wert von 1860 kg/cm<sup>2</sup> ergibt.

- <sup>62)</sup> Vgl. W. Felix: Erfahrungen über die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit Ultraschall. „Technische Rundschau Sulzer“ 1952, Nr. 2, S. 19.

- <sup>63)</sup> M. Lévy: „Journal de Math. (Liouville)“, 1884, S. 5, und „Compt. Rend.“ 1883, S. 694 und 979. A. P. Borezi: A Refinement of the Theory of Buckling of Rings Under Uniform Pressure. „Journal of Applied Mechanics“ 1955, S. 95.

- <sup>64)</sup> K. v. Sanden und F. Tölke: Über Stabilitätsprobleme dünner, kreiszylindrischer Schalen. „Ingenieur-Archiv“ 1932, S. 24. W. Jurecka: Zur Bestimmung des kritischen Außendruckes bei Ausbeulung versteifter, kreiszylindrischer Rohre. „Maschinenbau und Wärmewirtschaft“ 1953, S. 5. W. A. Nash: Buckling of Multiple-Bay Ring-Reinforced Cylindrical Shells Subject to Hydrostatic Pressure. „Journal of Applied Mechanics“ 1953, S. 469.

- <sup>65)</sup> W. Flügge: Die Stabilität der Kreiszylinderschale. „Ingenieur-Archiv“ 1932, S. 463, Abschnitt V.

- <sup>66)</sup> Vgl. W. Müller: 75 Jahre Druckleitungsbau. „Technische Rundschau Sulzer“ 1954, Nr. 4, Abb. 31.

- <sup>67)</sup> H. Link: Über den Kreisringträger mit begrenzter Verformung bei überkritischem Außendruck. „Ingenieur-Archiv“ 1955, S. 36. H. Link: Über den geraden Knickstab mit begrenzter Durchbiegung. „Ingenieur-Archiv“ 1954, S. 237. Vgl. auch N. Dewulf: Déformation d'une conduite forcée souterraine. „La Houille Blanche“ 1949, S. 269.

- <sup>68)</sup> E. Amstutz: Das Einbeulen von Schacht- und Stollenpanzerungen. „Schweiz. Bauzeitung“ 1950, S. 102. H. Juillard: Knickprobleme an geraden Stäben, Kreisbogensegmenten und Zylindern. „Schweiz. Bauzeitung“ 1952, S. 451. J. Bächtold: Erfahrungen beim Bau des Kraftwerkes Handeck II. „Schweiz. Bauzeitung“ 1952, S. 589. E. Amstutz: Das Einbeulen von vorgespannten Schacht- und Stollenpanzerungen. „Schweiz. Bauzeitung“ 1953, S. 229. H. Juillard: Knickprobleme bei einbetonierten Rohrleitungen. „Schweiz. Bauzeitung“ 1953, S. 382.

- <sup>69)</sup> Das Durchschlagproblem der punktwise quergestützten Zylinderschale mit begrenzter Verformung ist noch nicht behandelt worden. Über das Durchschlagproblem der freien Zylinderschale vgl. O. Belluzzi: Sul comportamento degli archi elastici molto ribassati. Annali dei Lavori Pubbl. 1929, No. 6. S. Timoshenko: Buckling of Flat Curved Bars and Slightly Curved Plates. Journ. of Appl. Mech. 2 (1935), S. 17. S. Timoshenko: Theory of Elastic Stability. New York and London 1936, S. 230. O. Belluzzi: Scienza delle Costruzioni, Volume Quarto, S. 224. Bologna 1955. L. H. Donnell and C. C. Wan: Effect of Imperfections on Buckling of Thin Cylinders and Columns Under Axial Compression. „Journal of Applied Mechanics“ 1950, S. 73. Über das Beulproblem der ebenen Platte mit punktwise Querstützung vgl. S. Woynowsky-Krieger: Über die Stabilität punktwise ausgesteifter Rechteckplatten. „Ingenieur-Archiv“ 1952, S. 106. Über das Durchschlagen schwach gewölbter Platten vgl. H. Nylander: Die Durchschlaglast von Platten. „Österr. Ingenieur-Archiv“ 1955, S. 181.

# Druckrohrleitungen aus Österreich in aller Welt

Von Dipl.-Ing. Udalrich H i e m e s c h, Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG, Linz a. d. Donau

Über die in den letzten zehn Jahren in Österreich gebauten bzw. in Bau befindlichen Druckrohrleitungen und Druckschächte wurde ausführlich unter Darstellung aller Einzelheiten berichtet. Es gibt aber noch eine andere Gruppe österreichischer Druckrohrleitungen, die bisher nicht erwähnt wurden, und das sind die für ausländische Unternehmen entworfenen, hergestellten und zum großen Teil auch im Ausland montierten Rohrleitungsanlagen. Dieser Exportzweig ist, obwohl noch sehr jung, nämlich kaum mehr als fünf Jahre alt, doch von Bedeutung, denn er umfaßt rund die Hälfte aller nach dem Weltkriegsende hergestellten Druckrohrleitungsanlagen. Das Gesamtgewicht dieser Rohrleitungen und Druckschächte, von österreichischen Ingenieuren entworfen, aus österreichischen Blechen hergestellt und von österreichischen Arbeitern gefertigt, beträgt bisher etwa 21.000 Tonnen und die durch sie transportierte Leistung mehr als 1,5 Mill. PS. Es handelt sich um 45 vollständige Anlagen und eine Anzahl weiterer, für die nur Teile geliefert wurden, sowie um mehrere Verteilungen für den Anschluß neuer Maschinen an bereits bestehenden Anlagen. Diese letzteren sind in dem genannten Leistungswert nicht enthalten.

Der Export erstreckt sich heute fast über die ganze Welt, sind doch schon Rohre mit österreichischem Herstellerzeichen nach Indien, nach Mittelamerika und sogar nach Tasmanien geliefert worden.

Es ist sicher erstaunlich daß ein Land, das vor einem Jahrzehnt als Hersteller größerer Druckrohrleitungsanlagen noch gänzlich unbekannt war, ja welches seine eigenen Großanlagen zum größten Teil einfuhrte, heute bereits einen großen Exportanteil aufweist und es ist wohl von Interesse, den Ursachen hierfür nachzugehen.

Der Druckrohrleitungsbau entwickelt sich wie auch alle anderen Gebiete der Technik in Richtung immer größerer, leistungsfähigerer und damit wirtschaftlicherer Einheiten. Diese Großanlagen stellen heute mit ihren Gesamtgewichten von oft mehreren tausend Tonnen, mit ihren Blechdicken bis zu 50 mm und mehr und mit ihren zu transportierenden und zu montierenden großen Einzelstückgewichten sehr beachtenswerte Stahlbauwerke dar.

Die Weiterentwicklung wird, wie allgemein bekannt, durch drei Faktoren, die einander ergänzen müssen, bestimmt. Es sind dies Verbesserungen der Berechnung und Konstruktion, der verwendeten Werkstoffe und der Werkstatt- und Montagearbeiten. Als bedeutendste Fortschritte der letzten Jahrzehnte sind dabei vor allem zu nennen:

1. Die Einführung der Schalentheorie und anderer elastostatischer Berechnungsverfahren in die Konstruktion von Rohrleitungen, gleichgültig ob es sich um einfache, glatte, geschweißte oder bandagierte Rohre oder um komplizierte Formstücke und andere Konstruktionsteile handelt. Die genauere Erfassung der Spannungszustände ermöglicht eine Erhöhung der zulässigen Spannungen und damit eine Herabsetzung der Wanddicken, Gewichte und Kosten. Die theoretischen Erkenntnisse führten

z. B. zur Entwicklung besonderer Auflagerkonstruktionen bei dünnwandigen Rohrleitungen großen Durchmessers in Form von Ringen und Rollenlagern, durch welche die Zusatzspannungen erheblich herabgesetzt und erfaßt werden konnten, so daß es möglich ist, diese Rohrleitungen mit großen wirtschaftlichen Stützweiten bei Einsparung von Baukosten und Stahlgewichten herzustellen. Ebenso gelang es durch Entwicklung besonderer Konstruktionen die an den Ausschnittsrändern von Formstücken auftretenden großen Schalenkräfte aufzufangen und so auch größte Formstücke mit vertretbaren und ausführbaren Wanddicken zu fertigen.

2. Die Entwicklung schweißbarer und absolut trennbruchsicherer Bleche mit Streckgrenzen bis zu 40 kg/mm<sup>2</sup> und mehr und die zu ihrer Verschweißung geeigneten Elektroden. Dabei ergab die Qualitätserhöhung der Bleche nicht nur eine Zunahme der zulässigen Spannungen im Verhältnis der Streckgrenzenerhöhung, sondern es konnte auch das Verhältnis zwischen gewährleisteter Mindeststreckgrenze und zulässiger Spannung herabgesetzt werden. Hiedurch trat eine einschneidende Verringerung der Wanddicken und eine relative Senkung der Herstellkosten durch Verringerung des Schweißvolumens ein, ja zum Teil wurden einzelne hochbeanspruchte Teile überhaupt erst herstellbar, da man in den Bereich verarbeitungsfähiger Wanddicken gelangte.

3. Der Übergang von der Nietung und Wassergasschweißung auf die elektrische Schweißung in vor etwa zwanzig Jahren für unmöglich gehaltenem Umfang. Brachte schon die Wassergasschweißung gegenüber der Nietung in der Herstellung von Großrohren einen sehr großen Fortschritt, da sie eine Erhöhung des Nahtschwächungsfaktors auf 0,9 erlaubte, während dieser bei der Nietung infolge der Anordnung von Nietlöchern über einen gewissen Wert hinaus nicht zu erhöhen war, so ermöglichte erst die Einführung der elektrischen Schweißung die Herstellung von längsgeschweißten Rohren mit einem Schweißnahtfaktor 1. Heute zweifelt wohl niemand mehr daran, daß Stumpfschweißnähte bester Ausführung, gleichgültig ob automatisch oder handgeschweißt, auch bei Blechen höchster Festigkeit mit einem Schweißfaktor 1 geschweißt werden können und daß die heutigen Überwachungsverfahren mittels Durchstrahlung oder Durchschallung diesen Schweißfaktor auch absolut sicher gewährleisten lassen. Die zahlreichen Versuche, die auf diesem Gebiet bei den VOEST in Linz durchgeführt wurden, haben diese Tatsache einwandfrei bewiesen.

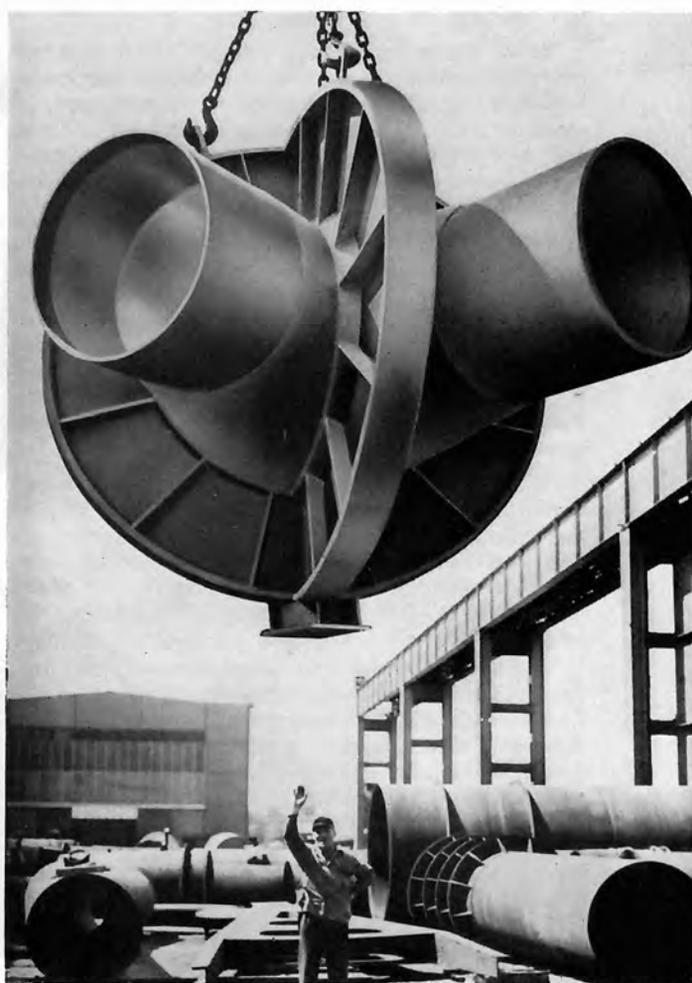
Die beschriebene Entwicklung von Konstruktion, Werkstoffen und Herstellung führte allgemein dazu, daß sich heute mit dem eigentlichen Druckrohrleitungsbau vorwiegend Stahlbauanstalten befassen, da sich diese schon seit Jahren mit hochfesten Werkstoffen und mit der Elektroschweißung und deren Weiterentwicklung beschäftigen und auch über die erforderlichen Entwicklungs- und Konstruktionsbüros verfügen. Auch in Österreich spiegelt sich diese Entwicklung wider und große

Druckrohrleitungen werden von Stahlbauanstalten gefertigt. Es sind dies die Werkstätten der Waagner Biró AG. in Graz und der VOEST in Linz. Sie hatten den großen Vorteil, daß nach dem Ende des zweiten Weltkrieges die österreichische eisenschaffende Industrie, d. s. die VOEST in Linz, eigene schweißbare Sonderstähle hoher und höchster Festigkeit, die heute bereits im In- und Ausland allgemein bekannten Aldurstähle, als besonders geeignete Werkstoffe für den Druckrohrleitungsbau entwickelt hat. Gleichzeitig stellte auch Böhler in Kapfenberg die für die Verschweißung dieser Stähle geeigneten Elektroden bzw. Drähte für automatische Schweißverfahren her. Als daher die ersten großen Druckrohrleitungen nach dem Weltkriegsende in Österreich gebaut werden sollten, war die österreichische Industrie in der Lage, sie auszuführen, aber es gehörte von Seite der Auftraggeber sicher großer Mut dazu, die Ausführung dieser Großanlagen Werken anzuvertrauen, die solche Objekte bisher noch nie ausgeführt hatten. Die österreichische Industrie enttäuschte aber nicht und so wurden die ersten beiden österreichischen Großanlagen, es sind dies die Rohrleitungen für die Laufwerkstufe Reißeck und die Hauptstufe Kaprun, die Grundsteine für den Export von Druckrohrleitungen aus Österreich überhaupt.

Es war aber nicht leicht, auf dem Weltmarkt Fuß zu fassen. Erst nach Überwindung erheblicher Schwierigkeiten gelang es, die ersten Aufträge auf Lieferungen von Druckrohrleitungen in das Ausland hereinzubringen. Die größte Schwierigkeit hierbei lag im verständlichen Mißtrauen des Käufers dem bisher unbekanntem Lieferanten gegenüber. Die österreichische Industrie hatte nichts aufzuweisen, sie konnte keine Referenzlisten über bereits ausgeführte Anlagen beibringen, keine Fotos, keine Modelle, weil eben nichts da war. Aber von kleinen Anfängen an ging es langsam aufwärts und schon im Winter des Jahres 1951 konnte der erste Großauftrag, die Druckrohrleitung Sariyar in der Türkei mit 6 m Durchmesser und rund 100 m Gefälle hereingebracht werden. Unter vielen kleineren Anlagen folgten dann die Rohrleitung D für das Kraftwerk Aura in Norwegen mit 1200 mm Durchmesser bei 785 m Gefälle, die beiden Druckschächte für das Kraftwerk Rössaga, ebenfalls in Norwegen, mit je 3 m Durchmesser bei 247 m Gefälle, die Verteilleitung einschließlich drei Wasserschloßern für die Anlage Seyhan in der Türkei mit 8 m Durchmesser bei rund 50 m Gefälle und schließlich die fünf Rohrleitungen im Staudamm Dokan im Irak mit je 3,65 m Durchmesser bei 100 m Gefälle.

Bild 1: Abzweigstück der Verteilerleitung für das Kraftwerk Trevallyn in Tasmanien im Werkszusammenbau

Bild 2: Hosenrohr der Verteilerleitung für das Kraftwerk Aabjóra in Norwegen bei der Verladung



Eine große Schwierigkeit bereiten im Druckrohrleitungsexport die oft grundsätzlich verschiedenen Vorschriften und Abnahmebedingungen der Bestell-Länder. Soweit es sich um industriell höher entwickelte Länder handelt, sind diese Vorschriften elastischer gehalten und es ist möglich, österreichische Normen in Vorschlag zu bringen und diese der Ausführung zugrunde zu legen. Da wir in unseren Druckrohrleitungs-Sonderstählen einen hervorragenden Werkstoff zur Verfügung haben und die österreichischen Druckrohrleitungen nunmehr nach einheitlichen Vorschriften ausgeführt werden, ist es verständlich, wenn wir überall versuchen, diesen Werkstoff mit unseren Berechnungsvorschriften durchzusetzen. Dies ist uns zu einem großen Teil gelungen und die meisten hochbeanspruchten Druckrohrleitungen sind in ihren unteren Teilen aus Aldurstählen hergestellt worden, wobei im allgemeinen als zulässige Ringspannung die halbe Streckgrenze bei statischem Druck und vorgeschriebenem Druckstoff zugelassen wurde.

Für die minderbeanspruchten Rohrleitungen bzw. die oberen Teilstücke der Hochdruckrohrleitungen wurden meist die österreichischen schweißbaren Baustähle St 37 T und St 44 T mit 22 bzw. 26 kg/mm<sup>2</sup> garantierter Mindeststreckgrenze verwendet.

Für die Druckrohrleitung Seyhan wurde ein Stahl nach der amerikanischen Norm für Kesselbleche A 285 verwendet, während z. B. für die Rohrleitungen im Staudamm Dokan ein Kesselblech nach der britischen Norm 1501 vorgeschrieben ist. Diese Stähle sind zwar unseren österreichischen Kesselstählen St 41 KT weitgehendst ähnlich, doch können wir dank unserer eigenen Blechversorgung die Wünsche der ausländischen Kundschaft erfüllen und dies ist für das gegenseitige Vertrauen von großer Wichtigkeit.

Im allgemeinen unterliegen Werkstoff und Werkstattarbeit einer Abnahme. Soweit als möglich versuchen wir die den Normen entsprechenden bzw. für die Aldur-Stähle unsere eigenen Abnahmebedingungen durchzusetzen und dies ist weitgehend gelungen.

Als wichtigste Faktoren für die Güte eines Stahls sehen wir die Streckgrenze, die Dehnung und die Aufschweißbiegeprobe an, besonders die letztere, da sie uns über die Neigung des Stahls zu Sprödbrüchen bei mehrachsigen Spannungszuständen eine Aussage macht.

Die Überwachung der Werkstattarbeiten erstreckt sich vor allem auf die Prüfung des vorgeschlagenen Schweißverfahrens, die Prüfung der eingesetzten Schweißer und auf eine laufende Prüfung der geschweißten Nähte. Letztere wird zweckmäßigerweise durch stichprobenweise Röntgenprüfung ausgeführt. Verschiedentlich wird auch die Abtrennung eines etwa 60 mm breiten Rohringes gefordert, aus welchem drei Zugproben, davon eine die Längsschweißnaht enthaltend, in Umfangsrichtung entnommen werden. Es wird gefordert, daß die Bruchlast der die Schweißnaht enthaltenden Probe nicht kleiner sein darf als die einer Probe aus dem vollen Blech. Diese Prüfung wird an etwa 5% der Rohrschüsse durchgeführt. Ich persönlich bin der Ansicht, daß diese Prüfung, obwohl sie teuer ist, da an das abgeschnittene Rohr neuerlich eine Schweißkante angearbeitet werden

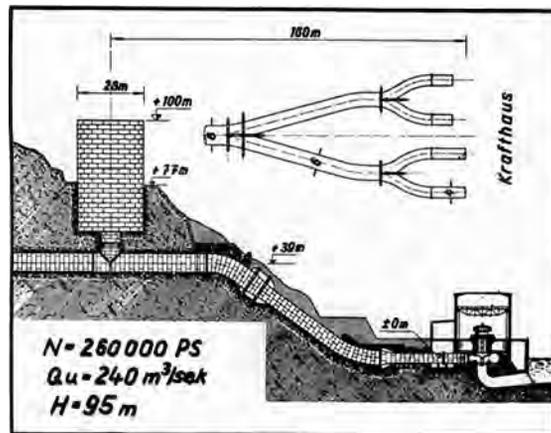


Bild 3: Verteilung des Kraftwerkes Saryiar in der Türkei

muß, sinnvoller ist als das Mitschweißen eines Probebleches am Ende einer Schweißnaht, da der Schweißer, sobald er weiß, welches Stück seiner Arbeit geprüft wird, selbstverständlich diesen Teil besonders gut schweißen wird.

Die Ergebnisse dieser Zerstörungsprüfungen zeigten bisher, daß die Bruchlast der Schweißnaht nie kleiner als die des vollen Bleches ist, da für das Schweißen von Druckrohrleitungsnahten selbstverständlich nur die besten Schweißer eingesetzt werden. Dies ist wieder ein Beweis mehr, daß man Stumpfnähte bester Güte mit dem Schweißnahtfaktor 1 bewerten kann.

Der Abnahme unterliegt selbstverständlich das vorgeschriebene Spannungsfreiglühen und die Druckprobe.

Nach Fertigstellung der Rohre erfolgt der Anstrich. Über die Wahl des zweckmäßigsten Anstrichmittels herrschen die verschiedensten Meinun-

Bild 4: Hosenrohr 5940/2 × 4200 mm Durchmesser für das Kraftwerk Saryiar im Werkszusammenbau





Bild 5: Hosenrohr 8000/2  $\times$  5940 mm Durchmesser für das Kraftwerk Sariyar im Werkszusammenbau

gen. Meiner Ansicht nach ist nicht so sehr das Anstrichmittel von entscheidender Bedeutung, denn dieses muß nur gegen das betreffende Wasser beständig sein, sondern vor allem die Art der Aufbringung desselben. Allgemein setzt sich immer mehr die Ansicht durch, daß eine restlose Entrostung der zu streichenden Oberfläche notwendig ist und dies kann nur durch Sandstrahlung erfolgen. Die gestrahlte und vom Strahlmittel gereinigte Oberfläche muß unmittelbar, bevor sich der geringste Rostansatz bilden kann, mit einem ersten Grundanstrich versehen werden. Die Zahl der notwendigen Anstriche ist von der Reinheit des Wassers abhängig, da der Anstrich nicht nur chemischen Einwirkungen, sondern auch dem Abrieb durch mitgeführte feste Bestandteile widerstehen muß. Wir haben bereits die verschiedensten Anstrichmittel sowohl auf Bitumen- als auch auf Bleimennige-Basis ausgeführt, leider sind jedoch die Betriebszeiten bisher zu kurz, um über ihre Haltbarkeit etwas aussagen zu können. Überdies kommen diese Rohrleitungen sehr selten außer Betrieb, so daß nur spärliche Angaben über die Wirksamkeit eines Anstriches an die Öffentlichkeit dringen.

Großrohrleitungen, die auf der Baustelle aus einzelnen Schalen zusammengeschweißt werden müssen, werden zweckmäßigerweise überhaupt erst nach Fertigstellung mit einem Anstrich versehen, wie dies auch gehandhabt wird.

Nachstehend soll nun ein kleiner Überblick über die bisher in Österreich geleistete Arbeit gegeben werden.

Der Schwerpunkt unserer Lieferungen liegt derzeit in Norwegen, sowie in Südost-Europa und im Nahen Osten, doch sind, wie bereits eingangs bemerkt, auch Lieferungen nach Kolumbien, Indien und Tasmanien getätigt worden. Es sind bisher insgesamt 50 Anlagen, davon 16 in Norwegen, 11 in der Türkei, 7 in Bulgarien, 6 in Jugoslawien, 3 in Kolumbien, 2 in Indien und Libanon und je 1 in Irak, Venezuela und Tasmanien. Wie bereits erwähnt, beträgt das Gesamtgewicht dieser Rohrleitungen etwa 21.000 t, die durch sie transportierte Leistung mehr als 1,500.000 PS.

Das Bild 1 stellt das erste Abzweigstück der Rohrleitung Trevallyn in Tasmanien während der Werkstattmontage dar. Die Ausführung ist eine der Firma Voith in Heidenheim geschützte Konstruktion, die darin besteht, daß das geschwächte Hauptrohr durch eine aufgesetzte Schale verstärkt wird. Der Vorteil dieser Konstruktion liegt vor allem in den geringen Abmessungen, die für die Verstärkung notwendig sind, und in der beliebig und daher strömungsgünstig ausführbaren Durchdringung. Die Abmessungen des dargestellten Stückes sind 4150 mm bzw. 2060 mm Durchmesser mit 23 bzw. 12 mm Wanddicke, der Werkstoff ist Aldur 47 und das statische Gefälle beträgt 150 m. Auf dem Bild ist deutlich die Ausbildung und Verrippung der Schalenverstärkung zu ersehen. Die Gesamtlieferung bestand aus der Hauptleitung und 3 Turbinenabzweigen, die frei in einem sehr engen Stollen verlegt sind. Die Rohrleitung wurde in Schalen geliefert, die Abzweigstücke im Werk vollständig zusammengebaut, vom Abnahmebeamten überprüft, für den Transport zerlegt und entsprechend gebündelt. Die Montage wurde von uns nicht durchgeführt.

Für die Anlage Aabjöra in Norwegen haben wir für den Anschluß der letzten Maschine die Verteilleitung geliefert. Das statische Gefälle beträgt 435 m, die Rohrlängendurchmesser sind, da es sich um eine zweirädrige Pelton-Turbine handelt, 1300 bzw. 800 mm, die Wanddicken 24 bzw. 17 mm, der Werkstoff ist ebenfalls Aldur 47. Das Bild 2 stellt das Abzweigrohr bei der Verladung dar, das als Hosenrohr mit geradem Durchgang ausgeführt wurde. Deutlich ist zu sehen, wie der Innengurt des einwandigen Versteifungsträgers zur Aufnahme der durch die Schale eingetragenen Kräfte durch eine eingeschweißte Kegelfläche entlastet wird. Das Stück wurde vor seinem Versand einer Druckprobe unterzogen.

Nach dieser kurzen Einleitung soll über die beiden größten, bisher gelieferten Rohrleitungsanlagen ausführlich berichtet werden.

### Sariyar

Das Kraftwerk Sariyar liegt im kleinasiatischen Teil der Türkei und ist das erste einer Kette von acht Kraftwerken, die geplant sind, um ein Gesamtgefälle von etwa 600 m des Sakariya-Flusses auszunützen. Dieser Fluß entwässert den westlich von Ankara liegenden Teil Anatoliens und gehört zu den größten Strömen der Türkei. Das Kraftwerk liegt ungefähr 180 km westlich von Ankara beim Dorf Sariyar, wo der Fluß im felsigen Gelände in einer tief eingeschnittenen Schlucht eine Schleife von etwa 180 Grad macht. Die Anlage besteht

aus einer Gewichtsstaumauer von etwa 110 m Höhe, hinter der ein Speicherbecken von 1,6 Mrd. m<sup>3</sup> liegt, einem Stollen mit anschließender Druckrohrleitung und einem Krafthaus mit vier Maschinen zu je 45.000 kVA. Die Gesamt-Jahresarbeit wird auf 360 Mill. kW-Stunden geschätzt.

Der Bau des Kraftwerkes hat sich infolge ungünstiger geologischer Verhältnisse sehr stark verzögert, denn es war ursprünglich geplant, den für den Bau der Staumauer notwendigen Umföhrungsstollen später als Triebwasserstollen zu verwenden. Bei dem schlechten vorgefundenen Gestein hätte aber dieser Stollen mit 8,4 m Durchmesser wegen des Innendruckes von fast 100 m Wassersäule gepanzert werden müssen und dies hätte, obwohl der Stollen nur etwa 1000 m lang ist, einen solchen Stahlaufwand ergeben, daß genaue Untersuchungen eine größere Wirtschaftlichkeit eines neuen höher liegenden ungepanzerten Triebwasserstollens ergaben. Zu dieser Zeit war die gesamte Druckrohrleitungsanlage bereits ausgeliefert und bestand aus 2 Rohrsträngen mit 5,94 m Durchmesser, die sich mittels je eines Hosenrohrs in je 2 Stränge mit 4,2 m Durchmesser gabelten. Das Projekt sah vor, daß die Turbinenzuleitungen für den vollen Innendruck zu bemessen wären, während der im Stollen liegende Teil der 5,94-m-Rohre entsprechend der abnehmenden Felsüberdeckung mit zunehmender Wanddicke auszuführen war. Die Verzweigung des Hauptstollens von 8,4 m Durchmesser in die beiden Rohre von 5,94 m Durchmesser sollte in Beton ausgeführt werden.

Die Höherlegung des Triebstollens ergibt die auf dem Bild 3 dargestellte Anlage. Sie besteht nunmehr aus einer Panzerung des Hauptstollens mit 8,0 m Durchmesser, einem Hosenrohr 8,0 m auf zweimal 5,94 m Durchmesser und den bereits beschriebenen Rohrleitungen, die aus ihrer ursprünglich waagrechten Lage in das Hanggefälle verlegt

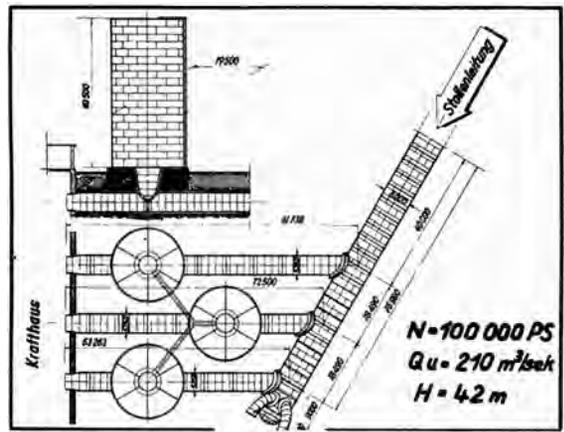


Bild 7: Verteilleitung des Kraftwerkes Seyhan in der Türkei

wurden. Das Wasserschloß mit 28 m Durchmesser und 46,5 m Höhe, zum Teil im Fels liegend und ohne Boden, konnte aus dem ursprünglichen Projekt übernommen werden; lediglich die Panzerung des Verbindungsschachtes zwischen Stollen und Wasserschloß kam neu hinzu.

Alle Rohrleitungsteile sind aus dem Sonderstahl Aldur 47 mit einer garantierten Streckgrenze von 31 kg/mm<sup>2</sup> hergestellt. Für diesen Stahl ist eine Ringzugspannung von 1350 kg/cm<sup>2</sup> und eine Vergleichsspannung von 1570 kg/cm<sup>2</sup> zugelassen. Stumpfnähte dürfen mit 85% und Kehlnähte mit 65% der vorgenannten Vergleichsspannung, d. h.

Bild 8: Druckprobe der Verteilleitung des Kraftwerkes Seyhan

Bild 6: Baustellendruckprobe eines 6-m-Hosenrohrs für das Kraftwerk Sariyar



mit 1340 bzw. 1020 kg/cm<sup>2</sup> belastet werden. Als Betriebsdruck war der statische Druck und ein Druckstoß von etwa 35% vorgeschrieben. Das Wasserschloß war für einen 2 m über der Oberkante liegenden höchsten Wasserspiegel und eine seitlich wirkende Erdbebenzusatzbelastung im Betrage von 10% der senkrechten Lasten zu bemessen. Damit ergaben sich folgende Wanddicken: 8,0 m Panzerstrecke, 22 bis 24 mm, 5,94 m Druckrohrleitungen, 22 bis 28 mm, 4,20 m Turbinenzuleitungen, 24 mm, Wasserschloßbehälter 10 bis 28 mm (für die untersten Schüsse wird Entlastung durch den Fels angenommen).

Die gesamte Lieferung unterlag einer Abnahme durch Lloyd's Register of Shipping. Die Bleche wurden einzeln abgenommen und auf Dicke und Abmessung kontrolliert.

Die Rohrleitung wurde in vorgebogenen und an den Kanten fertigbearbeiteten Drittelschalen geliefert, die für den Versand in Pakete gebündelt wurden. Das Wasserschloß besteht aus 14-teiligen Schüssen. Alle diese Bleche sind im Durchschnitt 2 m breit.

Die Formstücke mußten im Werk probeweise zusammengebaut werden, die Versteifungsträger waren in transportfähigen Stücken zu schweißen und spannungsfrei zu glühen.

Die beiden kleineren Hosenrohre (Bild 4) wurden in der üblichen Weise mit einem durch einen Ringträger entlasteten Nahtträger ausgeführt. Wegen der großen Kräfte ist der Nahtträger an seiner höchstbeanspruchten Stelle in der Symmetrieebene 3,5 m hoch und als Kastenträger ausgebildet. Das aufzunehmende Moment beträgt etwa 1500 tm, die Normalkraft etwa 1400 t. Der Träger wurde als gekrümmter Träger berechnet, wobei die infolge des Innendruckes auf den Innengurt wirkenden Zusatzspannungen berücksichtigt wurden. Letztere bestehen vorzugsweise aus dem reinen Wasserdruck, der den Innengurt als Platte beansprucht, und aus den Belastungen durch die Schalen, die ihn auf Querkraft und -biegung beanspruchen.

Der Ringträger ist ebenfalls ein Kastenträger mit 1800 mm Höhe. An der Anschlußstelle des Bügels beträgt das Biegemoment zirka 360 tm, in der Symmetrieebene zirka 210 tm, bei einer gleichzeitigen Zugkraft von 145 t. Auf die Verbindung der beiden Träger wurde besonderer Wert gelegt und die Teilung für den Transport so gelegt, daß dieser Kreuzungspunkt im Werk geschweißt und spannungsfrei gegläht werden konnte. Wegen der großen Trägerhöhe mußte der Bügel auch längsgeteilt werden.

Die Wanddicken der Rohrschalen betragen 28 und 26 mm, das Gesamtgewicht eines solchen Hosenrohres damit 110 t.

Beim großen Hosenrohr (Bild 5) wird der Nahtträger durch 2 Ringträger entlastet. Der Nahtträger ist in der Symmetrieachse ebenfalls 3,5 m hoch und ebenfalls als Kastenträger ausgeführt. Das in der Symmetrieebene aufzunehmende Biegemoment beträgt 3100 tm, die gleichzeitig auftretende Normalkraft 2100 t. Die Entlastungsringe sind als Kastenträger 2500 bzw. 3300 mm hoch und haben Biegemomente von 1700 bzw. 2150 tm aufzunehmen. Auch bei diesem Hosenrohr wurde größter Wert auf eine sorgfältige Ausführung der Kreuzungspunkte gelegt und die Teilung wieder

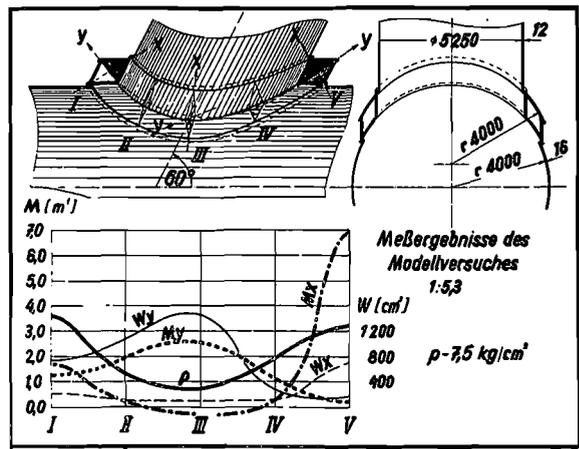


Bild 9: Modellversuche an dem Nahtträger eines Turbinenabzweigrohres 8000/5250 mm Durchmesser

so vorgenommen, daß diese Stellen im Werk geschweißt und gegläht werden können. Die Wanddicken der Rohre betragen 26 bis 21 mm, das Gesamtgewicht des Hosenrohres 285 t.

Die Ausbildung des T-Stückes mit 8 m Durchmesser unter dem Wasserschloß erfolgt ebenfalls mit kastenförmigen Nahtträgern und einem halbkreisförmigen Entlastungsträger in üblicher Ausführung. Die Konstruktion dieses Stückes bietet daher nichts Neues.

Laut Vertrag müssen sämtliche Formstücke auf der Baustelle einer Druckprobe unterzogen werden und wurden zu diesem Zweck entsprechende Abschlußdeckel mitgeliefert. Die Anlage ist derzeit in Montage und die beiden kleineren Hosenrohre haben die Druckprobe bereits ohne irgend besondere Ereignisse hinter sich (Bild 6). Das große Hosenrohr, das erst viel später nachbestellt wurde, befindet sich derzeit im Werkszusammenbau und wird noch in diesem Jahre zur Lieferung gelangen.

## Seyhan

Das Kraftwerk Seyhan liegt am Seyhan-Fluß, ungefähr 8 km nördlich von Adana in der südlichen Türkei. Es handelt sich hier um eine Anlage zur Gewinnung elektrischer Kraft, die gleichzeitig der Hochwasserkontrolle und der Bewässerung eines der fruchtbarsten Gebiete der Türkei mit subtropischem Klima dienen soll. Die Anlage (Bild 7) besteht im wesentlichen aus einem Erd-damm von etwa 50 m Höhe und 2000 m Länge, mit einem Hochwasserüberlauf, der durch 6 Segmentschützen, die ebenfalls von Österreich geliefert wurden, gesteuert wird. Der etwa 800 m lange Triebwasserstellen hat einen Durchmesser von 8 m und geht am Ende in die Verteilleitung über, die aus einem 90 m langen Rohr mit 8 m Durchmesser besteht und am Ende durch einen halbkugelförmigen Deckel abgeschlossen ist. Von dieser Hauptleitung zweigen die 3 Turbinenzuleitungsrohre mit je 5,25 m Durchmesser ab, die zu je einer Turbine führen, während am Ende 2 Rohrbogen mit je 3 m Durchmesser an die Bewässerungsventile angeschlossen sind, die bei abgeschalteten Turbinen die Ebene von Adana mit

Wasser zu versorgen haben. Jede Turbinenrohrleitung trägt ein Differentialwasserschloß mit 19,5 m Durchmesser und 40,5 m Höhe, welches durch ein T-Stück mit der darunter liegenden Rohrleitung verbunden ist.

Die Druckrohrleitungen wurden aus einem Stahl nach der amerikanischen Norm für Kesselbleche A 285 mit einer Streckgrenze von 21,1 kg/mm<sup>2</sup> hergestellt. Laut Vertrag war die Rohrleitung für einen Betriebsdruck von 5 atü zu berechnen, der auf der Strecke zwischen den Wasserschlossern und den Turbinen auf 5,6 atü ansteigen sollte. Da der normale statische Druck bezogen auf Unterkante Rohrleitung max. 45,5 m beträgt und nur bei Hochwasser auf 50 m ansteigen kann, wurde eine zulässige Spannung von 60% der Streckgrenze, d. s. 1267 kg/cm<sup>2</sup>, zugelassen. Diese Spannung ist für einen Betriebslastfall ziemlich hoch und es war daher die ganze Rohrleitung sorgfältigst zu konstruieren. Die Wanddicken wurden für die 8-m-Rohrleitung mit 16 mm und für die 5,25-m-Rohrleitungen mit 12 mm festgelegt; dies entspricht einer Ringspannung von 1250 kg/cm<sup>2</sup>.

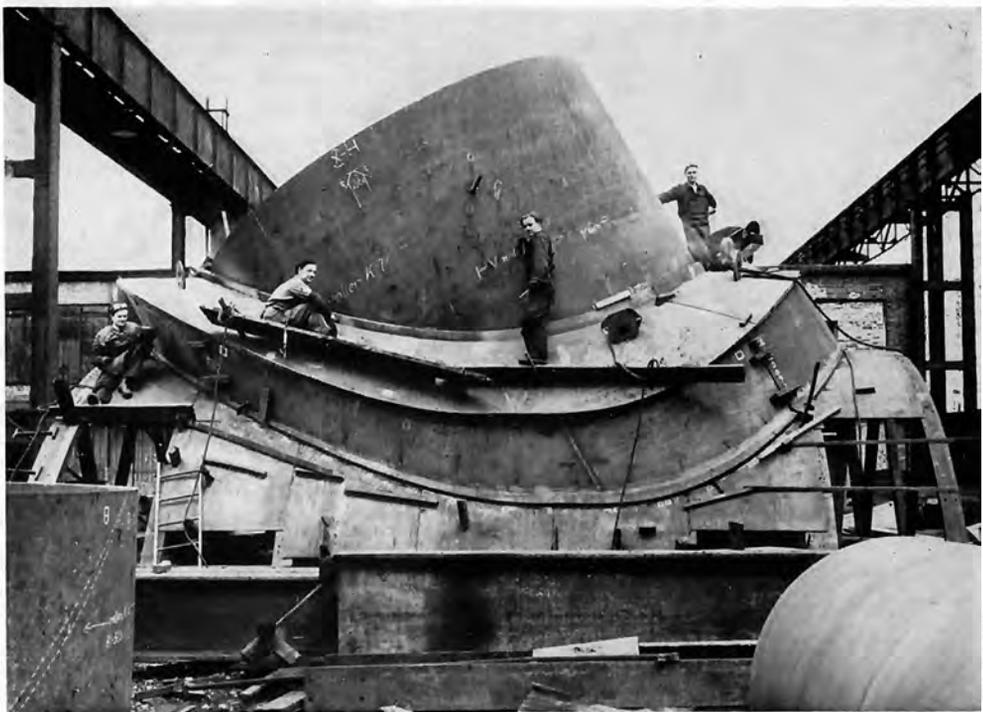
Für die Wasserschlößer wurde der Sonderstahl Aldur 44 mit 29 kg/mm<sup>2</sup> Mindeststreckgrenze gewählt. Bei dem normalen statischen Wasserspiegel 8,5 m unterhalb der Behälteroberkante und einer gleichzeitig wirkenden waagrechten Erdbebenlast von 10% der senkrechten Gewichte war eine Spannung von 45% der Streckgrenze zugelassen, die bei überlaufendem Tank und ebenfalls gleichzeitiger Erdbebenbelastung keinesfalls 60% der Streckgrenze überschreiten durfte. Hieraus ergaben sich von oben nach unten gestufte Wanddicken zwischen 7 und 29 mm. Wegen der auftretenden seitlichen Kräfte durch Erdbeben bzw. Wind bei leerem Behälter mußte dieser verankert werden, wofür am Umfang 120 Ankerschrauben 2 1/4" Durchmesser bei einer zulässigen Spannung im Kernquerschnitt von 1000 kg/cm<sup>2</sup> angeordnet werden mußten.

Das T-Stück unterhalb des Wasserschlosses ist in der üblichen Form mit 2 eingeschweißten Nahtträgern und einem der Entlastung dienenden halbkreisförmigen Ring ausgebildet. Wegen der großen Durchmesser und Kräfte wurden die Träger zweiwandig ausgeführt. Die größten auftretenden Momente und Zugkräfte betragen 100 tm bzw. 400 t. Der Ring ist, da er von beiden Nahtträgern belastet wird, höher beansprucht, und zwar beträgt das Moment 170 tm, die Normalkraft jedoch nur 60 t.

Der Vertrag schrieb vor, daß die Hauptleitung mit 8 m Durchmesser und die Abzweigstücke mit 5,25 und 3,0 m Durchmesser vor dem Einbetonieren einem Probedruck mit 7,5 atü zu unterziehen waren. Zu diesem Zweck wurde auch am Hauptrohrleitungseintritt ein Halbkugeldeckel vorgeschweißte und in die 3 Abzweige hinter den Abzweigstücken je ein Halbkugeldeckel eingeschweißte. Die Abzweige 3,0 m Durchmesser wurden mit Blindflanschen verschlossen.

Das Bild 8 zeigt die Rohrleitung während der Druckprobe und es ist am mittleren Abzweig deutlich der eingeschweißte Deckel zu erkennen, während am ersten Abzweig bereits weitergearbeitet wird. Für die Druckprobe mußten sämtliche Schweißnähte zugänglich bleiben und es wurde daher das Hauptrohr in 4 m Entfernung in Ringen gelagert, die für eine Belastung von je 220 t zu bemessen waren. Durch geschickte Konstruktion gelang es, diese Ringe verhältnismäßig klein zu halten, sie bestehen aus einem Steg 280 × 20 und einer außen aufgeschweißten Lamelle 160 × 35, ohne irgendwelche Aussteifungen des Stegbleches. Die Rohre 5,25 m Durchmesser wurden, da sie ursprünglich auch teilweise in die Druckprobe einbezogen werden sollten, in Abständen von etwa 8 m gestützt, wobei der Auflagerdruck etwa 195 t beträgt. Trotzdem die Ringe während der Druckprobe rechnerisch etwa mit 1400 kg/cm<sup>2</sup> beansprucht waren und sicher große innere Schweiß-

Bild 10: Nahtträger im Werkszusammenbau



spannungen und vermutlich auch Zusatzspannungen infolge Unrundheit vorhanden waren, ist kein einziger Schweißnahtriß aufgetreten.

Für die Abzweigstücke wurde eine eigenartige Konstruktion entwickelt (Bild 9), die aber dem Grundsatz folgt, die auftretenden Kräfte möglichst unmittelbar an ihrer Entstehungsstelle aufzunehmen. Die Konstruktion besteht aus einem geschweißten kastenförmigen und daher sowohl biegungs- als auch torsionssteifen Ring, dessen Abmessungen zunächst durch Vergleich mit einem senkrechten Abzweig größeren Durchmessers geschätzt wurden. Da eine Berechnung dieses Ringes mit einem praktisch vertretbaren Zeitaufwand nicht durchführbar war, wurde ein Modell im Maßstab 1 : 5,34 angefertigt. Die Abmessungen dieses Modells waren daher: Hauptrohr 1500 mm Durchmesser  $\times$  3 mm Wand, Abzweig 984 mm Durchmesser  $\times$  2 mm Wand, Wanddicke des Kastenträgers 9 mm und Seitenlänge des umlaufenden Rhombus 205 mm. Zunächst wurden keine Dehnungsmessungen durchgeführt, sondern nur die radiale Aufweitung des Ringes bis zum Bruch gemessen, da dies als ein Maß für die Größe der Beanspruchung anzusehen war. Beim Probedruck von 7,5 atü betrug diese Aufweitung ungefähr 8,1 mm und ging bei Entlastung elastisch zurück.

Bild 11: Montage der Wasserschloßbehälter für das Kraftwerk Seyhan



Beim Überschreiten von 10 atü, dies entspricht dem doppelten Betriebsdruck, traten sichtbare Ausbeulungen der Rohrwand ein, da mit 2500 kg/cm<sup>2</sup> Ringspannung die Streckgrenze überschritten war. Bei 12 atü erfolgte der Bruch in der Rundnaht des Hauptrohres, da bei diesen geringen Wanddicken eine einwandfreie Schweißung nur schwer möglich ist. Die Versteifungskonstruktion blieb jedoch vollkommen unverformt und zeigte keinerlei sichtbare Beschädigung. Die angenommenen Abmessungen wurden deshalb beibehalten und der Ausführung zugrundegelegt.

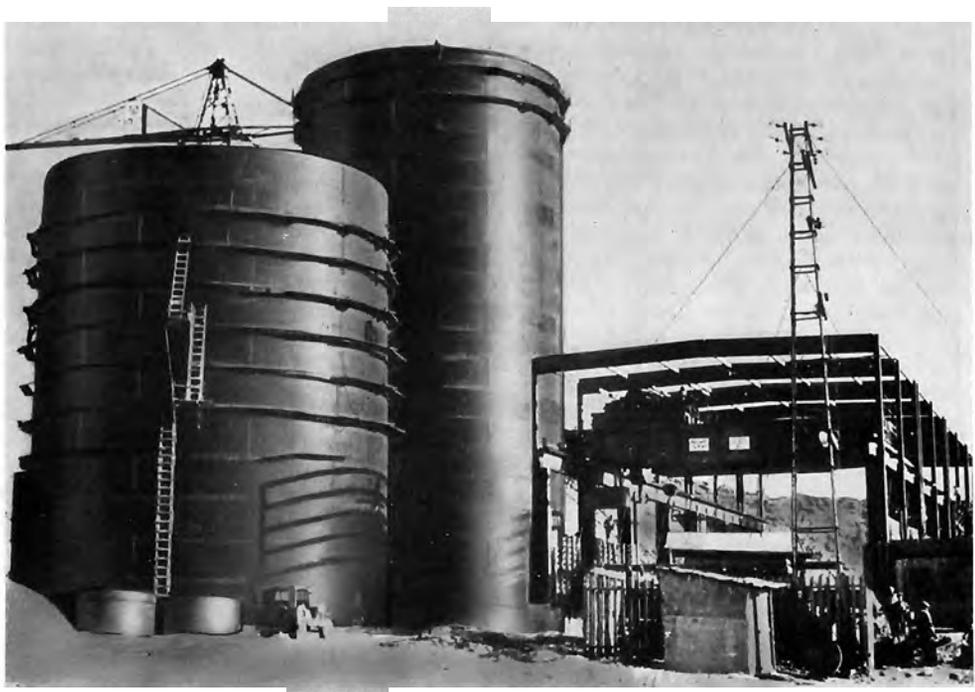
Der Auftraggeber gab sich jedoch mit der Gewißheit einer elastischen Verformung auch beim doppelten Betriebsdruck nicht zufrieden, sondern verlangte gemessene Spannungswerte. Da der Querschnitt des Versteifungsträgers an jeder Stelle annähernd einen Rhombus darstellt, konnte durch die Messung der Dehnungen an den drei von außen zugänglichen Eckpunkten die Spannung an der Verschneidungslinie im vierten innen liegenden Eckpunkt rechnerisch ermittelt werden. Insgesamt wurden in den gezeichneten fünf Punkten des Versteifungsträgers Messungen durchgeführt. Aus den gemessenen Dehnungen wurden die Biegemomente um die Querschnittshauptachsen und die Längskräfte berechnet und diese sind zusammen mit den zugehörigen Widerstandsmomenten aufgetragen worden. Es ist nun zu sehen, daß die Widerstandsmomente des Trägers sich ähnlich mit den auftretenden Biegemomenten ändern, woraus sich eine sehr wirtschaftliche Konstruktion ergibt.

Bei den Dehnungsmessungen wurde in jedem Querschnitt ein vierter Kontrollpunkt gemessen und dabei eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Meßresultate festgestellt. Auch die Auftragung der Biegemomente ergab eine Kurvenform, aus welcher zu entnehmen war, daß die Meßergebnisse mit keinen großen Fehlern behaftet sein konnten. Der ganze Versuch zeigte, daß die Spannungen im Querschnitt 5 am höchsten waren, daß aber die zugelassenen Werte nirgends überschritten, wohl aber nahe erreicht wurden. Damit war nun endgültig bewiesen, daß die Konstruktion auch spannungsmäßig ausreichte, und sie wurde vom Auftraggeber zur Fertigung freigegeben.

Die Abnahme des Materials und der Werkstattarbeiten war der Hunt-Company übertragen worden. Die Blechabnahme wurde jedoch nicht nach der Norm A 285, d. h. mit blechweiser Abnahme, sondern wegen der Kostenersparnis nach A 283, d. h. nur mit chargenweiser Abnahme durchgeführt. Die Abnahme der Aldurstähle erfolgt ebenfalls chargenweise nach den Lieferbedingungen der VOEST. Die Abnahme selbst zeigte nichts Bemerkenswertes.

Die Abnahme im Werk erstreckte sich bei den Blechen auf eine Maßkontrolle und eine Kontrolle der angearbeiteten Schweißkanten. Die Rohrleitung 8,0 m Durchmesser wurde in Drittelschalen, die kleineren in Halbschalen und das Wasserschloß in 8-teiligen Ringen geliefert. Die Bleche wurden in üblicher Weise für den Versand gebündelt und an ihrer Stirnseite mit einem Querträger versehen, damit die Pakete am Kran senkrecht hingen. Infolgedessen konnten die Pakete im Schiff mit einem äußerst geringen Raumbedarf gestapelt werden.

Bild 12: Wasserschloßbehälter und Krafthausstahlskelett Seyhan



Sämtliche Formstücke mußten im Werk probe- weise zusammengebaut werden, ebenso auch der Anschluß des Wasserschloßsteigrohres an das konische Verbindungsrohr zu den Turbinenzulei- fungen.

Eine genaue Untersuchung der Montage der Ausschnittsversteifungen an den Formstücken er- gab, daß diese am besten bei Anordnung von Kehlnähten zwischen den Versteifungsringen und den Blechschalen durchzuführen sein würde und eine Abschätzung der Beanspruchungen dieser Kehlnähte zeigte die Ausführungsmöglichkeit. Bei Anordnung von Stumpfnähten zwischen den Naht- verstärkungsringen und den Schalenblechen war zu erwarten, daß die dort auftretenden Schrumpf- spannungen wesentlich unangenehmer sein wür- den.

Das nächste Bild 10 zeigt den Zusammenbau eines dieser Ringe im Werk. Die Blechdicke be- trägt 48 mm, die Seitenlänge des Rhombus 1100 mm und das Gesamtgewicht eines solchen vierteilig gelieferten Ringes etwa 32 t. Auf dem Bild ist deutlich zu sehen, wie der Ring zusammen- gesetzt worden ist. Die unter etwa 45 Grad zu den Hauptachsen liegenden Teilfugen, die in den Wandblechen gegeneinander versetzt wurden, sind ebenso wie die großen Ausmaße dieser Kon- struktion deutlich zu erkennen. In gleicher Weise wurden auch die Ringe für die 3-m-Abzweigungen hergestellt.

Besondere Schwierigkeiten ergaben sich bei der Montage auf dieser Großbaustelle. Die kurze zur Verfügung stehende Montagezeit von etwa zehn Monaten verlangte bei dem riesigen Schweiß- volumen den dauernden Einsatz von etwa 30 bis 35 Schweißern, die alle dem dort herrschenden, fast tropischen Klima, gehört doch diese Baustelle zu den heißesten Punkten des Mittelmeeres, ge- wachsen sein mußten. Die großen notwendigen Energiemengen führten anfangs laufend zu Stö-

rungen in der Stromversorgung. Trotzdem können wir heute, nachdem das letzte Wasserschloßblech montiert ist, sagen, daß diese Arbeit ohne irgend- welche Fehlschläge durchgeführt werden konnte.

Die Rohrlängs- und Rundnähte wurden mit einer automatischen Schweißanlage geschweißt. Es wur- den planmäßig immer vier Schüsse mit je 2 m Breite zu einem Rohr von 8 m Länge einschließlich der zugehörigen Auflagerringe auf dem Rohrferti- gungsplatz zusammengesetzt. Diese 8 m langen Rohre wurden dann nach Aussteifung mit Speichen- sternern mit einem Sonderfahrzeug zur Einbaustelle gebracht.

Die Abzweigverstärkungsringe wurden auf einer Schablone zusammengeschweißt und dann auf das Hauptrohr aufgesetzt. Da alle Schweißarbei- ten mit größter Sorgfalt gemacht wurden und sämt- liche komplizierten Teile bereits im Werk genau zusammengepaßt worden waren, ging die Druck- probe ohne irgendwelche Schwierigkeiten vor sich und war innerhalb von 6 Stunden beendet. Leider konnten die vorgesehenen Dehnungsmessungen an einem Abzweigstück, die der Kontrolle der am Modell gemessenen Dehnungen dienen sollten, nicht durchgeführt werden, da die Meßgeräte wegen Transportschwierigkeiten nicht rechtzeitig eintrafen. Eine Verzögerung der Druckprobe war nicht zulässig und so mußten wir zu unserem Be- dauern auf die Durchführung dieser sicher sehr interessanten Versuche verzichten.

Das Bild 11 zeigt die Montage der Wasser- schlosser und ist von besonderem Interesse, da verschiedene Montagezustände zu sehen sind. Das erste Wasserschloß rechts befindet sich gerade am Beginn der Montage. Deutlich ist in der Mitte das sich mit Konsolen auf den Wasserschloßabzweig abstützende Steigrohr zu sehen; vom Mantel ist gerade der erste Schuß mit den Verankerungs- schrauben verlegt und zum Einbefonieren berei- gestellt. Ungefähr die untere Hälfte jedes Wasser-

schlosses wurde mit einem amerikanischen fahrbaren Kran durchgeführt, dessen große Ausladung von etwa 25 m auf dem Bild deutlich zu sehen ist. Das Steigrohr wurde in 6-m-Schüssen auf dem Rohrfertigungsplatz zusammengeschweißt und diese dann aufgesetzt, die Mantelbleche wurden einzeln montiert, geheftet und geschweißt. Nach Erreichung der halben Höhe reichte der amerikanische Kran nicht mehr aus und die Montage wurde mit einem eigens entwickelten Sondergerät, einem im Steigrohr befestigten und darin hochkletternen Drehkran fortgesetzt. Dieses Gerät ist auf dem zweiten Wasserschloß deutlich zu erkennen, wie auch die Voreilung der Steigrohrmontage zu sehen ist. Das dritte Wasserschloß ist bereits fertig montiert und es sind daran nur mehr Schweißarbeiten auszuführen.

Das Bild 12 zeigt des Interesses halber die riesigen Abmessungen der Wasserschloßbehälter gegenüber dem Krafthaus.

Der Anstrich wird vollkommen auf der Baustelle ausgeführt. Alle Innenflächen werden sandgestrahlt, dann mit einem amerikanischen Kalt-

Bitumenlack gestrichen und schließlich wird ein ebenfalls aus Amerika stammender Heißanstrich mit einem sehr hohen Erweichungspunkt unter sehr großen Schwierigkeiten aufgetragen. Die Außenflächen der Wasserschloßbehälter werden mit Ölfarbe gestrichen.

Damit bin ich am Schluß meiner Ausführungen angelangt und hoffe, daß ich Ihnen einen kurzen Überblick über unsere interessanten Arbeiten geben konnte. Durch Verbesserungen in der Berechnung und der Konstruktion, durch Verwendung eigens für Druckrohrleitungen entwickelter Blechwerkstoffe und durch beste Werkstatt- und Montagearbeiten gelang uns die Herstellung international wettbewerbsfähiger Druckrohrleitungen. Die Ihnen gezeigten Bilder dürften wohl den Beweis erbracht haben, daß wir als kleines Land doch schon einiges geleistet haben und uns auf dem richtigen Wege befinden. Durch intensive Weiterarbeit wollen wir das in uns gesetzte Vertrauen rechtfertigen und dafür sorgen, daß unser Name aus dem internationalen Druckrohrleitungsbau nicht mehr verschwindet.

### Diskussion:

Prof. Reinitzhuber eröffnet auch diese Diskussion mit der Frage, wie es um den Erfahrungsstand mit den Spannbetondruckrohren nach Prof. Finsterwalder mit 3 mm Stahlblechhaut steht. Hierbei wird erwähnt, daß für den Saloniendücker des Lünenerseewerkes solche Projekte verlangen. Während beim Spannbetonrohr die Querdehnung nur  $\frac{1}{6}$  bis  $\frac{1}{30}$  gegenüber  $\frac{3}{10}$  bei Stahl beträgt und auch die Beulgefahr beurteilt werden muß, blieben doch die Einwände hinsichtlich momentaner Stoßbelastungen bei Druckrohrleitungen und die damit verbundene Sprödbruchgefahr berechtigt. Das Stahlrohr dürfte hierbei hinsichtlich Sprödbruchanfälligkeit jedoch besser wegkommen, besonders seit der Verwendung der Aldur- und sonstigen beruhigten Stähle.

Prof. Tölke wendet hier ebenfalls ein, daß Spannstähle sehr spröde und für Druckrohre vorerst wohl noch etwas gewagt seien. Bei einem Hosenrohrprojekt von 8,45 m Durchmesser hätte auch die Herstellung der nicht kreisförmigen Querschnittsformen größte Schwierigkeiten ergeben. Die Steilheit der Wellenfront und nicht nur die Größe des Druckstoßes ist von Wichtigkeit.

Prof. Sattler bemerkt, daß für den Beton innerhalb von Stahlrohren hohe Würfestigkeiten notwendig sind. Um eine genügende Dichtigkeit des Betons zu erhalten, müssen die Rohre beim Einfüllen des Betons vibriert werden.

Dr. Chwalla wiederholte, daß die Wahl bandagierter Druckrohre dem Bauherrn überlassen ist und daß zur Frage der Inanspruchnahme der plastischen Reserve des Blechwerkstoffes zur Erzielung wirtschaftlicher Vorteile noch keine Stellungnahme der Wasserrechtsbehörde vorliegt, da eine solche Inanspruchnahme seitens der Bauherren bisher noch nicht erwogen worden ist; in sachlicher Hinsicht wäre hier zwischen den Rohren des Triebwasserweges vor dem Wasserschloß und den dynamisch stärker beanspruchten Rohren der Falleitung zu unterscheiden. Bei der Konstruktion der Formstücke der dynamisch sehr stark beanspruchten Verteilrohrleitungen wird angestrebt, auch in den örtlich eng begrenzten Zonen der Spannungshäufung eine wenigstens 1,3-fache Sicherheit gegen Fließen zu erzielen. Was den für den technischen Fortschritt so wichtigen Erfahrungsaustausch anbelangt, wäre anzuregen, auch über alle Schadensfälle oder Mängel in der Bewährung offen zu berichten.

Dr. Marincek berichtete, daß in Jugoslawien ebenfalls für Druckrohre im Berg keine Felsmitwirkung eingerechnet werden darf, daß jedoch Mehsergebnisse vorliegen, wo bisweilen der Stahlmantel nur bis zu 30% der Wasserlast aufzunehmen braucht. Er nannte ein Beispiel eines Rohres mit 5,00 m Durchmesser und Wandstärke 17 mm, mit Steifenabstand gegen seitliches Einbeulen von 1,50 m, bei einer Druckhöhe von 100 m, mit 50% Stoßzuschlag. Die Schweißnahtprüfung erfolgt mit Ultraschall und dort wo nötig mit Röntgenfilm.

Dr. Chwalla sagte, daß die ihm bekannt gewordenen Prozentsätze der Gebirgsmitwirkung bei den Druckstollen und Druckschächten zwischen 28 und 90% liegen und somit sehr stark streuen. Die in Österreich für die Panzerrohre zugelassenen Spannungen fußen auf Gebirgsmitwirkungen von 35% und (unter besonders günstigen Verhältnissen) von 45%; es sind dies obere Grenzwerte, denn bei örtlich schlechterem geologischen Befund, geringerer Überlagerung oder größerer Auflockerung des Gebirges muß der Gebirgsanteil zwischen Null und jenen Werten interpoliert werden. Die Diskussion wandte sich dann der Frage des Spannungsfreiglühens der Baustellennähte zu. Da hier nicht das ganze Rohr, sondern nur die Nahtzone gegläht wird und auf der Einbaustelle des Rohres mit großen Temperaturgefällen gerechnet werden muß, ist das Glühen der Baustellennähte — wie Präsident Dr. Kolbrunner hervorhob — nicht immer von Vorteil und bringt unter Umständen nichts weiter als eine Verlagerung der Zonen mit dem unerwünschten Spannungs- und Werkstoffzustand. In der Schweiz werden besondere Aufhärtungsprüfungen nicht verlangt, sondern in der Regel nur die Kohlenstoffgehalte geprüft; in vielen Fällen könnte vom Zwang zur Glühung auf der Baustelle abgesehen werden. Dr. Chwalla wies darauf hin, daß beim Druckschacht Limberg auf das Glühen der Montagerundnähte einvernehmlich verzichtet worden ist. Die zulässige Spannung braucht in Österreich nur dann auf das 0,9-fache reduziert werden, wenn tragende Längsnähte nicht gegläht werden. Bei Stählen mit Streckgrenzen von 37 bis 40 kg/mm<sup>2</sup> müssen alle Nähte, also auch die Montage-Rundnähte gegläht werden und bei Stählen mit kleineren Mindeststreckgrenzen wird die Aufhärtungsneigung (etwa mit der Jominy-Endabschreckprobe oder mit dem Kohlenstoff-Äquivalent) studiert und bei den Montage-Rundnähten das Glühen bei großen Wanddicken nötigenfalls gefordert.

# Die Stahlkonstruktion im neuzeitlichen Krafthausbau

Von Prof. Dr. techn. Ludwig Musil, Vorstandsmitglied der Steirischen Wasserkraft- und Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, Graz

Innerhalb einer Kraftanlage bildet das sogenannte „Krafthaus“ das eigentliche Kernstück, denn es schließt die Einrichtungen zur Umwandlung der Rohenergie in die elektrische ein. Bei Wasserkraftanlagen repräsentiert es sich im Maschinenhaus, bei Dampfkraftwerken wird es durch den Baukörper gebildet, der Kessel, Turbosätze und die zugehörigen Hilfsmaschinen aufzunehmen hat.

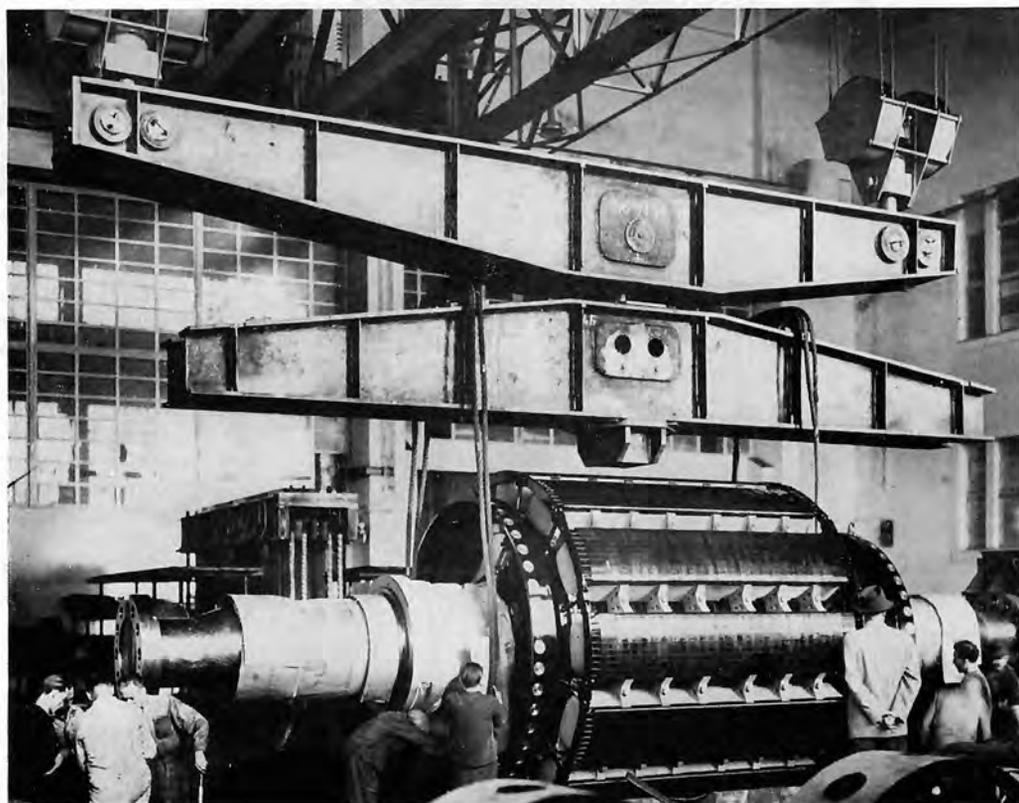
Im neuzeitlichen Krafthaus findet die Stahlkonstruktion mannigfache und zunehmende Verwendung, nicht zuletzt eine Folge der Fortschritte in der Schweißtechnik, die immer mehr zum Ersatz von gegossenen Teilen führte und wirtschaftlichere Lösungen von Konstruktionsaufgaben ermöglichte. Die Stahlkonstruktion finden wir daher nicht nur als Ausführungsform des Gebäudes oder beim Maschinenhauskran, sondern auch bei wichtigen Einrichtungsteilen des Krafthauses; in Wasserkraftwerken sind es die Turbinenspiralen, die davor liegenden Absperrorgane, die Saugrohrpanzerungen, Tragkonstruktionen der Maschinen und die unterwasserseitigen Verschlüsse, in Dampfkraftwerken die Kesselgerüste, die Maschinenfundamente, bei beiden Kraftwerkstypen aber auch die Gehäuse der Generatoren. Bereits die Aufzählung all dieser Bauelemente, die durch das mir gestellte Vortragsthema erfaßt werden, bringt mich in eine gewisse Verlegenheit: Wie kann man bei der Fülle des Stoffes im Hinblick auf die zur Verfügung stehende Sprechdauer den in das Referat gesetzten Erwartungen einigermaßen gerecht werden? Dazu kommt, daß ich nicht Stahlbauer bin, sondern, vom Kraftwerksbau herkommend, gewissermaßen als Außenseiter spreche. Ich bitte daher um Verständnis, wenn ich aus zeitlichen und fachlichen Gründen das Schwergewicht nicht auf das rein Konstruktive, sondern auf das Anwendungsmäßige lege und versuche, die Bedeu-

tung neuzeitlicher Stahlkonstruktion für den Krafthausentwurf mit seinen Einrichtungen darzulegen. Wenn dabei das Dampfkraftwerk im Rahmen meiner Ausführungen einen verhältnismäßig breiten Raum einnimmt, so nicht, weil ich vielleicht die Rolle der Wasserkraftwerke geringer schätze, sondern weil die Stahlkonstruktion gerade im modernen Dampfkraftwerksbau neuen Entwurfsideen zum Durchbruch verhalf, die eine wesentliche Vereinfachung und damit Herabsetzung der Kosten des baulichen Teiles erwarten lassen.

Bringt man die Stahlkonstruktionen gedanklich mit dem Maschinenhaus eines Kraftwerkes in Verbindung, so ist es naheliegend, zunächst an das Gebäude selbst zu denken. Bei Betrachtung von neueren in- und ausländischen Werken wird man aber finden, daß im Kraftwerkshochbau die Stahlkonstruktion gar nicht so häufig anzutreffen ist; mehr noch bei den Maschinenhäusern von Dampfkraftwerken als bei Wasserkraftanlagen. In der Stahlbetonkonstruktion, vor allem in der Fertigträgerbauweise, ist der reinen Stahlkonstruktion zweifellos ein ernsthafter Konkurrent entstanden.

Für den Bauherrn sind bei der Entscheidung über die Bauweise des Krafthauses im wesentlichen drei Punkte maßgebend: Die Wirtschaftlichkeit, die Terminfrage und architektonische Gesichtspunkte. Zur Frage der Wirtschaftlichkeit ein praktisches Beispiel aus jüngster Zeit: Ein für das Maschinenhaus Hiefau angestellter Vergleich zwischen Stahl- und Betonbauweise zeigt, daß das Verhältnis der Kosten von 1 t Stahlkonstruktion zu 1 m<sup>3</sup> Eisenbeton 3,9 beträgt. Die Stahlkonstruktion wäre kostenmäßig gegenüber der Betonkonstruktion dann gleichwertig, wenn bei gleichem Preis für 1 m<sup>3</sup> eingebrachtem Eisenbeton der Kostenkoeffizient Stahl zu Beton 3,25 betragen würde.

Bild 1: Kraftwerk Kaprun. Schwenkbare Tragbrücke



Man sieht also, daß die Wettbewerbsfähigkeit der Stahlkonstruktion im Hochbau weitgehend von diesem, in den einzelnen Ländern stark abweichenden Preisverhältnis abhängig ist.

Terminlich gesehen, ist die Stahlkonstruktion vor allem auch durch die geringere jahreszeitliche Abhängigkeit überlegen, wenn auch nicht verschwiegen werden darf, daß Beschaffungsschwierigkeiten auf der einen Seite, die Fertigteilbauweise auf der anderen Seite ein Näherücken der Bauzeiten mit sich bringen. Entscheidend sind aber vielleicht, wieder aus der Perspektive des Bauherrn her gesehen, architektonische Momente. Soll beim Wasserkraftwerk der wuchtige, aus der Erde aufsteigende Betonkörper des Turbinenblocks nach oben im gleichen Baustoff seine Fortsetzung finden oder die Harmonie des Materials bewußt unterbrochen werden? Hier unterscheiden sich die Voraussetzungen bei Dampf- und Wasserkraftwerken von den Gegebenheiten her in grundsätzlicher Weise. Die Verhältnisse beim Krafthaus von Dampfanlagen kommen deshalb, wie wir noch sehen werden, mehr der Stahlkonstruktion entgegen, als dies bei Wasserkraftwerken der Fall ist.

In einem gewissen Zusammenhang mit dem Krafthausbau steht der *Maschinenhauskran*. Hier wandelte die Schweißtechnik merkbar das äußere Bild der Konstruktion. Sie kommt dem Streben nach einer gefälligeren architektonischen Gestaltung entgegen. Die wachsenden Maschinengrößen verlangten im gleichen Maße eine steigende Tragfähigkeit, sie führten in einer Reihe von Fällen zur anpassungsfähigeren Lösung der Verteilung der Höchstlast auf zwei Krane und als Folge davon zu ganz interessanten Spezialkonstruktionen, wie z. B. die geschweißte schwenkbare Tragbrücke für 180 t Höchstlast, bestimmt für die Montage der schweren Maschinen der Oberstufe Kaprun (Bild 1). Die Brücke hat bei einer Länge von 8,3 m eine Tragfähigkeit von 160 t und ein Eigengewicht von 17 t.

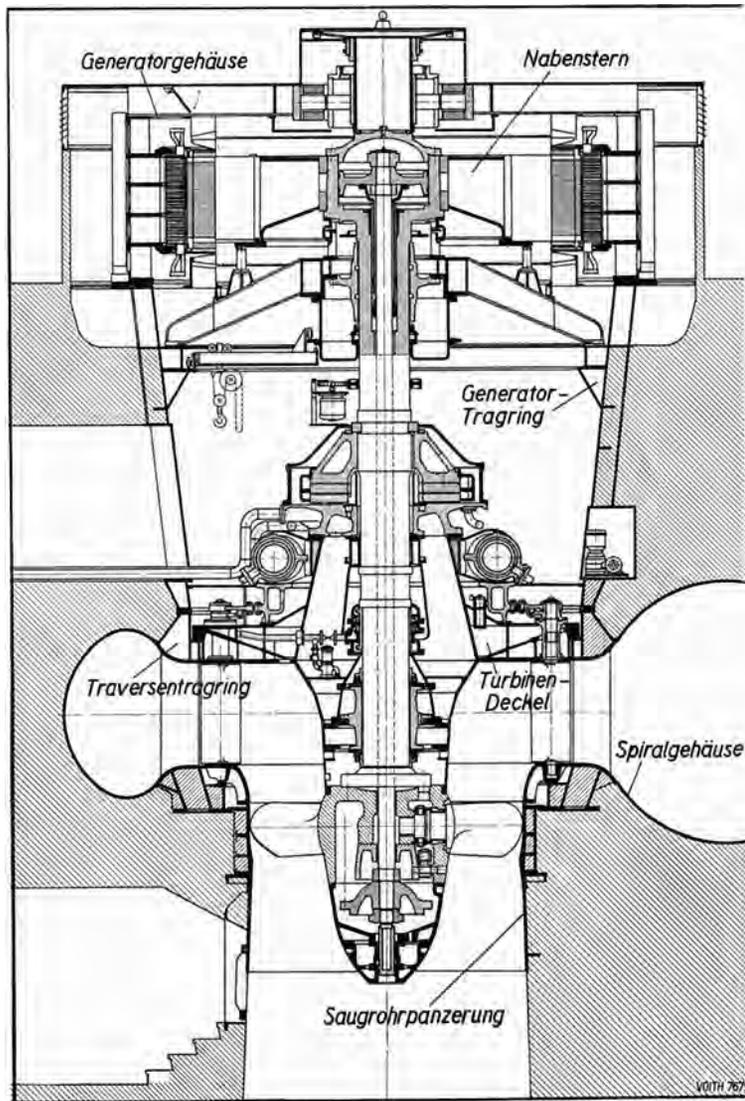
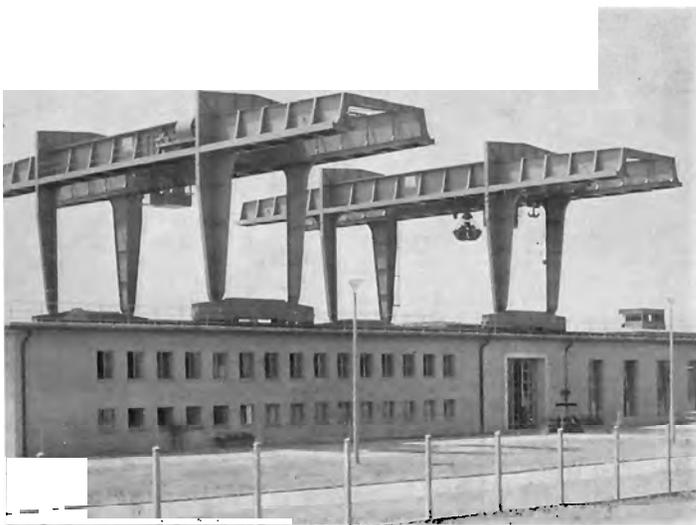


Bild 3: Schnitt durch einen Maschinensatz mit stehender Welle. N = 33 800 PS

Bild 2: Kraftwerk Simbach-Braunau. Portalkrane für je 100 t Tragkraft Waagner-Biró AG, Wien-Graz



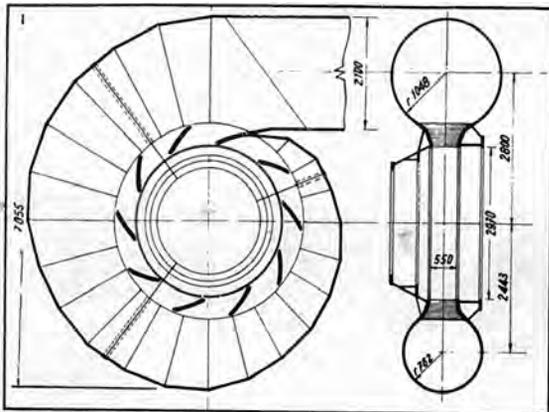
Besondere Anforderungen an das Gestaltungsvermögen des Kranbauers stellen die Freiluft-Laufkraftwerke, wie sie vor allem am Inn, aber auch an der Donau zu finden sind. Neben der technischen Aufgabe liegt hier in noch ungleich stärkerem Maße als bei Innenraumanlagen eine architektonische vor, denn der Kran ist bei diesem Bautyp von Wasserkraftwerken das sich gegen den Himmel als Silhouette abhebende, hervorstechende Bauelement. Eine gut gelungene Lösung zeigt Bild 2, das den Portalkran des Innkraftwerkes Simbach-Braunau wiedergibt. Sie legt Zeugnis für den Stand des modernen Stahlbaues ab.

Geradezu umwälzend aber hat die Entwicklung der Schweißtechnik auf die konstruktive Ausbildung der maschinellen Einrichtungen von Wasserkraftwerken gewirkt. Mögen sie für die Stahlbauern lieferungsmäßig nicht die Bedeutung haben wie der Wehr- und Rohrleitungsbau, so sind sie doch technisch zweifellos sehr interessant. Der

Übergang von gegossenen Teilen zur geschweißten Stahlkonstruktion brachte eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, daneben aber durch Ausschaltung der scheinbar auch heute noch unvermeidlichen Fehlgüsse eine größere Sicherheit im immer mehr den Inbetriebsetzungstermin einer Wasserkraftanlage bestimmenden Liefertermin der maschinellen Einrichtungen.

Betrachten wir den maschinellen Teil eines Wasserkraftwerkes, so finden wir die geschweißte Stahlkonstruktion, beginnend mit den Absperrorganen vor den Turbinen, an zahlreichen Bauelementen des Maschinensatzes selbst. In Bild 3 wurde versucht, im Schnitt eines Maschinensatzes die Teile hervorzuheben, die heute bei größeren Aggregaten fast ausschließlich in geschweißter Stahlkonstruktion ausgeführt werden. Es sind dies, abgesehen von den bereits erwähnten Abschlußorganen, vornehmlich: Das Spiralgehäuse der Turbine, der sogenannte Traversenring, der Turbinendeckel, die Saugrohrpanzerung, der Generatortragring, der Armstern, bei größeren Maschinen der Nabenstern und schließlich das Generatorgehäuse.

Bild 4: Spiralgehäuse einer Francis-Turbine 29 000 PS  $Q_u = 33\text{m}^3/\text{sec}$



Die Kräfte Wirkung auf diese Teile ist mannigfacher Art. Ihre Ausführung mit möglichst geringem Materialaufwand bei den verhältnismäßig großen Abmessungen, der wirtschaftliche Sinn der Schweißkonstruktion gegenüber dem Gußkörper, erfordert vor allem Erkenntnisse über den richtigen Weg, diese Konstruktion verwindungssteif zu machen. Auch wenn die Betriebskräfte nicht verwindend wirken, so verlangt zumindest das Aufspannen auf Werkzeugmaschinen, Transport und Montage ausreichende Verwindungssteifigkeit.

Gestatten Sie mir nun einige interessante Ausführungsbeispiele für die vorhin erwähnten Bauteile. Zunächst eine große Drosselklappe für ein mexikanisches Wasserkraftwerk mit einem Gehäusedurchmesser von 3460 mm, für einen Betriebsdruck von 3,4 atü, entsprechend einem Probedruck von 7,8 atü. An dieser Drosselklappe ist beachtenswert, daß nicht nur das Gehäuse, sondern auch der Teller vollkommen geschweißt wurde, eine Lösung, die meines Wissens neuartig und nach Meinung des Herstellers bei größeren Abmessungen den Stahlgußtellern wirtschaftlich überlegen ist.



Bild 5: Turbinen-Traversenring „Jxtapantongo“ (Mexiko), vorbereitet zum Schweißen. J. M. Voith, St. Pölten

Im Zusammenhang mit den Turbinen dürfte für den Stahlbauer wohl das Spiralgehäuse das interessanteste Objekt, vor allem hinsichtlich Größe, Verwindungssteifigkeit und Genauigkeit, darstellen. Hiezu ein Beispiel aus neuester Zeit, nämlich das Spiralgehäuse der 29.000-PS-Turbine des vor der Fertigstellung stehenden Kraftwerkes Hiefrau (Bild 4). Die Abmessungen sind aus der Zeichnung zu ersehen. In Ergänzung dazu wäre noch zu erwähnen, daß die Fallhöhe rund 80 m und der Probedruck 14 atü beträgt. Das vollkommen geschweißte Gehäuse wurde aus Transportgründen dreiteilig zur Baustelle geliefert. Der größte Außendurchmesser beträgt 7400 mm.

Der sogenannte Traversen- oder richtiger bezeichnet Stützschaufelring bildet bei geschweißten Konstruktionen einen Teil des Spiralgehäuses, er dient zu dessen Versteifung. Dieser Stützschaufelring ist in Bild 4 im Querschnitt hervorgehoben, sein Anschluß an die eigentliche Spirale im Detail noch besonders herausgezeichnet. Bild 5 zeigt nun einen solchen Traversenring, vorbereitet zum Schweißen für eine nach Mexiko gelieferte Turbine mit 76.000 PS Leistung bei 311 m Fallhöhe. Der Durchmesser beträgt rund 3600 mm. Man erkennt aus diesem Werkfoto deutlich die in die beiden Deckbleche eingesetzten Stützschaufeln, die sowohl als Versteifung als auch zur Vergleichmäßigung der Wasserführung dienen.

Bild 6: Kaplansturbinendeckel mit konischem Leitapparat; Anlage Neuötting, Deutschland. Größter Deckeldurchmesser = 6000 mm  
J. M. Voith, St. Pölten

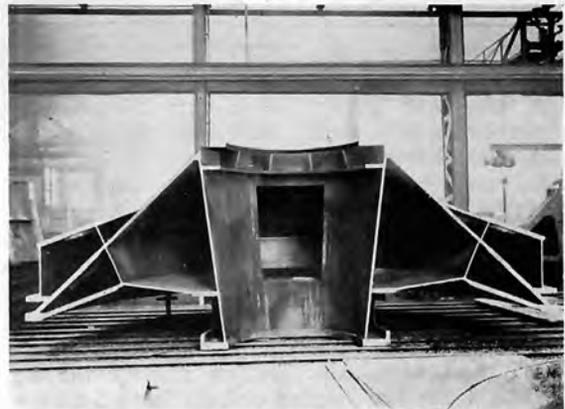




Bild 7: Kraftwerk Ernestina. Saugrohrpanzerung. Maschinenfabrik Andritz AG, Graz

Ein Gegenstück dazu bildet das zweiteilig angelieferte Spiralgehäuse der Speicherpumpe des Kraftwerkes Offenstein. Dieses Spiralgehäuse ist mit einem größten Durchmesser von 2000 mm ausgeführt.

Ein hoch belastetes Bauelement ist der Turbinendeckel, auf dem bei Aggregaten mit stehender Welle das Spurlager sitzt. Er hat das gesamte Gewicht der rotierenden Teile auf das Fundament zu übertragen. Bei langsam laufenden Maschinensätzen von Niederdruckanlagen, wie sie z. B. an Donau und Inn errichtet werden, ergeben sich nicht nur sehr hohe Belastungen, sondern auch sehr große Durchmesser. Welche Möglichkeiten gerade hier die neuzeitliche Schweißtechnik dem Konstrukteur bietet, veranschaulicht Bild 6. Es handelt sich um den Deckel einer der Kaplan-turbinen des Innkraftwerkes Neuwötting. Die Turbinen sind für eine Leistung von rund 10.000 PS bei 6,2 m Fallhöhe ausgelegt und besitzen einen konischen Leitapparat. Der größte Durchmesser des Deckels beträgt 6 m, das zu übertragende Gewicht der rotierenden Teile 468 t. Bei Betrachtung des Bildes, das die eine Hälfte des Deckels zeigt, fallen die im Verhältnis zum Durchmesser kleinen Blechstärken auf. Das Eigengewicht des Deckels selbst liegt bei 31 t. Die Konstruktion wirkt trotz ihrer Abmessungen ausgesprochen elegant und leicht. Sie beweist die weitgehende Beherrschung des Kräfteflusses. Ich möchte noch bemerken, daß der Deckel, im Maschinensatz eingebaut, gerade verkehrt liegt, die Auflagefläche in Bild 6 ist der Untersatz des vom Deckel getragenen Spurlagers.

An das Laufrad der Turbine schließt die im Fundament des Krafthauses einbetonierte Saug-

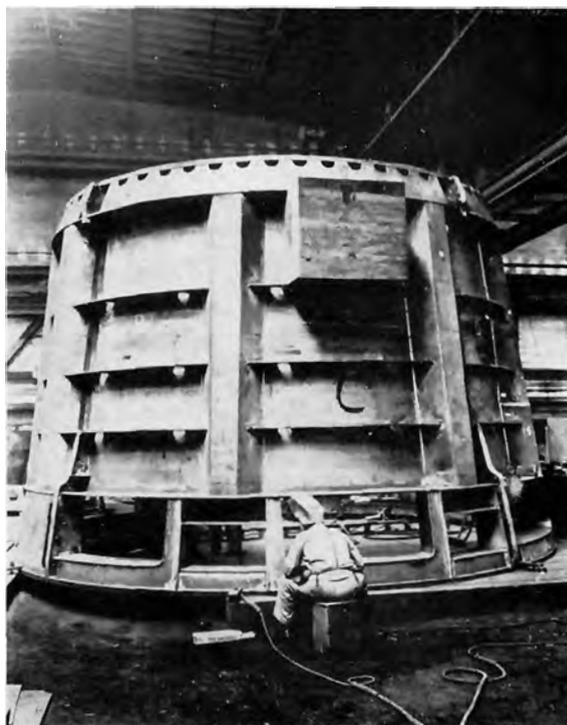


Bild 8: Einwandiger Generator-Tragring „Rohhaupten“ (Deutschland)  
 Größter Durchmesser = 6580/4950 mm;  
 Größte Höhe = 4200 mm  
 J. M. Voith, St. Pölten

rohrpanzerung an. Auch hiebei haben wir es mit einer geschweißten Stahlkonstruktion ganz beachtlichen Ausmaßes zu tun. Als Ausführungsbeispiel sei die Saugrohrpanzerung für eine in letzter Zeit für Südamerika gelieferte Turbinenanlage herangezogen. Es handelt sich um eine Francisturbine für 6650 PS Leistung bei 28,5 m Fallhöhe. Bild 7 zeigt den probeweisen Zusammenbau der Saugrohrpanzerung im Lieferwerk.

Wenden wir uns dem elektrischen Teil des Maschinensatzes zu, so ist bei Aggregaten mit stehender Welle zunächst der Generator-Tragring bemerkenswert. Er hat die Aufgabe, das Gewicht des feststehenden Teiles des Generators, des Stators, in das Fundament abzuleiten. Auch hier führen die räumlichen Gegebenheiten zu recht eindrucksvollen Stahlkonstruktionen. Ein charakteristisches Beispiel für einen solchen Tragring ist der in Bild 8 dargestellte. Es handelt sich dabei um die Anlage Rofshaupten, die oberste Lechstufe der Bayrischen Wasserkraftwerke AG. Die beiden Turbinen sind für eine Leistung von rund 30.000 PS bei einer Fallhöhe von 20/36 m ausgelegt. Der vollkommen geschweißte Generator-Tragring weist folgende Maße auf:

Höhe	4200 mm
unterer Durchmesser	6580 mm
oberer Durchmesser	4950 mm

Wenn vorhin darauf hingewiesen wurde, daß der moderne Stahlbau sich umwälzend auf die Konstruktionsgrundsätze für die Maschinen ausgewirkt hat, so gilt diese Feststellung besonders für den Generatorbau. So findet man heute fast nur geschweißte Generatorgehäuse von den kleinsten bis zu den größten Einheiten. Es gibt hierfür sovieler interessante Ausführungen, daß die Auswahl schwer fällt. Wenn das Gehäuse für den Kapruner Generator herausgegriffen wurde, so nicht deshalb, weil es sich um eine besonders repräsentative Anlage handelt, sondern weil diese Maschine mit ihren 70 MVA leistungsmäßig die größte ist, die in Österreich gebaut und aufgestellt wurde (Bild 9). Der Kerndurchmesser des geschweißten Gehäuses beträgt rund 3850 mm.

Eine vollkommene Konstruktionsumstellung brachte die Abkehr vom Stahlguß für die Ausbildung der Polräder von langsam laufenden, vielpoligen Generatoren von Laufkraftwerken. Es entstand der an Ort und Stelle geschichtete sogenannte Blechkettenläufer, dessen tragender Kern durch den geschweißten Nabenstern gebildet wird. Bild 10 gibt einen solchen Nabenstern wieder. Er ist für die Anlage Jochenstein bestimmt, deren Generatoren bei einer Leistung von 35 MVA eine Ständerbohrung von 10 m aufweisen.

Schließlich wäre in diese Übersicht noch eine Einrichtung einzuschließen, die oft nicht im Maschinenhaus selbst untergebracht ist, funktionell jedoch dazu gehört, das ist der Umspanner. Die steigenden Leistungen der zugehörigen Generatoren sowie die Verwendung immer höherer Spannungen hatten auch zunehmende Abmessungen der Umspanner zur Folge und zwangen, um die Bahntransportfähigkeit zu wahren, zu ausgeklügelten Spezialkonstruktionen, bei denen der Transformator selbsttragend in die Drehgestelle eingehängt wird. Es war naheliegend für die Aus-

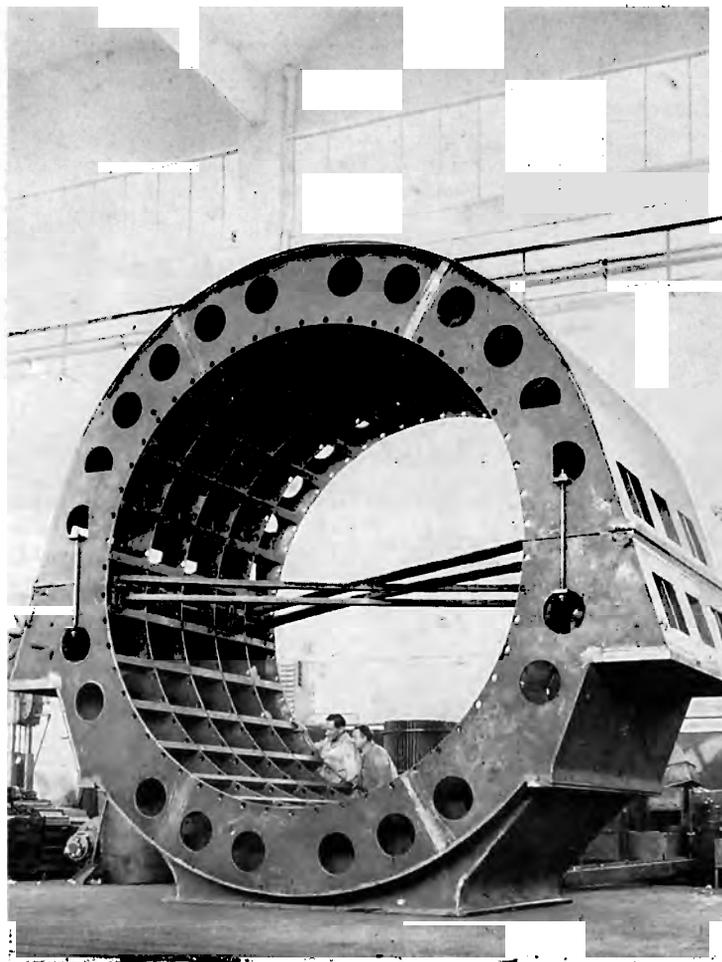


Bild 9:  
Kraftwerk Kaprun. Geschweißtes Gehäuse des 70-MVA-Generators  
ELIN AG, Wien

Bild 10:  
Kraftwerk Jochenstein, Nabenstern  
ELIN AG, Wien

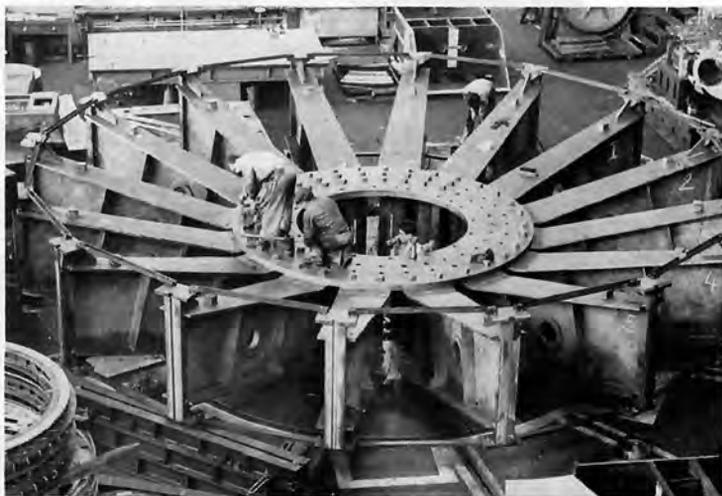




Bild 11: 100-MVA-Umspanner, Gitterträger

bildung des Tragkörpers, die Grundsätze des neuzeitlichen Stahlbaues anzuwenden, die zu recht interessanten Konstruktionen führten. Der Gitterträger (Bild 11) ist ein Teil eines 100-MVA-Umspanners für eine Oberspannung von 220 kV. Der mittlere, als Gitterwerk ausgebildete Teil trägt den eigentlichen Trafo, die beiden seitlichen Anbauten nehmen die Ölkühler auf. In die kreisrunden Aussparungen werden die Lüfter eingebaut. Einen Begriff von den Ausmaßen eines solchen Gitterträgers geben die nachfolgenden Ziffern:

Länge	. . . . .	7840 mm
Breite	. . . . .	2570 mm
Höhe	. . . . .	3100 mm
Länge über Tragösen		8840 mm

Nach diesem Streifzug durch das Krafthaus des Wasserkraftwerkes möchte ich mich nun dem Dampfkraftwerk zuwenden. Ich habe anfangs erwähnt, daß für die Bauweise des Krafthauses von Dampfkraftwerken günstigere Voraussetzungen für die Stahlkonstruktion vorliegen als

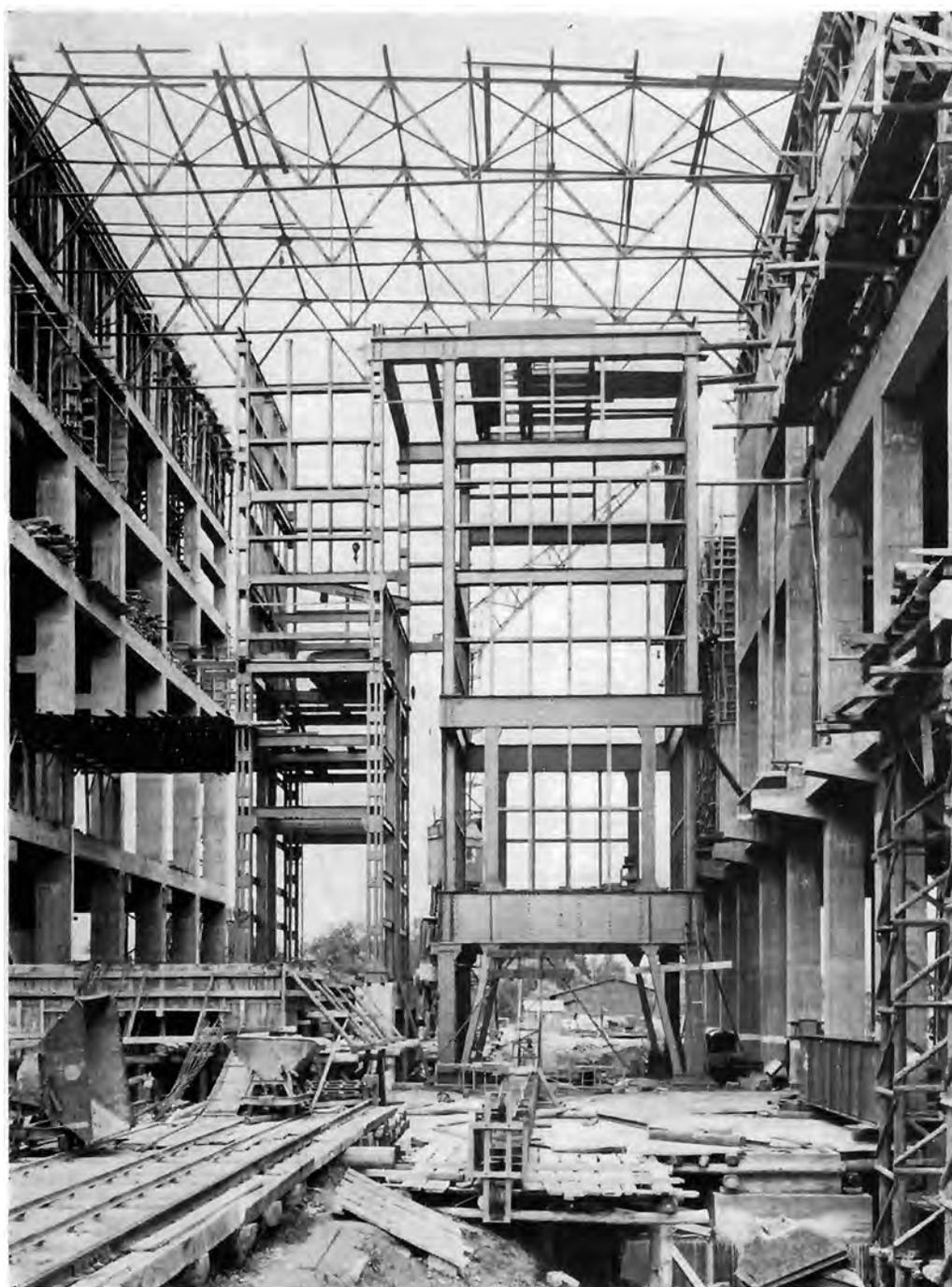


Bild 12:  
Kraftwerk  
St. Andrä,  
Kesselgerüst  
Waagner-  
Biró AG,  
Wien-Graz

bei Wasserkraftanlagen. Gehen wir bei der Beurteilung wieder von wirtschaftlichen, terminlichen und architektonischen Gesichtspunkten aus, so ist dazu folgendes zu sagen: Wirtschaftlich gesehen, gilt auch hier grundsätzlich dasselbe wie bei Wasserkraftanlagen: die reine Stahlkonstruktion des Krafthauses stellt sich je nach der Querschnittsgestaltung des Werkes um etwa 12 bis 18% teurer als der reine Stahlbetonbau. Vom terminlichen Standpunkt aus schneidet die Stahlkonstruktion wesentlich günstiger ab. Ein Vergleich für ein ausführungsfähig durchgearbeitetes Projekt eines 300-MW-Kraftwerkes ergab ein Verhältnis der Bauzeiten von 1 : 1,5 zugunsten der Stahlkonstruktion. Wenn auch entgegengehalten werden kann, daß ein Teil der Bauzeiteinsparung durch die Werkstattdarbeit aufgebraucht wird, so ist für den Bauherrn der zeitliche Vorteil bei Verwendung der Stahlkonstruktion dadurch größer, daß er mit der Planung der sehr umfangreichen und an der Gebäudekonstruktion irgendwie aufzuhängenden Rohrleitungen mehr zeitliches Spiel hat. Änderungen von Konsolen sind bei der Stahlkonstruktion leichter möglich als beim Betonbau, für den bei Baubeginn eigentlich die verbindlichen Ausführungszeichnungen für die Rohrleitungen bereits vorliegen müßten. In architektonischer Hinsicht kommt der Stahlbau dem Charakter des Dampfkraftwerkes sogar besser entgegen als der Stahlbetonbau. Das Stahlskelett in Verbindung mit Glasflächen gibt dem Baukünstler weitgehende Gestaltungsfreiheit.

Eine Kompromißlösung ist die sogenannte Gemischtbauweise. Sie wurde im Dampfkraftwerksbau in der letzten Zeit weitgehend angewendet. Das Kennzeichen dieser Bauweise ist, den Gebäudeteil, der schwere Lasten, wie Kohlenbunker und Speisewasserbehälter, zu tragen hat, in Eisenbeton auszuführen und die Stahlkonstruktion des Kessel- bzw. Maschinenhauses an ihn anzulehnen. Für den Eisenbetonbau hat sich die Bezeichnung *Schwerbau* eingebürgert. In konsequenter Verwirklichung des Grundsatzes, große Lasten tragende Bauteile in Eisenbeton zu erstellen, wurden auch die Träger der Kranbahnen im Maschinenhaus und deren Stützen, vielfach auch die Gebäudekonstruktion unterhalb des Maschinenhausflurs in Eisenbeton ausgeführt. Für das oben erwähnte Projekt eines 300-MW-Kraftwerkes wurde auch die Gemischtbauweise untersucht. Die Bauzeit ergab sich um 20 bis 25% länger als bei Ausführung in reiner Stahlkonstruktion, die Baukosten aber lagen um etwa 3 bis 5% niedriger als bei reinem Betonbau. Dies ist ein wesentlicher Grund, weshalb sich die Gemischtbauweise in solchem Maße durchgesetzt hat.

Wenn man den baulichen Teil der Dampfkraftwerke in dieser herkömmlichen Form betrachtet, so muß man sich eigentlich eingestehen, daß vor allem die Kesselhäuser nach den gleichen Grundsätzen wie vor Jahrzehnten erstellt werden, obwohl durch die Leistungssteigerung der Kessel die Spannweiten der Dachbinder und die dem Winddruck ausgesetzten Wände ein Mehrfaches wurden. Betrachten wir einmal Bild 12. Wir sehen hier das äußerst solide Kesselgerüst, das schon gewichtsmäßig ohne nennenswerte Verstärkungen in der Lage wäre, erhebliche zusätzliche vertikale und horizontale Belastungen aufzunehmen. Um diesen an sich gewichtigen Körper baut man nun

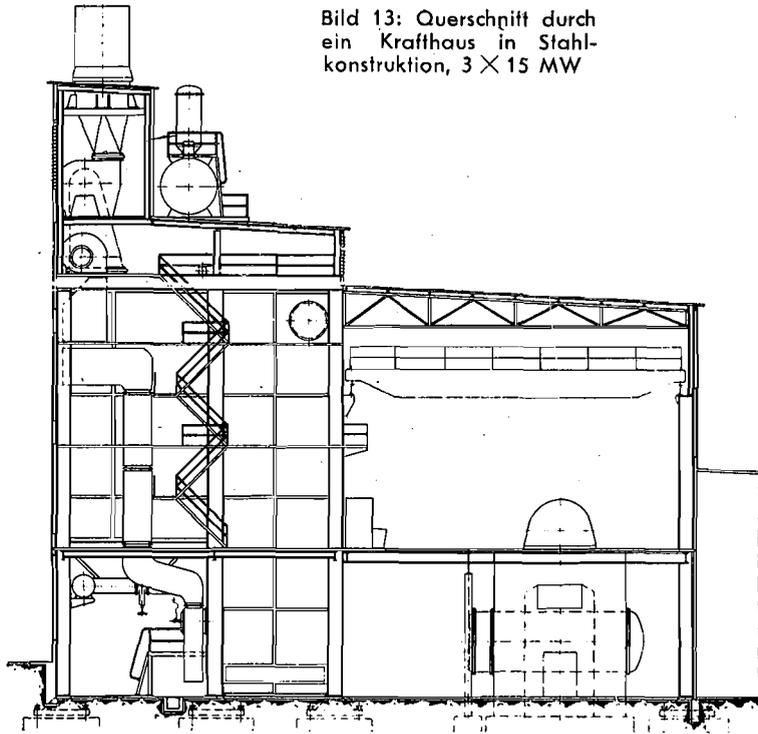


Bild 13: Querschnitt durch ein Krafthaus in Stahlkonstruktion, 3 X 15 MW

eine sich selbst tragende Hülle, die nicht nur die Windlasten, sondern vielfach auch die Gewichte von Rauchgasentstaubern, Schornsteinen und sonstigen Einrichtungen aufnehmen muß. Bedenkt man, daß bei einem Dampfkraftwerk der bauliche Teil kostenmäßig 25% und mehr ausmacht, so ist es verständlich, daß man in Kreisen der Kraftwerksbauer neue Wege suchte, um zu sinnvolleren Lösungen zu gelangen. Ihr Ziel ist es, Kessel und Gebäudegerüst zu einem gemeinsamen Tragorgan zusammenzufassen. Dies kann grundsätzlich in zweierlei Weise geschehen: Entweder hängt man den Kessel in die Gebäudekonstruktion ein oder man stützt umgekehrt Dach und Wände auf das Kesselgerüst ab.

Als ein interessantes Beispiel aus jüngster Zeit für eine raum- und materialsparende Bauweise eines Krafthauses in Stahlkonstruktion ist der in Bild 13 wiedergegebene Entwurf anzusehen. Es handelt sich um ein Projekt österreichischer Firmen für Nordafrika. Die mit kombinierter Gas- und Ölfederung ausgerüsteten Kessel haben eine Leistung von 50 t/h, die Turbinen eine solche von je 15 MW. Auch hier sind die Kessel am Gebäudegerüst aufgehängt, das außerdem Speisebehälter und Gebläse trägt. Die Kesselrückwand bildet unter Verdacht auf einen Zwischenraum mit Bedienungspodesten gleichzeitig die Gebäudeaußenwände.

Für die zweite Möglichkeit, nämlich das Gebäude am Kesselgerüst abzustützen, stellt der in Bild 14 dargestellte Entwurf ein recht instruktives Beispiel dar. Die wesentlichen Merkmale dieses von der Gemischtbauweise ausgehenden Entwurfes können wie folgt gekennzeichnet werden: Ein Stahlbetonbau, der Kohlenbunker, Speisewasserbehälter, Gebläse und Schornstein trägt, als Schwerbau, an den sich auf der einen Seite die Stahlkonstruktion des Maschinenhauses anlehnt, Ausführung des Unterbaues bis Maschinenhausflur

in Stahlbeton, Abstützung der Stauabscheider auf das Kesselgerüst, Überdachung der Kesselzwischenräume durch eine gelenkige, auf die Tragkonstruktion der Stauabscheider gelagerte Decke, Verwendung der Kesselrückwände als Gebäudeabschluß, Abstützung der die Zwischenräume abschließenden Gebäudewände an den Kesselgerüsten und der Stirnwände auf die äußeren Kessel. Ein genauer Vergleich hat gezeigt, daß allein bei dem Dach gegenüber der normalen Bauweise für eine Anlage von 6 Kesseln zu je 140 t/h eine Eisensparnis von 550 t erreicht wird. Man wird ohnehin einsehen, daß sich durch diesen, das Stahlgerüst des Kessels besser ausnutzenden Entwurfs-gedanken, ganz generell betrachtet, nicht unerhebliche Einsparungen auf der baulichen Seite erzielen lassen müssen.

Ein Fall, bei dem auf einen Schwerbau verzichtet und das Gebäude in reiner Stahlkonstruktion errichtet wurde, repräsentiert sich in Bild 15. Es handelt sich um die neue Höchstdruckanlage des Großkraftwerkes Mannheim, die im vergangenen Jahr in Betrieb kam. Auch hier bilden die Gerüste der Einzugsessel den Kern der gesamten Gebäudekonstruktion; auf sie stützen sich die Wände.

Daß man auch bei kleinen Anlagen diesen Weg mit Erfolg gehen kann, beweist Bild 16. Es handelt sich hier um ein Projekt für das Heizkraftwerk eines steirischen Industriebetriebes, bei dem Kessel und Bunkerstützen sowie die Rahmen des Maschinenhauses ein einheitliches Baugerippe bilden. Die Kesselhausdecke ist auf die Kessel aufgesetzt, die Kesselrückwände bilden wie vorhin die Gebäudewand.

Diese Beispiele ließen sich noch durch eine Reihe von interessanten Entwürfen ergänzen. Ich glaube aber, mit der gebrachten kleinen Auswahl

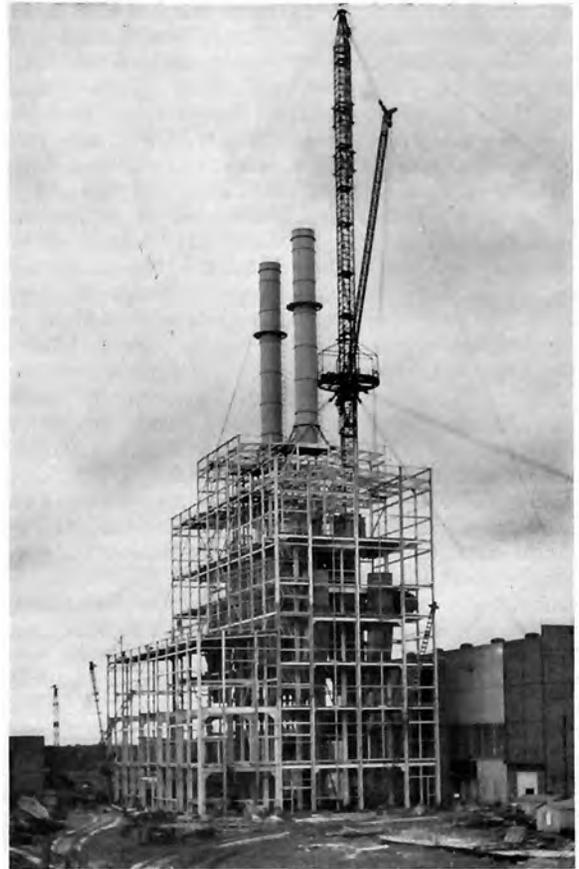
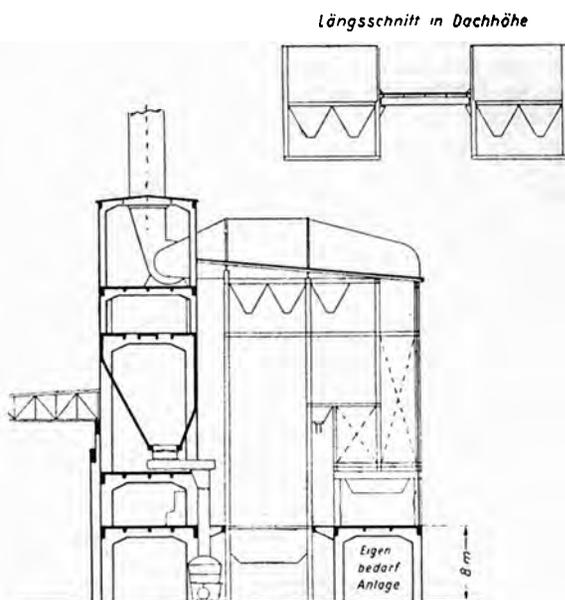


Bild 15: Druckkraftwerk Mannheim II. Stahlskelett des Krafthauses

Bild 14: Querschnitt durch ein Kesselhaus mit auf dem Kesselgerüst abgestützten Rauchgasentstaubern, Decken und Wänden, Kesselleistung 150/175 t/h, Dampfzustand 125 at, 500° C



doch einen Eindruck über die Richtung vermittelt zu haben, die für den neuzeitlichen Dampfkraftwerksbau, wenigstens in Europa, wo man sich mit Freiluftanlagen doch nicht so anfreunden kann, immer mehr an Bedeutung gewinnt. Sie strebt durch folgerichtige Ausnutzung der Möglichkeiten, welche die Stahlkonstruktion bietet, bei Wahrung der betrieblichen Erfordernisse eine Verbilligung des Krafthauses an.

Eine weitere Anwendung der Stahlkonstruktion im Dampfkraftwerksbau, die sowohl in Amerika als auch in Deutschland in den letzten Jahren immer mehr Eingang gefunden hat, ist die Fundamentierung der Maschinensätze. In Deutschland wurde das erste Stahlfundament im Jahre 1936 im Großkraftwerk Mannheim in Betrieb genommen. Während bis 1945 in Deutschland 8 Stahlfundamente aufgestellt wurden, stieg die Zahl von 1945 bis 1950 auf 21, von 1950 bis Ende 1954 auf 130. Diese Zahlen sprechen für sich; sie zeigen deutlich das steigende Interesse für diese Aufstellungsweise von Turbosätzen. Auch der zur Zeit in Bau befindliche 80-MW-Turbosatz der 600°-C-Anlage der Hamburger Elektrizitätswerke und die 65-MW-Gruppe der Druckkraftwerke in Voitsberg werden auf Stahlfundamenten laufen.

Das Stahlfundament bietet zwei Vorteile: Der Platzgewinn und die nun mögliche tiefe Abstimmung

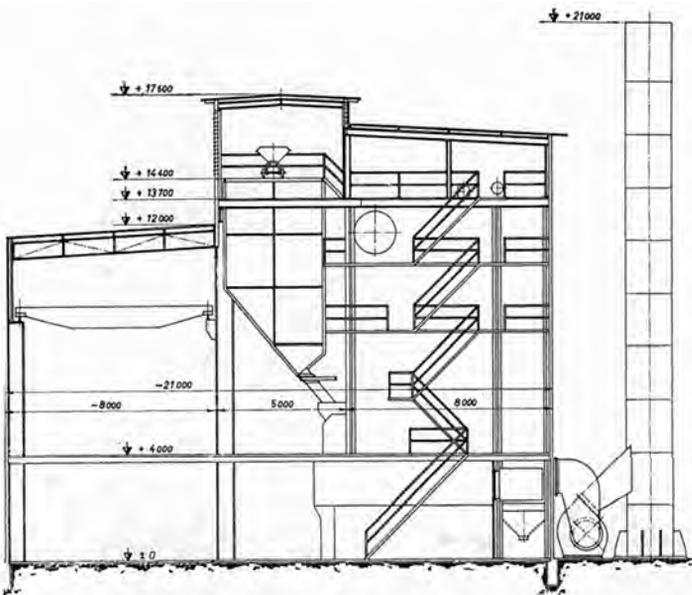


Bild 16: Kleines Industriekraftwerk in Stahlkonstruktion

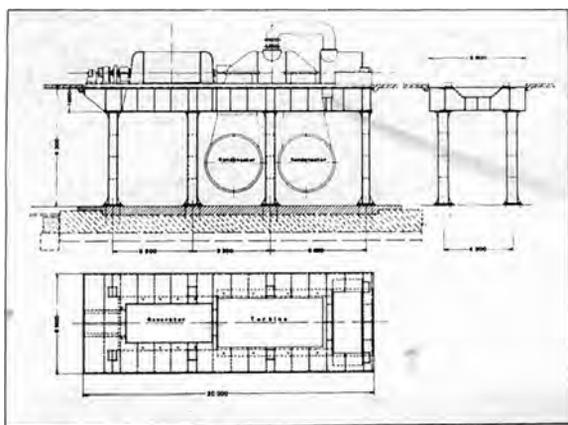


Bild 17: Stahlfundament für 50 000-kW-Turbine

mung des Fundamentes. Bild 17 stellt das Stahlfundament einer 50-MW-Turbine für ein großes westdeutsches Industriekraftwerk dar. Vergleicht man dieses elegant wirkende Fundament mit einem Betontisch, so wird man den Platzgewinn begreiflich finden. Die kleinen Querschnittsabmessungen der Stahlstützen ermöglichen es, neben dem Kondensator die gesamte Vorwärmanlage unter den Maschinen anzuordnen. Dr. Marguerre hat bei der Projektierung der Erweiterung des Großkraftwerkes Mannheim die Einsparung an Breite des Maschinenhauses mit 1,5 m, für einen 10-MW-Turbosatz die Platzeinsparung mit 40 m<sup>3</sup> festgestellt. Bei großen Maschinen wird mitunter auch die Bauhöhe des Kondensationskellers verkleinert. Bei dem neuen Werk Mannheim (Bild 15), von dem ich vorhin den Stahlskelettbau zeigte, hätte das Betonfundament insgesamt sogar höhere Kosten verursacht als das Stahlfundament. Die praktisch gleiche Wärmedehnung von Maschine und Tischplatte gestattet es, letztere gleichzeitig als Grundplatte der Maschine zu benutzen, also auch die sonst bei Betonfundamenten nötige eigene Maschinengrundplatte entbehrlich zu machen.

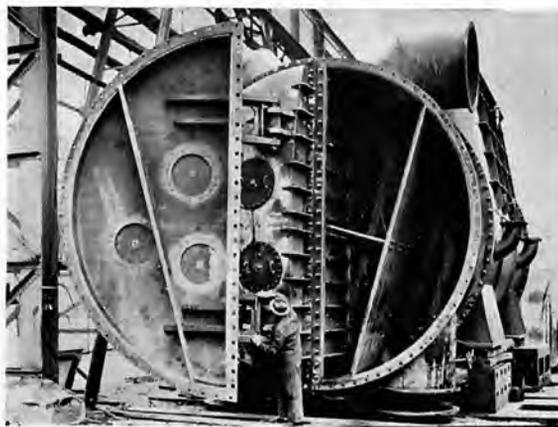


Bild 18: Kondensator für 100-MW-Turbosatz

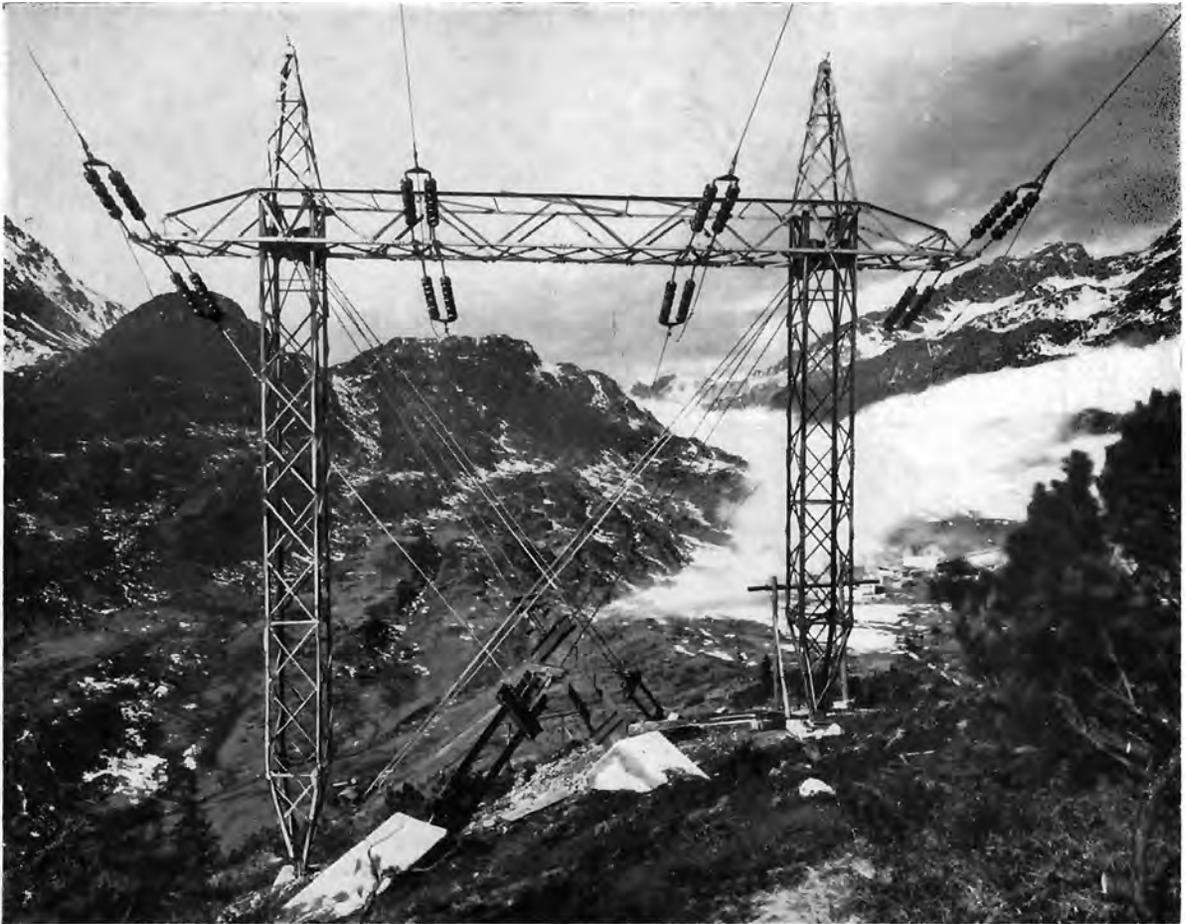
Die tiefe Abstimmung des Stahlfundaments bis herunter auf 900 U. p. M. hat einen fühlbar weichen Lauf und eine bessere Überwachung des Maschinenzustandes zur Folge, wie er sonst nur bei dem bei Gegendruck- oder Vorschaltturbinen angewandten, auf Feder gelagerten Plattenfundament erreicht wird. Durch das Fehlen der sogenannten Beruhigungsmasse des hochabgestimmten Betonfundaments zeigt die Maschine etwaige Veränderungen sofort an, da sich jetzt Störungen nicht mehr auf den Läufer allein auswirken. Da aber auch bei Störungen die Kräfte klein gehalten werden können, sind die Gefahrenmomente verringert. Auch auf die Möglichkeit, die Abstimmung des fertigen Stahlfundaments noch nachträglich verändern zu können, sei hingewiesen.

Im übrigen gibt es auch in Dampfkraftwerken außer dem Maschinenhaus noch ganz interessante Anwendungen der Schweißkonstruktion. Es sind dies vor allem die geschweißten Gehäuse von Kondensatoren und Generatoren großer Leistungen.

Bild 18 gibt einen Begriff von den Abmessungen der Kondensatoren neuzeitlicher Großturbinen. Der davorstehende Arbeiter läßt eine Schätzung des Durchmessers dieser weitgehend geschweißten Stahlkonstruktion zu. Diese großen Kondensatoren werden, wie die Aufnahme zeigt, meistens zweiteilig ausgeführt, um das Reinigen der Kühlwasserrohre, ohne die Maschine abstellen zu müssen, zu ermöglichen.

Hat die Entwicklung der Schweißtechnik an sich schon auf die Gestaltung der Gehäuse von Turbogeneratoren merkbaren Einfluß ausgeübt, so gilt dies in verstärktem Maße seit der Einführung der Wasserstoffkühlung, die im allgemeinen bei Leistungen von etwa 50 bis 60 MVA aufwärts angewendet wird. Der Forderung nach Dichtheit auch bei den heute sich einführenden höheren Wasserstoffdrücken kommt die geschweißte Stahlkonstruktion sehr entgegen.

Damit habe ich meinen Streifzug durch das Krafthaus beendet. Er konnte, wie ich schon eingangs erwähnte, nur ein Überblick sein. Wenn es mir aber doch gelungen ist, Ihnen einen Eindruck über die Vielfalt der Möglichkeiten für die Stahlkonstruktion beim Bau des Krafthauses und seiner wesentlichen Einrichtungen zu vermitteln, so wäre der Zweck meines Referates erreicht.



Oben: 110-kV-Leitung über den Arlberg  
Waagner-Biró AG, Wien-Graz

Unten: 220-kV-Leitung Linz — Pelos  
VOEST-Linz und Waagner-Biró AG, Wien-Graz



# Maste aus Stahl bei Übertragungsleitungen

Von Dipl.-Ing. Leo Fröhlich, Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft (Verbundgesellschaft), Wien

Stahl als Baustoff zur Erzeugung von Tragwerken für Freileitungen ist heute auf der ganzen Welt zumindest für Übertragungsspannungen von 110 kV aufwärts so selbstverständlich geworden, daß es überflüssig erscheint, auf die Entwicklungsgeschichte des Stahlgittermastes näher einzugehen.

Versuche, auf andere Baustoffe überzugehen, hatten nur selten technische Gründe. Meist waren es besonders wirtschaftliche Verhältnisse, die diese Bestrebungen auslösten. Zeiten ungünstiger wirtschaftlicher Entwicklung verschärften den Konkurrenzkampf der Mastbaufirmen und haben das besonders verstärkte Bestreben nach Senkung der Mastgewichte und der Tonnenpreise zur Folge. Aber auch Konjunkturzeiten können Abweichungen von den üblichen Ausführungsformen verursachen. Beispielsweise gerade in der jetzigen Konjunkturperiode sind die Lieferzeiten für normales Walzprofilmaterial so enorm lang geworden, daß Ausweichlösungen gerne begrüßt werden.

Andererseits bedingen die an die Energiewirtschaft gestellten Forderungen heute schärfste Kalkulation der Strompreise. Naturgemäß sind die Kosten für die notwendigen Übertragungsleitungen ebenfalls eine Komponente dieser Kalkulation; und in diesen Kosten ist der Aufwand für die Tragwerke und deren Montage kein unbedeutender Anteil, nämlich 30% und darüber.

Es liegen also auch die Bestrebungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen auf der gleichen Linie: bei gleichbleibender Sicherheit Einsparung von Gewicht und dadurch Senkung der Kosten.

Für Übertragungsleitungen von 110 kV und darüber hat sich Stahl jedoch eindeutig als günstigster und wirtschaftlichster Baustoff für die Tragwerke behauptet; allerdings zum Teil in Form veränderter Konstruktionselemente.

Im folgenden sollen nun an Hand einiger Beispiele die Ergebnisse dieser Entwicklung in Österreich und im Ausland besprochen werden.

Zunächst gestatten Sie mir, noch einige Worte über den Werdegang der Mastausbildung einer zu errichtenden Übertragungsleitung: Der Projektant, in der Regel ein Elektrizitätsversorgungsunternehmen, legt zunächst das Mastbild fest. Es ist zu entscheiden, ob es sich dabei um eine Einfachleitung oder um eine Doppelleitung handeln soll; ob einstielige Maste oder Portalmaste zur Verwendung kommen sollen und schließlich, wie das Mastkopfbild aussehen soll. Letzteres ist von der Anordnung der Leiter und der Erdseile abhängig. Letzten Endes muß auch die Form des Mastfußes bestimmt werden; der Mast kann auf vier weitgespreizten Füßen stehen, sein Schaff kann aber auch geschlossen in ein Blockfundament übergehen. Eigentlich sind mit der Festlegung der Mastform auch die Hauptabmessungen bestimmt; denn die erforderlichen Mindestabstände Leiter gegen Leiter und Leiter gegen Mastkonstruktion sind durch die entsprechenden Sicherheitsvorschriften (in Österreich ÖVE L/1) vorgeschrieben.

Der nächste Schritt ist das überaus wichtige Kapitel der Belastungsannahmen. Auch in diesem Falle sind zunächst die Vorschriften der Freileitungsvorschriften maßgebend. Darüber hinaus bleibt es dem Projektanten aber vorbehalten, noch zusätzliche Sicherheit durch entsprechend höher gehaltene Belastungsangaben bzw. Auswahl und Vorschreibung besonderer Belastungsfälle zu verlangen. Es wird dabei zu berücksichtigen sein, ob die projektierte Leitung im Flachland verläuft oder ob bei einer Hochgebirgsleitung mit Ausnahmslasten durch Schnee, Eis und Wind zu rechnen ist. Der erstrebte Sicherheitsgrad wird auch davon abhängig sein, ob die Übertragungsleitung im Störfalle leicht zugänglich ist oder ob sich den eingesetzten Störtrupps große, durch das Gelände bedingte Schwierigkeiten entgegenstellen. Schließlich wird man die Sicherheit der geplanten Leitungsanlage auch davon abhängig machen, ob es sich dabei um den Teil einer Ringleitung oder ob es sich um eine Stickleitung handelt. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß im Störfalle bei einer Ringleitung der entstehende Stromausfall nicht so bedeutend sein wird, wie z. B. bei einer Stickleitung, welche einen Verbraucher durch einen einzigen Leitungsstrang mit dem Energieerzeuger verbindet. Die Unterbrechung einer Stickleitung kann also unter Umständen katastrophale Folgen haben.

Von ganz einschneidender Bedeutung für die Gesamtrichtungskosten einer Freileitung ist jedenfalls die Frage, ob der geforderte Sicherheitsgrad so hochgeschraubt werden soll, daß Störungen nach menschlichem Ermessen nicht auftreten können, oder ob mit Rücksicht auf die Netzverhältnisse oder das Gelände in angemessener Zeit behebbare Störungen zugelassen werden sollen. Die Ansichten in dieser Frage gehen in den verschiedenen Ländern stark auseinander.

Selbstverständlich wird, besonders in Mitteleuropa, der Schutz des menschlichen Lebens allen anderen Überlegungen vorangestellt, welcher Umstand allerdings bereits in den behördlichen Vorschriften berücksichtigt wurde.

So weit die Vorarbeit des Projektanten. Nun setzt die Tätigkeit des Konstrukteurs im Stahlbauwerk ein. Vor allem das Ergebnis seiner Arbeit ist es, durch entsprechende konstruktive Maßnahmen und Auswahl zweckentsprechenden Materials die eingangs besprochene Gewichtseinsparnis bei gleichbleibendem Sicherheitsgrad zu erzielen. Dabei darf folgender sehr wichtiger Umstand nicht übersehen werden: Die Kosten für die Tragwerke gehen nicht allein mit ihrem Preis ab Werk in die Gesamtherstellungskosten ein, sondern mit den Kosten für den an Ort und Stelle errichteten Mast. Dies ist besonders bei Leitungen in schwierigem Gelände von großer Bedeutung, weil hier häufig die Montage- und Transportkosten die Materialkosten erheblich übersteigen. Starke Gewichtseinsparungen können also in solchen Fällen auch bei leicht ansteigenden Tonnenpreisen ab Werk immer noch auf den Gesamtaufwand kostensenkend

wirken. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen und Stahlbauwerk ist in diesem Falle besonders wichtig.

Es soll nun gezeigt werden, was in den letzten Jahren in dieser Hinsicht entwickelt wurde. Zunächst einige Beispiele österreichischer Konstruktionsausführungen:

Der Abspannmast der 220-kV-Leitung Kaprun-Ernsthofen war das erste größere Bauvorhaben nach dem Kriege. Aus verschiedenen Gründen ist man bei der Konstruktion dieser Masten neue Wege gegangen. So bestehen alle Diagonalstreben des Mastes aus nahtlos gewalzten Rohren. Die Auslegergurte und die Eckstiele bestehen dagegen aus Walzprofileisen der herkömmlichen Form, allerdings aus Stahl höherer Festigkeit. Und zwar wurden die Stahlsorten St 52 T und St 55 S verwendet. Die sich ergebende Gewichtseinsparung beträgt etwa 30%. Obwohl die verwendeten Konstruktionselemente in ihrer Anschaffung teurer als bisher waren, ergab sich durch die starke Gewichtseinsparung eine Preisverminderung ab Werk von etwa 25%. Sehr interessant ist hier die Gegenüberstellung mit einem Abspannmast der 220-kV-Leitung Ernsthofen-Bisamberg, der ganz nach der herkömmlichen Art konstruiert ist. Es ist darauf hinzuweisen, daß bei beiden Masten die gleichen Belastungsannahmen gemacht wurden.

Die Verwendung von Rohren für die Ausfächerung der Mastwände ergibt verschiedene Vorteile. Zunächst einmal sind Rohre knickfester als Winkelprofile. Außerdem ergeben sie durch ihre runde Oberfläche einen kleineren Winddruck.

Es muß hier erwähnt werden, daß die Mastbesteller der Verwendung von Rohren zunächst einmal mit gewissen Vorbehalten gegenübergestanden sind. Die Gefahr der Innenkorrosion bei undichten Rohren ist nicht ohne weiteres auszuschalten. Eingedrungenes Wasser kann im Winter natürlich leicht zu Frostaufbrüchen führen.

Bei der gezeigten Leitung hat man die verwendeten Rohre an ihren Enden sorgfältig zusammengequetscht, dann entsprechende Lappen stumpf aufgeschweißt, die dann der Schraubverbindung mit den Eckstielen dienen. Schon im Stahlbauwerk hat man sich durch stichprobenweises Abdrücken mit Preßluft davon überzeugt, daß die verwendeten Rohrdiagonalen tatsächlich vollkommen luftdicht waren. Außerdem dürfte ein sofort aufgetragener Schutzanstrich dazu beitragen haben, feinste Haarrisse sofort zu verschließen. Jedenfalls steht die genannte Leitung nun seit sechs Jahren ununterbrochen in Betrieb und es kann festgestellt werden, daß bisher keine nachteiligen Beobachtungen gemacht wurden.

Bild 1 zeigt eine Gegenüberstellung von zwei Tragmasten der gleichen Leitungen. Hier kann man besonders deutlich sehen, wie der Tragmast der 220-kV-Leitung Kaprun-Ernsthofen wesentlich zarter, ich möchte auch sagen wesentlich ästhetischer wirkt als der Tragmast der anderen Leitung. Ich werde mir gestatten, zum Schluß dieses Vortrages auf das Kapitel Zweckmäßigkeit und Formschönheit im Mastbau noch etwas näher einzugehen.



Bild 1: 220-kV-Tragmaste

Es kann vielleicht auch gesagt werden, daß die Verwendung von Konstruktionselementen mit rundem Querschnitt den Vorteil hat, daß das Sonnenlicht weniger reflektiert wird als bei den herkömmlichen Winkelprofilen, so daß der Mast in seiner Gesamtwirkung im Landschaftsbild weniger störend wirkt.

Bei der gleichen 220-kV-Leitung Kaprun-Ernsthofen hat man ebenfalls erstmalig, zumindest in Österreich, bei den Tragmasten die Fundierung mit sogenannten Stahlrosten durchgeführt. (Bild 2). Bei dieser Ausführung stehen die Eckstiele, verstärkt durch eine pyramidenförmige Versteifung, auf einem Rost, welcher aus einem System von aus Blech gekanteten Stahlwinkeln besteht. Nach Ausheben der Mastgruben werden die Füße aufgestellt, eingerichtet und dann werden die Gruben wieder zugeschüttet. Die auf die Eckstiele fallweise wirkenden Zugkräfte werden also lediglich durch die Auflast des aufgeschütteten Aushubmaterials aufgenommen. Die sich ergebende Betonersparnis liegt klar auf der Hand. Selbstverständlich ist diese Art der Fundierung nur bei halbwegs entsprechenden Bodengattungen möglich. Für die Dimensionen der Stahlschwellenroste hat man eine Bodenart mit einer zulässigen Bodenpressung von 2,0 kg pro cm<sup>2</sup> vorausgesetzt.

Bild 2: 220-kV-Leitung Kaprun-Ernsthofen. VOEST, Linz





Bild 3: 110-kV-Leitung Ostermiething — Ach, Tragmastfundierung. VOEST, Linz

Die Abspannmaste der genannten Leitung erhielten allerdings die herkömmlichen Betonfundamente. Auch Tragmaste, welche in ungünstigem Boden zu stehen kamen (Auftreten von Grundwasser, Schwemmsand, Moor usw.), wurden mit einem Betonfundament ausgestattet.

Das gezeigte Bild zeigt die Hälfte eines Mastunterteiles mit zwei Füßen und den zugehörigen Stahlschwellenrosten.

Ich darf Ihnen nun von einem anderen Weg der Gewichtsersparnis berichten. Man hat den Vorschlag gemacht, statt der bisher üblichen Diagonalen aus Stäben die Mastwände einfach mit Stahlseilen auszufachen. Die Maste müssen natürlich in diesem Falle so konstruiert werden, daß diese „Seildiagonalen“ nur auf Zug beansprucht werden. Dieser Vorschlag ist gründlich ausgearbeitet und durchgerechnet worden. Leider ist diese Ausführungsform noch nicht in die Wirklichkeit umgesetzt worden, und es existieren daher auch noch keine praktischen Erfahrungen.

Unwillkürlich stellt man sich vor, daß die Eigenschaft der Seildehnung sich bei dieser Anwendungsart ungünstig auswirken muß. Es muß aber daran erinnert werden, daß es auch Seile gibt, bei welchen die Dehnung ein Minimum beträgt. Es sind dies Seile, die nicht normal geschlagen sind, sondern deren Einzeldrähte parallel laufen.

Solche Seile werden bei Hängebrücken oder bei den zur Abspannung von Antennenmasten üblichen Pardunen verwendet.

Eine weitere interessante Möglichkeit, Mastgewicht einzusparen und sich gleichzeitig von unangenehm langen Lieferzeiten für Walzprofile freizumachen, ist die Verwendung von aus Stahlblech gekanteten Winkelprofilen.

Aus Blechstreifen werden dabei die gewünschten Winkelprofile durch einfaches Kantieren mit einer entsprechenden Maschine hergestellt. Es liegt auf der Hand, daß man sich bei Verwendung von Kantprofilen von den genormten Dimensionen der Walzprofile vollkommen freimachen kann. In der Ausführung der Kantprofile sind dem Stahlbauwerk von den kleinsten bis zu den größten Dimensionen alle Variationsmöglichkeiten geboten.

Es ist doch z. B. häufig so, daß man bei der Dimensionierung von Diagonalstreben nicht allein die auftretenden Beanspruchungen berücksichtigen muß, sondern oft den Winkel nach der Anschlußschraube auswählt. Bei der Verwendung von Kantprofilen ist es ohne weiteres möglich, ungleichschenkelige Winkelprofile zu kanten, so daß die Anschlußschraube also im breiteren Schenkel sitzt. Auf diese Art ist es unter Umständen auch möglich, Knotenbleche einzusparen.

Es ist weiters auch möglich, z. B. für die Eckstiele Kantprofile zu erzeugen, die konisch sind; man kantet also einfach nicht ein rechteckiges, sondern ein trapezförmiges Blech und erhält so einen Eckstielwinkel, der entsprechend der Momentenverteilung unten breitere Schenkel hat als oben.

Denkt man außerdem noch an die Verwendung von Stahl höherer Festigkeit, so ergibt sich für den Konstrukteur eine Vielfalt von Variationsmöglichkeiten.

Sie sehen auf Bild 3 einen Tragmast der 110-kV-Leitung Ostermiething—Ach. Der Mast besteht zur Gänze aus gekanteten Winkelprofilen und besitzt außerdem eine Stahlschwellenrostfundierung.

Ich darf kurz auf die Mastform hinweisen, die in den letzten Jahren schon bei einigen Leitungen in Österreich Verwendung gefunden hat. Es handelt sich um die sogenannten Lyra- oder Y-Maste. Diese Mastform ist natürlich nur für einsystemige Leitungen brauchbar, wobei die drei Leiter in einer Horizontalebene angeordnet sind.

Bei der gezeigten Leitung ist ein besonders schwacher Seilquerschnitt zur Anwendung gekommen, aus welcher Tatsache sich natürlich wieder eine sehr zarte Mastkonstruktion mit schwachen Winkelprofilen ergibt. Je schwächer natürlich die verwendeten Konstruktionsteile sind, desto wichtiger wird die Frage eines entsprechenden Rostschutzes. Man entschließt sich in solchen Fällen fast immer zu einer kompletten Verzinkung.

Ein besonders kritischer Punkt bezüglich des Korrosionsschutzes ist immer der Übergang der Eckstiele bzw. der Mastdiagonalen in den Boden. Bild 3 zeigt den Tragmast mit den auf Grund der Schwellenrostfundierung direkt in den Boden übergehenden Eckstielen und Diagonalen. Um hier noch einen zusätzlichen Rostschutz anzubringen, hat man eine sehr einfache und praktische Lösung gefunden: Man hat auf die entsprechenden

Winkelisen einfach handelsübliche Eternitrohren an der Übergangsstelle aufgefädelt und dieselben mit Beton vergossen.

Bild 4 zeigt einen Tragmast der 220-kV-Leitung Jochenstein-St. Peter, die erst vor etwa einem halben Jahr in Betrieb gegangen ist. Ich darf wieder kurz auf die Mastbauform hinweisen; die 6 Leiter dieser zweisystemigen Leitungsanlage sind in zwei Ebenen angeordnet.

Auch die Tragmaste dieser 220-kV-Leitung sind durchwegs aus gekanteten Profilen erstellt worden. Ganz erhebliche Gewichtersparnisse waren das Ergebnis.

Selbstverständlich hat man vor der Verwendung dieser gekanteten Profile umfangreiche Versuche an einzelnen Konstruktionsteilen aus gekanteten Winkelblechen, aber auch entsprechende Durchführungen an ganzen Mastkörpern durchgeführt. War man sich doch über den Einfluß der Kaltverformung auf die Blechgüte zunächst noch nicht im klaren. Die Ergebnisse waren aber im großen und ganzen positiv. Auch hat es sich gezeigt, daß Kantprofilwinkel sich nach der Verzinkung vielfach weniger verziehen, als dies Walzprofile gerne tun.

Allerdings muß dabei auf eine Voraussetzung ganz besonders hingewiesen werden: Das günstige Verhalten von Kantprofileisen als Konstruktionselemente setzt die Verwendung eines unbedingt einwandfreien Vormaterials voraus. Es liegt natürlich die Versuchung nahe, die in Walzwerken häufig anfallenden Restblechstreifen für die Anfertigung von Kantprofilwinkeln zu verwenden. Es ist aber einzusehen, daß dieses Material in seiner Güte nicht den gestellten Anforderungen entsprechen kann.

Gestatten Sie mir nun einige Worte über das heikle Kapitel der Ausleger. Es ist ganz augenscheinlich, daß der Ausleger, an welchem alle auftretenden Kräfte zuerst einwirken, ein besonders wichtiger Teil des ganzen Mastes ist.

Der Tragmast der 220-kV-Leitung Lienz-Pelos ist ein Lyrastab mit zwei Erdseilen. Bei diesem Tragmast speziell hat man einen zusätzlichen Lawinenschutz derart vorgesehen, daß man den Mastkörper bis zu einer gewissen Höhe einfach zubetoniert hat. Der so entstandene Lawinenschutz ist am Bild deutlich zu sehen.

Dieser Tragmast ist aus gewissen elektrischen Gründen mit Doppelhängeketten ausgerüstet. Ich darf Sie nun auf gewisse Abweichungen von der normalen Anwendungsform bei der Anordnung der notwendigen Armaturen aufmerksam machen.

Bild 5: Schnitt durch den Ausleger eines Abspannmastes einer 220-kV-Leitung

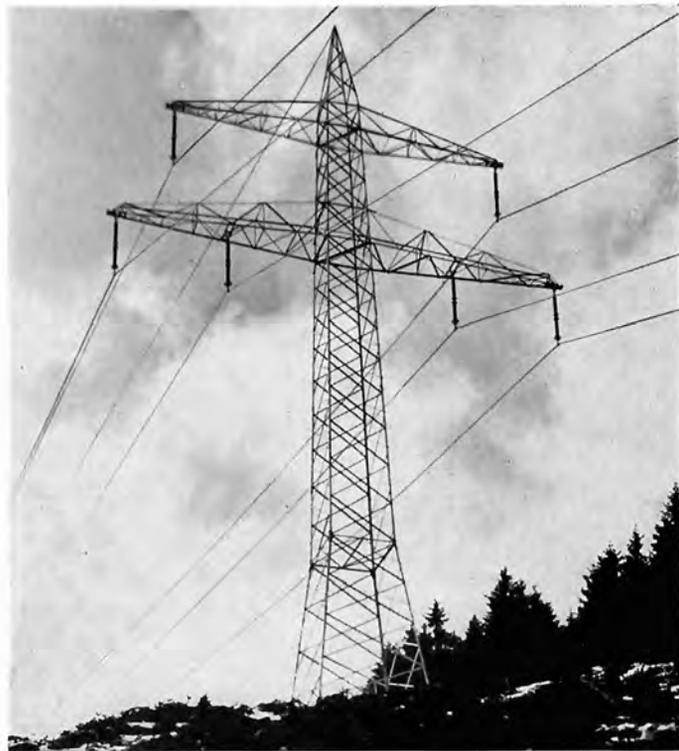
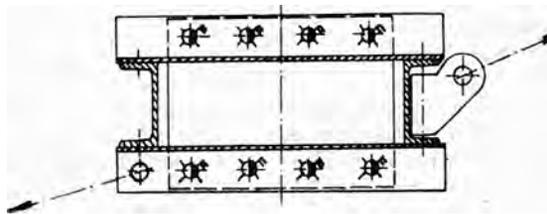


Bild 4: 220-kV-Leitung Jochenstein — St. Peter VOEST, Linz

Zunächst hängen die Doppelhängeketten nicht wie üblich mit ihrer Ebene senkrecht zur Leitungsrichtung, sondern in Leitungsrichtung. Man wollte auf diese Art an Mastkonstruktion sparen, weil dadurch die Mittelöffnung des Lyrastabes kleiner gehalten werden kann. Außerdem sind aber die beiden Teile der Doppelhängekette nicht wie üblich direkt an der Unterseite des Auslegers befestigt, sondern hängen zunächst an einem Distanzstück, welches an einer einzelnen Schwinde befestigt ist. Daraus ergibt sich, daß auch nach Bruch eines Isolators der entstehende Lastangriffspunkt immer noch in der Mitte des Auslegers liegt. Die bei der üblichen Ausführung entstehende Beanspruchung des Auslegers auf Verdrehung in der Auslegerachse ist also ausgeschaltet. Der Ausleger muß also auch auf diese Beanspruchungsart nicht zusätzlich dimensioniert werden.

Bei Abspannungsmasten kann es vorkommen, daß auf Grund der Anordnung der Abspanngelenke ebenfalls eine zusätzliche Beanspruchung auf Verdrehung in der Auslegerachse auftreten kann. Angenommen z. B. ein Abspannmast hat nach einer Seite einen starken Tiefzug, nach der anderen Seite einen schwachen Zug nach oben. Es ist nun vollkommen falsch, den Ausleger lediglich im Hinblick auf die sich ergebende Resultierende zu dimensionieren und dabei anzunehmen, daß diese Resultierende durch die Auslegermitte geht. Berücksichtigt man die Anordnung der Abspanngelenke an der Auslegerunterseite, so sieht man, daß die beiden Außenwände des Auslegers ungleichmäßig beansprucht werden, der Ausleger also zweifellos in seiner Längsrichtung zusätzlich verdreht wird.

Bild 5 stellt einen Schnitt durch den Ausleger eines Abspannmastes einer 220-kV-Leitung dar. Man hat sich in diesem Falle so geholfen, daß man die Aufhängung für die Abspannkette auf der Bergseite anders angeordnet hat wie auf der Talseite, so daß sich die beiden Kräftekomponenten tatsächlich ungefähr in Auslegermitte treffen. Die zusätzliche Verdrehungsbeanspruchung für den Ausleger wurde also auf diese Art ausgeschaltet.



Bild 6: 110-kV-Leitung Zirl — Spullerseeewerk Waagner-Biró AG, Wien-Graz

Bild 6 zeigt einen Abspannmast der 110-kV-Leitung Zirl—Spullerseeewerk der Österreichischen Bundesbahnen. Es handelt sich dabei um Portal-maste, welche in ihrer Fundierung wesentlich von den üblichen Ausführungsformen abweichen. Die beiden Mastschäfte setzen sich nicht wie üblich im Betonfundament fort, sondern sind, ähnlich wie Antennenmaste, gelenkig gelagert. Ihre Standfestigkeit erreichen sie durch eine vielfache Verankerung nach allen Seiten. Ob diese Mastbauform gegenüber den üblichen Ausführungsarten sparsamer ist, entzieht sich meiner Kenntnis. Jedoch dürfte der Aufwand für die vielen Betonfundamente, an welchen die Ankerseile abge-spannt sind, ein erheblicher sein.

Als Übergang zu den ausländischen Ausführungsbeispielen darf ich Ihnen nun ein Bild von einem Stahlpanzermast zeigen (Bild 7).

Die gezeigte Mastbauform fällt insoweit aus dem übrigen Rahmen dieses Vortrages heraus, als es sich hier um eine Leitungsanlage niedrigerer Betriebsspannung handelt (unter 100 kV), ist aber so interessant, daß sie hier Erwähnung finden soll. Die gezeigten Maste haben einen elliptischen Querschnitt und sind aus dünnwandigem Blech hergestellt. Die entstehenden Rohre sind weder geschweißt noch nahtlos gewalzt, sondern werden nach einem originellen Verfahren geschlossen: Die Ränder der Bleche werden derartig bearbeitet, daß eine Reihe von Zacken entsteht, welche, ähnlich wie bei einem Reißverschluss, ineinandergreifen. Wie am Bild deutlich zu sehen ist, ist jeder Mast aus mehreren Rohrschüssen zusammengesetzt. Die Rohre verjüngen sich nach oben

und werden einfach, ähnlich wie Ofenrohre, übereinandergeschoben. Eine zusätzliche Befestigung ist dabei nicht notwendig. Auch die Ausleger sind derartig ausgebildet, daß sie auf dieses Rohrsystem einfach von oben aufgeschoben werden. Stahlpanzermaste werden zwar in Österreich erzeugt, aber, zumindest in ihrer Anwendungsform für Freileitungen, hauptsächlich ins Ausland geliefert. Als Abnehmer kommen vor allem Länder in Frage, welche holzarm sind.

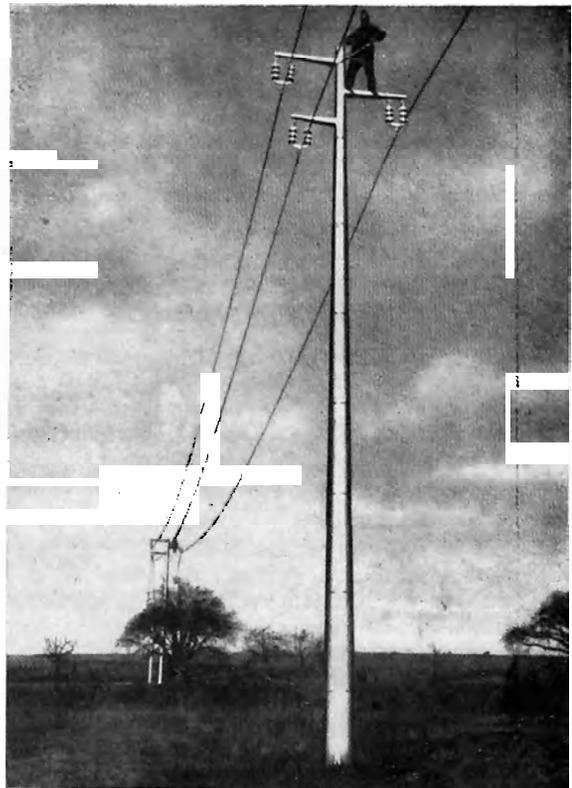
Nun komme ich zu einigen ausländischen Ausführungsformen.

In Italien hat man zum Teil recht eigenwillige Mastbauformen entwickelt (Bild 8). Es handelt sich hier um einen sogenannten Deltamast. Zum Unterschied von den vorhin erwähnten Lyramasten haben die Deltamaste einen besonders kurzen Mastschaff. Man sieht auf dem Bild deutlich, daß die beiden Gabeln, auf welchen der Ausleger aufsitzt, dreieckigen Querschnitt haben, dagegen der Mastkörper in seinem Grundriß quadratisch ist. Dazu kommt aber noch, daß dieser Mastkörper um 45 Grad verdreht ist, d. h., daß die Diagonalen des Querschnitts parallel bzw. senkrecht zur Leitungsrichtung stehen.

Ich darf Ihnen nun einiges über die Mastbauformen berichten, welche in den letzten Jahren in Westdeutschland zur Anwendung gelangt sind.

Ich habe vorhin die Probleme erwähnt, die bei der Verwendung von Stahlrohren als Konstruktionsteile für Maste auftreten. Schon vor langer

Bild 7: Stahlpanzermast 1955. VOEST, Linz



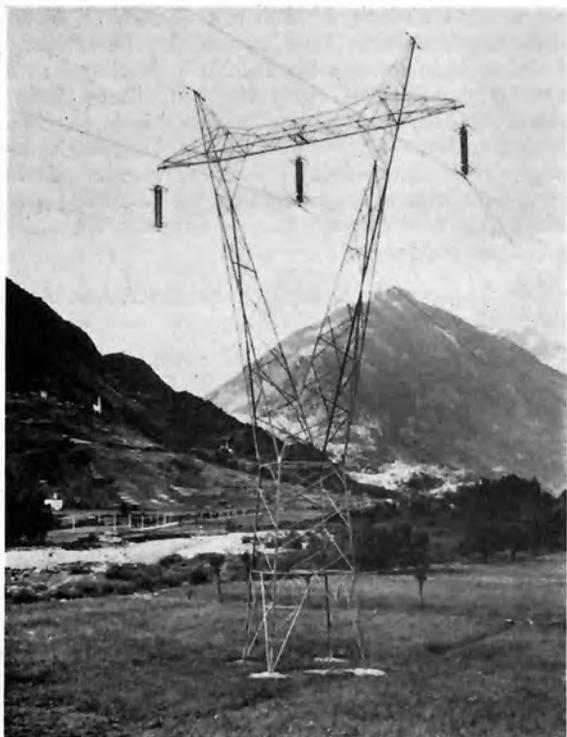


Bild 8: Tragmast einer italienischen 230-kV-Leitung S. A. E., Milano

Zeit wurde in der Schweiz ein System entwickelt, welches die Vorteile des Stahls und des Betons vereinigt. Man hat Stahlrohre einfach mit Beton ausgegossen. Im Falle von Zugbeanspruchungen wird natürlich nur der Stahlquerschnitt die auftretenden Kräfte aufnehmen können. Dagegen bei Beanspruchung auf Druck und Knickung wird der Stahl- und der Betonquerschnitt tragen. Man hat festgestellt, daß der so entstehende Verbundquerschnitt die 2- bis 3-fachen Knicklasten des entsprechenden Hohlquerschnittes aufzunehmen in der Lage ist. Gleichzeitig bietet natürlich die Betonfüllung einen ausreichenden Schutz gegen Innenkorrosion.

Normalerweise werden die starken Eckstielrohre erst auf der Baustelle mit Beton gefüllt, wobei Außenrüttler zur Anwendung kommen.

Bild 9 zeigt einen 220-kV-Abspannmast der Leitung Gurtweil—Eichstetten, bei welchem mit Beton ausgegossene Stahlrohre zur Anwendung gelangten. Die vergrößerten Knicklängen ermöglichen eine stark auseinandergezogene Ausfachung der Mastwände und geben dem Mast ein charakteristisches Aussehen.

Die auf Bild 10 dargestellten beiden Tragmaste gelangten ebenfalls im Rahmen der 400-kV-Forschungsanlage der Deutschen Verbundgesellschaft zur Aufstellung. Zu dieser Anlage ist zu sagen, daß man zu Versuchszwecken eine kurze Strecke 400-kV-Leitung ausgebaut hat, wobei man verschiedene Masttypen, verschiedene Seilausführungen und auch verschiedene Isolatoren verwendet hat. Der auf der linken Bildhälfte gezeigte Tragmast setzt sich aus normalen Winkelstahlprofilen

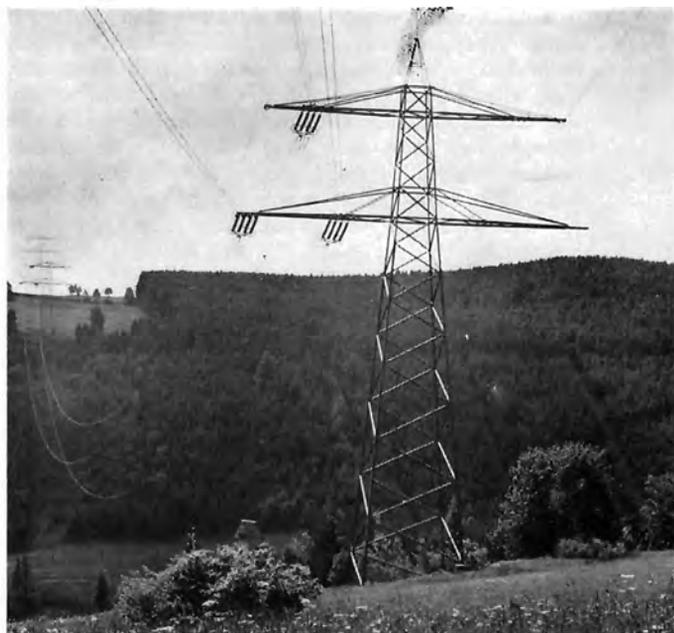


Bild 9: 220-kV-Leitung Gurtweil — Eichstetten Mannesmann-B. B. C., Mannheim

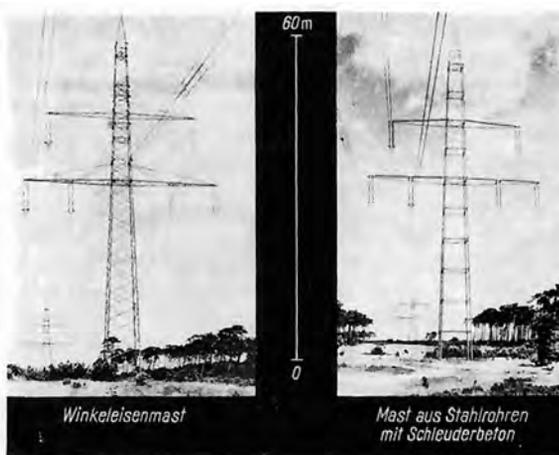
zusammen. Dagegen hat man bei dem rechts dargestellten Mast neue und besondere Konstruktionselemente verwendet.

Ich komme damit zu dem Kapitel der mit Beton ausgeschleuderten Stahlrohre.

Der Vorgang ist kurz folgender: Die zur Anwendung gelangenden Stahlrohre werden in einer drehbankartigen Vorrichtung eingespannt, mit Beton ausgegossen und dann um ihre Längsachse so rasch gedreht, daß der eingeführte Beton sich an die Innenwand des Rohres anpreßt und eine fest aufliegende Schicht bildet. Der entstehende Betonquerschnitt ist also ringförmig.

Der besondere Vorteil liegt darin, daß die Verbindung zwischen Beton und Stahlrohr außerordentlich innig ist. Die ausgeschleuderten Rohre werden in Längen von 4 bis 6 m und mit Durch-

Bild 10: 400-kV-Forschungsanlage der DVG, Mastbauarten



messern von 120 bis 300 mm fertig zur Baustelle gebracht. Sie werden lediglich als Eckstiele und auch als Auslegeruntergurte verwendet. Die im Bild deutlich sichtbaren Querrahmen bestehen aus T-Eisen, die Diagonalstreben sind Rundeisen, welche nur auf Zug beansprucht werden.

Die Einsparung an Stahlgewicht ergibt gegenüber der Ausführung mit Winkelprofilen etwa 30 bis 40%. Die verwendeten ausgeschleuderten Rohre bleiben auf beiden Seiten offen, so daß sich nirgends Wasser ansammeln kann.

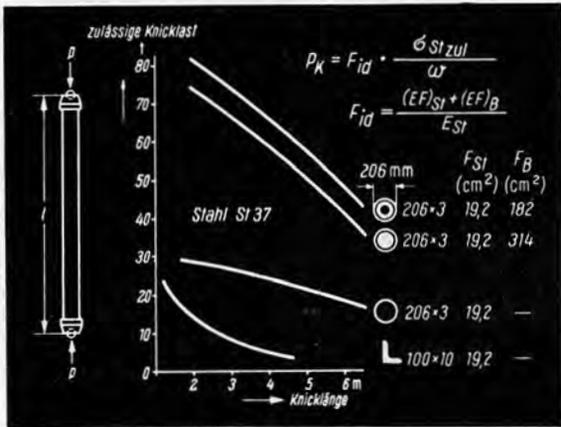


Bild 11: Diagramm über Knickbelastung von Stäben

Bild 11 zeigt ein sehr interessantes Diagramm, wobei verschiedene Stahlquerschnitte bezüglich Knicklast und Knicklängen verglichen werden. Dabei ist die Querschnittsfläche immer die gleiche, nämlich 19,2 cm<sup>2</sup>; jedoch entspricht die unterste Kurve einem Winkelprofil, die darüberliegende einem hohlen Stahlrohr, die nächste einem mit Beton ausgegossenen Stahlrohr und die höchstliegende Kurve dem mit Beton ausgeschleuderten Rohr. Auf Grund der besonderen Güte des geschleuderten Betons ergeben sich in diesem Falle sogar höhere Knicklasten als für das mit Beton ausgegossene Rohr.

Die Betonwandstärke entspricht ungefähr 17% des Außendurchmessers.

Bild 12 stellt einen 380-kV-Tragmast einer schwedischen Übertragungsleitung dar. Die Leitung ist einsystemig, ist mit 3 Zweierbündeln und mit 2 Erdseilen ausgestattet. Die Maste sind portalförmig. Interessant ist das vollkommene Fehlen von Diagonalstreben. Diese sogenannte Rahmenkonstruktion ist allerdings nur dann anzuwenden, wenn man mit keinen oder nur sehr geringen Verdrehungsbeanspruchungen rechnen muß. Dies ist natürlich bei Portalmasten der Fall.

Man sieht, daß die Querriegel aus Flacheisen mit eingepreßten Nuten bestehen und einfach stumpf an die Eckstiele angeschweißt sind.

Damit soll die kleine Übersicht über ausländische Mastbauformen abgeschlossen werden.

Man wird natürlich in besonderen Fällen aus Sicherheitsgründen auf wirtschaftliche Vorteile in der Mastausführung verzichten. Gerade in Öster-

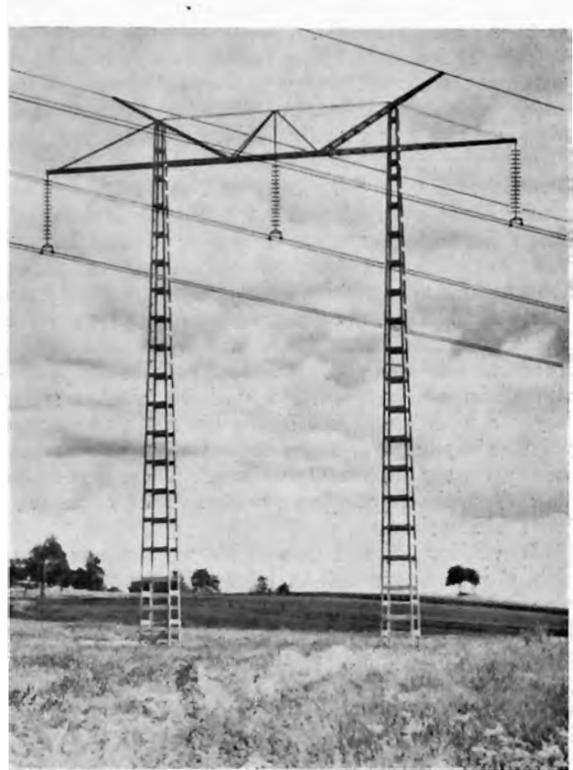


Bild 12: 380-kV-Tragmast einer schwedischen Übertragungsleitung

reich gibt es eine Reihe von Hochgebirgsleitungen, bei welchen die Maste überaus großen Beanspruchungen durch Wind, Schnee, Eis, Rauhreif und Lawinen ausgesetzt sind. Hier wird der Mast durch Verwendung von starken Winkelprofilen sehr robust ausgebildet.

Bild 13: 110-kV-Leitung Kraftwerk Limberg — Umspannwerk Kaprun, Spezialabspannmast mit Hohlfundament Waagner-Biró AG, Wien-Graz



Auch die 110-kV-Leitung KW Limberg—UW Kaprun ist beispielsweise unter ähnlichen Voraussetzungen errichtet worden. Diese Anlage ist vor allem lawinengefährdet. Der Abspannmast fällt wieder durch seine besonders kräftige gedrungene Ausführung auf. Interessant ist das Fundament: Abweichend von der üblichen Fundierungsart, ist dieser Mast als Aufsetzmast ausgeführt, d. h. auf einen Betonkörper entsprechender Größe ist der Mast mit Hilfe von Ankerschrauben aufgeschraubt. Man hat hier außerdem, einer neuen Idee folgend, den vorhin erwähnten Betonkörper hohl gemacht. Der Innenraum kann durch eine Stahltür betreten werden. Von hier aus können die Befestigungsschrauben erreicht werden und überdies werden hier die wichtigsten Ersatzteile für den Mast sowie entsprechendes Werkzeug aufbewahrt. Wie zweckmäßig dieses kleine Gerätelager unter schlechtesten Wetterbedingungen sein kann, ist ohne weiteres einzusehen.

Zum Abschluß soll darauf hingewiesen werden, daß die in Österreich in letzter Zeit entwickelten Mastformen bei günstigster wirtschaftlicher und technischer Ausführung sich in das Landschaftsbild gut einfügen. Eine Tatsache, deren Bedeutung gerade in Österreich, dem Land des Fremdenverkehrs, nicht unterschätzt werden soll. Es ist erfreulich, daß die von allen Seiten angestrebte Gewichtsparsnis naturgemäß zu einer leichteren und zarteren Formgebung führt. Diese Entwicklung geht Hand in Hand mit den Wünschen des Landschaftsschutzes und der Fremdenverkehrswerbung. Ein entsprechender Anstrich kann noch weiter dazu beitragen, daß eine Übertragungsleitung im Landschaftsbild kaum noch störend wirkt.

Gestatten Sie mir nun abschließend eine kleine Gegenüberstellung:

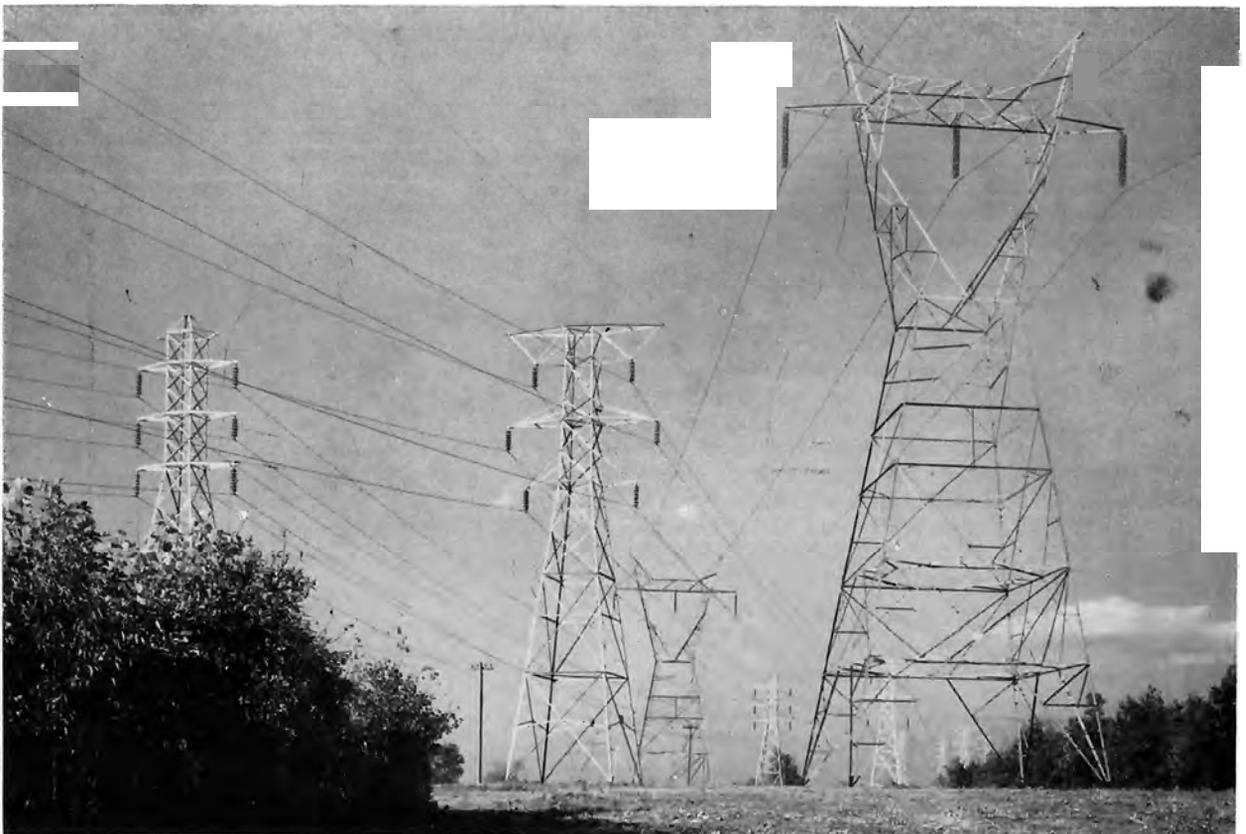
Auf Bild 14 sieht man Mastausführungsformen verschiedener Hochspannungsübertragungsleitungen in den Vereinigten Staaten. Es ist klar erkennbar, daß man bei der Konstruktion dieser Maste ausschließlich nach dem Grundsatz der günstigsten Materialausnützung und Zweckmäßigkeit vorgegangen ist, dagegen auf eine ästhetische Formgebung vollkommen verzichtet hat.

Hingegen zeigt das auf Seite 120 (unten) befindliche Bild, daß z. B. die 220-kV-Leitung Lienz—Pelos, hier bei ihrem Aufstieg bis zur Porzescharte sichtbar, auf das gesamte Landschaftsbild kaum störend wirkt. Dabei muß noch berücksichtigt werden, daß die auf dem Bild noch frisch verzinkten Mastköpfe im Laufe der Zeit durch das Mattwerden der Zinkschicht noch unauffälliger werden.

Ich darf nun abschließend der Hoffnung Ausdruck geben, im Laufe dieser Ausführungen ein halbwegs anschauliches Bild von der jüngsten Entwicklung des Stahlgittermastes gegeben zu haben. In verständnisvoller Zusammenarbeit zwischen den Projektanten der Elektrizitätsversorgungsunternehmen und den Konstrukteuren der Stahlbauunternehmen entstehen Mastausführungen, die bei gleichbleibendem Sicherheitsgrad leichter, zweckentsprechender, wirtschaftlicher und nicht zuletzt formschöner werden.

Es bleibt nunmehr zu wünschen, daß diese Zusammenarbeit in Zukunft erhalten bleibt und auf diese Art weitere Erfolge auf dem Gebiete des modernen Mastbaues erwartet werden dürfen.

Bild 14: 66-kV- und 220-kV-Leitungsmaste bei Baltimore, USA.



## Diskussion:

Prof. Reinitzhuber stellt die Frage, inwieweit Betonmaste für den Bau von Hochspannungsleitungen in Frage kommen bzw. welche Erfahrungen mit Tragwerken aus Beton vorliegen.

Dipl.-Ing. Fröhlich erwidert, daß in Österreich wohl einige 110-kV-Betonmast-Leitungen existieren, in den letzten Jahren aber Übertragungsleitungen dieser Bauart nicht ausgeführt wurden. Das Befestigen der Maste an Ort und Stelle bzw. der Antransport von Schleuderbetonmasten in schwierigerem Gelände wirkt sich beim Bau von Betonmast-Leitungen ungünstig aus. Besonders im Falle von Gebirgsleitungen muß dem aus Einzelteilen zusammengesetzten Stahlgittermast der Vorzug gegeben werden. Dazu kommt, daß die Aufnahme größerer Torsionskräfte durch Betonmaste etwas problematisch erscheint. — Betonmaste für 220-kV-Leitungen sind über das Versuchsstadium noch nicht hinausgekommen.

Ob.-Ing. Kromer geht auf die Feststellung des Vortragenden, daß die zum Teil sehr schweren mit Beton ausgeschleuderten Stahlrohre der Mastbauart Siemens-Erlangen auf den Transport verteuern wirken können, ein und bemerkt, daß diese Teile bei den Österr. Bundesbahnen billiger als Stahlkonstruktion befördert werden können. Die genannten Rohre können zum Frachtsatz für „Betonwaren“ transportiert werden, welcher niedriger liegt, als der Frachtsatz für Stahlkonstruktionen.

Dipl.-Ing. Krauff antwortet, daß in diesem Falle nicht der Bahntransport gemeint war, sondern die Beförderung der einzelnen Konstruktionsteile vom Bestimmungsbahnhof bis zur Baustelle in gebirgigem Gelände.

Ein Teilnehmer erkundigt sich nach der Verwendung von Stahlschwellenrosten als Mastfundament im Falle des Auftretens von Grundwasser bzw. anderer ungünstiger Bodenverhältnisse.

Dipl.-Ing. Krauff erklärt, daß die Verwendung von Schwellenrosten natürlich nur bei entsprechend günstigen Bodenverhältnissen, d. h. bei einer zulässigen Bodenpressung von 2 kg pro cm<sup>2</sup> und darüber in Frage kommt. Ansonsten müssen nach wie vor Betonfundamente erstellt werden.

Die Diskussion wurde mit Fragen über den Korrosionsschutz beendet. Hiezu wurde von Dipl.-Ing. Krauff festgestellt, daß die Verzinkung der Konstruktionsteile, auf lange Sicht hinaus gesehen, billiger ist als der in verhältnismäßig kurzen Zeitabschnitten zu erneuernde Anstrich. Soweit es aus Gründen des Landschaftsschutzes verlangt werden sollte, kann über die Verzinkung noch ein Tarnanstrich aufgebracht werden. Es besteht auch die Möglichkeit, verzinkte Mastteile mit einem zusätzlichen Schutzanstrich zu versehen, wenn die Wahrscheinlichkeit einer ungünstigen Beeinflussung durch Industrieatmosphäre gegeben ist.

## Neuzeitliche Wege der Stahlherstellung für den Stahlbau

Von Prof. Dr. mont. Richard Walzel, Montanistische Hochschule Leoben

Eine Stahlbautagung dient der Aufgabe, dem engeren Kreis der Fachgenossen, darüber hinaus aber auch dem weiteren Kreis der Bauherren, die über die Ausführung von Bauwerken die grundsätzlichen Beschlüsse zu fassen haben, die Anwendungsmöglichkeiten und die Erfolge der Stahlbauweise auf Grund der nie rastenden Entwicklung vor Augen zu führen. Es steht dabei auch, mehr oder weniger deutlich ausgesprochen, die Frage der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit mit anderen Bauweisen zur Erörterung. Diese Wettbewerbsfähigkeit fällt nun gewiß nicht in die alleinige Verantwortung des Stahlherstellers; aber es ist nicht zu leugnen, daß er einen erheblichen Teil hiervon trägt. Die Aufgabe des Stahlherstellers, also des Metallurgen, ist es nämlich, für zwei Dinge zu sorgen:

1. Für die Erfüllung der Qualitätsansprüche an den Stahl im vernünftigerweise möglichen Rahmen, mit dem Ziel, das Qualitätsniveau schrittweise weiter zu heben.
2. Für die Bereitstellung der genügend großen Stahlmengen, die der Stahlbau benötigt, unter wirtschaftlich tragbaren Bedingungen, mit dem Ziel, die mengenmäßige Leistungsfähigkeit weiter zu steigern und den Stahl, wenn möglich, noch billiger zur Verfügung zu stellen.

Es ist nun offensichtlich, daß die Forderungen nach Erhaltung der Höhe und schrittweisen Steigerung der Qualität und jene nach Bereitstellung großer Mengen zu, wenn möglich, noch gesenkten Preisen einander mehr oder weniger widersprechen. Es ist nicht sehr schwierig, die eine Forderung allein ohne Rücksicht auf die andere zu erfüllen. Man braucht von der Qualitätsseite her nur daran zu denken, daß es grundsätzlich möglich wäre, die Stähle etwa

im Elektrostahlafen nach der bewährten Arbeitsweise der Edelstahltechnik zu erschmelzen und nach dieser bis zum Fertigerzeugnis weiter zu behandeln. Auf der Seite der großen Mengen und der verhältnismäßigen Billigkeit braucht man nur an die typischen Massenstähle aus dem Thomaskonverter, bei dessen klassischer Betriebsweise, zu denken. Weder die eine Seite, noch die andere Seite allein können aber den berechtigten Ansprüchen des heutigen Stahlbaues gerecht werden. Die Kunst des neuzeitlichen Stahlmetallurgen setzt dort ein, wo er eine bestmögliche Verbindung der beiden Grundforderungen, nämlich der Qualitätshöhe einerseits und der mengenmäßigen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit andererseits, erstrebt und erreicht.

Die Aufgabe meines heutigen Vortrages soll es sein, einen Überblick über die Anstrengungen und die Erfolge der Metallurgen auf dem Weg der bestmöglichen Verbindung der genannten beiden Grundforderungen zu geben. Ich möchte bei dieser Gelegenheit dem Präsidium des Österreichischen Stahlbauvereins meinen Dank dafür sagen, daß es einen Vertreter der Metallurgen eingeladen hat, über dieses Thema heute zu Ihnen zu sprechen. Ich hoffe, daß ich ein wenig dazu beitragen kann, Ihnen die Gedankengänge der Stahlhersteller, die Schwierigkeiten, denen sie gegenüberstehen, und das erfolgreiche Bemühen zu ihrer Überwindung nahezubringen. Das soll das gegenseitige Verstehen der aufeinander angewiesenen Partner, der Stahlbauer und der Metallurgen, fördern; und gegenseitiges Verstehen ist das wichtigste Anliegen für jede Gemeinschaft. Daß ich bei der Erörterung der Aufgaben, Bemühungen und Erfolge der Stahlmetallurgen die österreichischen Verhältnisse breiter hervorheben werde, werden Sie gern billigen.

Vielleicht ist es richtig, wenn ich zuerst, etwas abseits von meiner eigentlichen Aufgabe, kurz zusammenzufassen versuche, welche Qualitätsforderungen der heutige Stahlbau an den Stahl stellt. Es stellen diese nämlich einen Wegweiser für alle Bemühungen dar; sie schließen für die Erfüllung der Forderung nach genügender Menge und Billigkeit gewisse Herstellungsmöglichkeiten von vorneherein aus und engen dadurch die Aufgabe des Metallurgen ein, indem sie diese freilich zugleich erschweren.

Grundsätzlich stellt der heutige Stahlbau folgende Forderungen:

- a) **Hohe Elastizitätsgrenze des Stahles**, gewöhnlich in die prüftechnisch besser faßbare Forderung nach einer hohen Streckgrenze (Fließgrenze) gebracht. Die Höhe der Elastizitätsgrenze ist in erster Linie entscheidend für die Beanspruchbarkeit des Bauwerkes, da ihre Überschreitung ja vermieden werden muß. Ihr gegenüber tritt die Forderung nach einer hohen Zerreißfestigkeit an Wichtigkeit zurück. Man wird es allerdings, besonders wegen unvorhergesehener Überbeanspruchungen in Katastrophenfällen, schätzen, wenn zwischen der Elastizitätsgrenze und der Zerreißfestigkeit (Bruchgrenze) noch eine größere Spanne verbleibt. Es ist dies auch erwünscht wegen der praktisch wichtigen Tatsache, daß in einem Bauwerk, auch wenn keine katastrophale Gesamtüberbeanspruchung vorliegt, unvermeidlich örtlich eng begrenzte Überspannungen auftreten, die durch kleine plastische Verformungen, also örtliche Überschreitungen der Elastizitätsgrenze, ausgeheilt werden müssen. Praktisch bedeutet dies also, daß wir doch nicht allein für die Hebung der Elastizitätsgrenze, sondern auch in genügendem Ausmaß für die Hebung der Zerreißfestigkeit, also der Bruchgrenze, sorgen müssen, damit eben die Spanne zwischen diesen beiden Grenzen nicht zu klein wird. Diese Überlegung allein sagt uns schon, daß wir den an sich sehr wirksamen Weg der Steigerung der Elastizitätsgrenze durch eine Kaltverformung in der Regel für den Stahlbau nicht gern ausnützen werden; denn durch die Kaltverformung rücken die Elastizitätsgrenze und die Bruchgrenze bekanntlich nahe zusammen.
- b) **Genügend hohe Zähigkeit des Stahles**. Man könnte hiezu sofort die Frage stellen: Was interessiert eigentlich eine hohe Bruchdehnung, oder eine hohe Brucheinschnürung, oder eine hohe Kerbschlagzähigkeit, wenn wir uns im Stahlbau mit den Beanspruchungen ja doch grundsätzlich im elastischen Verformungsbereich halten? Darauf ist zu antworten, daß der Schluß berechtigt wäre, wenn es nicht die schon erwähnten unvermeidlichen örtlichen Überspannungen geben würde, die eine Verformung in den plastischen Bereich hinein in einem engen Bezirk mit sich bringen, und wenn nicht aus Sicherheitsgründen verlangt werden müßte, daß das Bauwerk im Falle einer katastrophalen Überbeanspruchung die Möglichkeit eines weitgehenden plastischen Ausweichens bietet, bevor es wirklich zum Bruch geht. Die durch den Zerreiß- oder Kerbschlagversuch allerdings nur unvollständig

ziffernmäßig erfaßten Verformungsreserven spielen eine besonders wichtige Rolle bei geschweißten Konstruktionen, da der Schweißvorgang mit seiner örtlich begrenzten Erwärmung und der Abschreckung des erwärmten Teiles durch die rasch wärmeableitende, kühlbleibende Umgebung im verstärkten Maße den Anlaß gibt zu örtlichen Überspannungen, die sich durch eine örtliche plastische Verformung selbst teilweise abbauen müssen. Es kann aber nicht meine Aufgabe an dieser Stelle sein, den verwickelten Wechselbeziehungen zwischen der Höhe der Elastizitätsgrenze und der plastischen Verformbarkeit (also Zähigkeit) einerseits und der Neigung zu Verformungsbruch oder Trennbruch andererseits nachzugehen.

- c) **Eignung zur Schmelzschweißbarkeit**. Mit dieser Forderung wird gewöhnlich das eben angedeutete Problem der sogenannten Trennbruchsicherheit zusammenfassend umrissen. Es ist dabei zusätzlich zu bedenken, daß der Stahl in umso höherem Maße zu örtlichen Überspannungen im Schmelzschweißbereich Anlaß gibt, je niedriger seine sogenannte kritische Abkühlungsgeschwindigkeit liegt. Darunter versteht die Werkstoffkunde des Stahls jene Abkühlungsgeschwindigkeit, die in einem von Rotglut abgekühlten Stahl zur Bildung des martensitischen Gefüges führt. Je höher der Kohlenstoffgehalt, desto kleiner ist diese kritische Abkühlungsgeschwindigkeit, das heißt umso eher entsteht örtlich Martensit. Das Martensitgefüge hat nun bekanntlich neben seiner hohen Härte die Eigenschaft eines sehr geringen Verformungsvermögens, also einer verschwindend kleinen Zähigkeit; weiters besitzt es ein größeres spezifisches Volumen als das ferritisch-perlitische Gefüge des Stahls im Normalzustand, so daß der Anlaß zu besonders hohen örtlichen Überspannungen gegeben ist. Das bedeutet praktisch für den Metallurgen, daß er den Kohlenstoffgehalt, allerdings mit gewisser Anpassung an die Dicke des Werkstückes, mit etwa 0,20% nach oben begrenzen muß. Da man mit diesem begrenzten Kohlenstoffgehalt allein aber nicht die hohen Elastizitätsgrenzen und Zerreißfestigkeiten erreicht, die der Stahlbau aus Gewichtsersparungsgründen verlangt, so müssen diese vor allem auf dem Wege von Legierungszusätzen erreicht werden. Legierungszusätze beeinflussen aber wiederum für sich auch die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit, und es ist daher eine genaue Kenntnis der theoretischen Zusammenhänge und ihrer praktischen Wirkung notwendig, um das in jeder Hinsicht richtige Maß einzuhalten. Es ist dies mit ein Grund, warum der Stahlhersteller nicht sofort jeder neuen Qualitätsforderung, die von der Verbraucherseite herangetragen wird, entsprechen kann, und warum neue, verbesserte Stahlsorten in einem meist mühevollen Weg im richtigen Wortsinn „entwickelt“ werden müssen. Zur Frage der Schweißbarkeit gehört im übrigen neben der richtigen Abstimmung der Analyse des Stahls auch der metallurgische Herstellungsgang. Wir haben heute in einem bestimmten Ausmaß die Möglichkeit, vom Herstellungsgang her die Korngröße des Stahls zu

beherrschen. Durch die Technik der sogenannten Feinkornerschmelzung, die auf der bewußten Einbringung einer „Trübe“ von in der Regel submikroskopisch kleinen nichtmetallischen Einschlüssen in den Stahl besteht, sind wir in der Lage, die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit bei sonst gleichen Voraussetzungen zu heben und damit die Möglichkeit der Martensitbildung und die Gefahr des Auftretens eines verformungslosen Trennbruches beim Schweißen weitgehend einzuschränken. Man wird von diesen Möglichkeiten besonders bei dicken Werkstücken Gebrauch machen müssen, nur muß verstanden werden, daß damit gewisse Erschwerungen anderer Art im Herstellungsgang des Stahls verknüpft sind.

- d) **Widerstand gegen Rosten und Korrosion.** Der Metallurge weiß wohl, wie man einen vollkommen rost- und korrosionsbeständigen Stahl herstellen kann. Aber für den Stahlbau kommt die Ausnützung dieser Möglichkeit heute noch wenig in Frage, vor allem aus wirtschaftlichen Gründen; Aufgaben, wie Portalverkleidungen oder der berühmte silberleuchtende Turmhelm des Empire State Building in New York, liegen noch außerhalb der eigentlichen Aufgaben unseres Stahlbaues. Hingegen hat die Herstellung eines zwar nicht rostfreien, aber immerhin rostträgern Stahls bereits erheblichen Umfang angenommen. Solche Stähle werden auf der Basis der Kupferlegierung hergestellt und haben als Mn-Si-Cu-Stähle oder als Cr-Cu-Stähle erhebliche Bedeutung in der Gruppe der hochwertigen Baustähle für den Stahlbau erlangt. Die Rostträgheit zeigt sich bei ihnen besonders auch in der Weise, daß Schutzanstriche nicht so schnell durch Unterrostung abblättern. Die Kupferlegierung trägt gleichzeitig zu einer Erhöhung der Elastizitätsgrenze bei. Im ganzen gesehen bleibt der Stahlbau von heute aber in jedem Fall auf Schutzüberzüge für den Stahl angewiesen, die in den meisten Fällen Farbfilme sein werden; diese sind in einer erfolgreichen Entwicklungsarbeit, die nicht von den Metallurgen geleistet worden ist, in ihrer Qualität wesentlich verbessert worden. In bestimmten Fällen kommt auch der Oberflächenschutz durch Feuerverzinkung oder durch galvanisch aufgebraute korrosionsbeständige Schichten in Frage, oder schließlich die Plattierung des Stahls mit einer Deckschicht von rostfreiem Stahl oder sonstigem korrosionsbeständigen Metall. Diese letztere Aufgabe gehört bereits wieder in das Arbeitsgebiet der Metallurgen, da zu einer einwandfreien Plattierung eine Reihe von werkstoffkundlichen Kenntnissen und praktischen Erfahrungen im Walzwerk nötig sind.

Nach diesem notgedrungen ganz kurzen Abriss über die Qualitätsforderungen darf ich zu meinem eigentlichen Thema zurückkehren und mit der naheliegenden Frage beginnen: Wozu sind heute besondere Anstrengungen der Metallurgen und das Suchen nach neuen Wegen eigentlich nötig, da wir doch im Siemens-Martinverfahren ein Stahlherstellungsverfahren besitzen, das einerseits qualitativ im wesentlichen entspricht und das andererseits durch die neuzeit-

lichen großen Ofeneinheiten mengenmäßig sehr leistungsfähig erscheint und auch den Ansprüchen an die Billigkeit des Stahls im großen ganzen ja gerecht wird. Diese Fragestellung ist zweifellos sehr berechtigt. Es muß aber vor allem geantwortet werden, daß die Voraussetzungen für eine Ausweitung der Siemens-Martin-Stahlherstellung, wie sie die immer steigenden mengenmäßigen Ansprüche, nicht zuletzt auch des Stahlbaues erfordern, an vielen Stellen in der Welt und besonders auch in Österreich heute gar nicht mehr gegeben wären. Es kommt hiezu, daß auch die bestehende Siemens-Martinstahlherzeugung mit einigen grundsätzlichen Schwächen behaftet ist, die sich auf die Herstellungstechnik und in gewissem Maße auswirkend sogar auch auf die Qualitätsseite erstrecken, so daß wir heute nicht mehr in der Lage sind, darin das Ideal eines Stahlherstellungsverfahrens schlechthin zu erblicken.

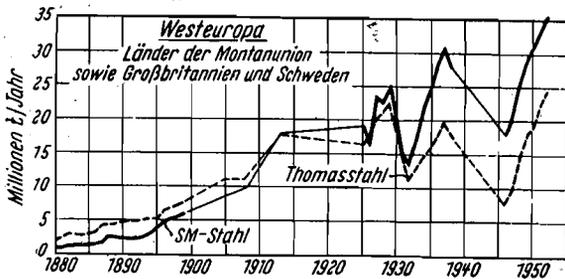
Die Hauptschwierigkeit für das Siemens-Martinverfahren, und zumindestens für seine Ausweitung, liegt heute auf der Seite der Rohstoffe. Es ist dies ein Gebiet, das scheinbar zur alleinigen Domäne der Metallurgen gehört und den Stahlbauer nicht zu interessieren braucht. Das stimmt aber nicht, denn die Rohstofffrage beeinflusst entscheidend die mengenmäßige Bereitstellung der Stähle auch für den Stahlbau, und bis zu einem gewissen Grad die Qualität und den Preis. Das Siemens-Martinverfahren benötigt als Rohstoff Stahlschrott, weifers Roheisen und dazu im richtigen Ausmaß Eisenerz oder sonstige Eisenoxydträger, und allenfalls Kohlungs- und Legierungs-, sowie Desoxydationsmittel, in jedem Fall Schlackenbildungsstoffe. Theoretisch kann das Verhältnis zwischen Stahlschrott und Roheisen in weitesten Grenzen geändert werden, von 100% Stahlschrott bis zu 100% Roheisen, wobei der Ausgleich durch Kohlungsmittel oder Oxydträger zu schaffen ist. Praktisch ist es aber doch so, daß in der Nähe dieser extremen Grenzen die Arbeitsweise sehr schwierig und meistens auch unwirtschaftlich wird; die vernünftigen Grenzen für das Verhältnis von Stahlschrott zu Roheisen liegen erheblich enger, und zwar zwischen etwa 80 und 50% Stahlschrott, Rest Roheisen; Ausnahmen, die nur unter bestimmten Verhältnissen tragbar sind und praktiziert werden, bestätigen nur diese Regel. Unterschreitungen des Schrottsatzes und entsprechende Überschreitungen des Roheisensatzes bringen unter anderem eine übergroße Schlackenmenge, die die Durchwärmung des Bades erschwert, zu Sondermaßnahmen zwingt und die Schmelzdauer verlängert, was allein schon für die Schmelzkosten nicht gleichgültig sein kann.

Als vor nunmehr 91 Jahren das Siemens-Martinverfahren erfunden worden und in Sireuil in Frankreich der erste Ofen in Betrieb gegangen ist, war der Anstoß für die Erfindung das Vorhandensein einer immer wachsenden Stahlschrottmenge gewesen, mit der man bis dahin nichts anzufangen wußte. Heute, da sich das Siemens-Martinverfahren längst die ganze Welt erobert hat, sind wir aber dahin gekommen, daß zu wenig Schrott zur Verfügung steht. Im besonderen Maß gilt dies für Länder wie Österreich, die Stahl im verhältnismäßig beträchtlichen Ausmaß exportieren; es ist selbstverständlich, daß

schon auf diese Weise im Land eine Unterbilanz für den Schrott zustandekommen muß. Wenn wir nun nach dem letzten Krieg in Österreich unsere Stahlerzeugung auf dem Wege eines Ausbaues unserer Siemens-Martinofen-Kapazität hätten ausweiten wollen, so hätte die Schrottversorgung aus dem Inland keinesfalls mehr ausgereicht. Ähnliche Verhältnisse liegen, mehr oder weniger ausgeprägt, auch in einer Reihe anderer europäischer Staaten vor. Es wurde, auch bei uns in Österreich, versucht, Schrott aus Übersee, nämlich den Vereinigten Staaten von Amerika, zu kaufen; abgesehen davon, daß Amerika für den Export nach Europa keine hochwertigen Schrottsorten freigegeben hat, sondern diese verständlicherweise im eigenen Land behält, kommen solche Schrotteinfuhren auch unverhältnismäßig teuer und können wirklich nur als ein kurzfristiger Notbehelf gewertet werden.

Es ist daher durchaus naheliegend, daß in Europa nach dem letzten Krieg das Bestreben wachgerufen worden ist, die Stahlherstellung verstärkt nach jenen Verfahren zu verlagern, deren Rohstoff stark überwiegend das Roheisen ist, die also im Gegensatz zum Siemens-Martinverfahren einen geringen Schrottverbrauch haben. Als solche Verfahren sind seit gerade einem Jahrhundert das Bessemerverfahren und seit dreiviertel Jahrhunderten das Thomasverfahren vorgezeichnet. Besonders das letztgenannte nimmt mengenmäßig an der europäischen Stahlerzeugung seit jeher einen großen Anteil ein, der jenem der Siemens-Martin-Stahlerzeugung an sich schon nahekommt, wie Bild 1<sup>1)</sup> zeigt. In den Vereinigten Staaten ist

Bild 1



der Anteil dieser Verfahren auf das Bessemerverfahren beschränkt und ist gegenüber dem Siemens-Martinverfahren jedenfalls sehr viel kleiner als in Europa. Es ist bekannt und durch die Großzahluntersuchung nachgewiesen, daß der Thomasstahl bei gleicher Festigkeit eine etwas höhere Dehnung und Einschnürung aufweist als der Siemens-Martin-Stahl. Bild 2<sup>2)</sup> gibt diesen großzahlmäßigen Vergleich wieder. Der Grund hierfür ist wohl in erster Linie wieder auf der Roh-

<sup>1)</sup> A. Weyel und H. Kosmider, „Über die Entwicklung des basischen Windfrischverfahrens in Europa“ (Bericht der Klöckner-Hüttenwerk Haspe Aktiengesellschaft, Selbstverlag, 1954).

<sup>2)</sup> K. Dæves, Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen, 3. Aufl., Blatt C 45—1 (Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1953).

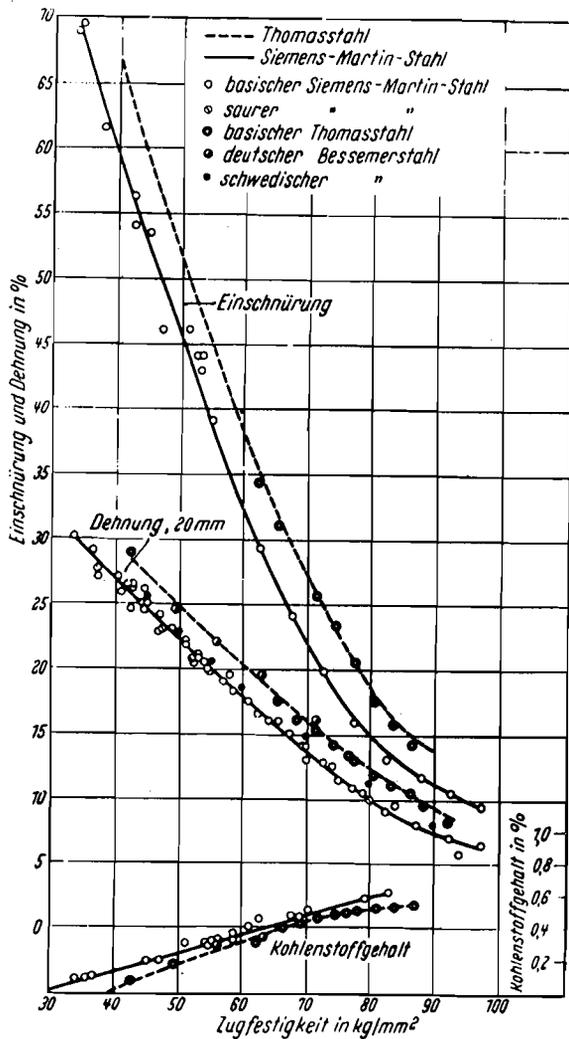


Bild 2

stoffseite zu suchen. Das Thomasverfahren verwendet bis auf einen kleinen Schrottanteil, der in der Regel als guter Neuschrott zur Verfügung steht, nur „jungfräulichen“ Rohstoff, nämlich das unmittelbar aus der Erzreduktion entstandene Roheisen, während in den Siemens-Martin-Stahl durch den Altschrott manchmal unkontrollierbare Beimengungen als sogenannte Spurenelemente mit unerwünschter Summenwirkung eingebracht werden. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (für Europa kommt wegen der Erzgrundlage praktisch nur das letztere in Frage!) sind gegenüber dem Siemens-Martinverfahren auch mengenmäßig viel leistungsfähiger; die Anlagekosten für ein Thomasstahlwerk sind, bezogen auf die gleiche Stahlerzeugung, wesentlich kleiner als für ein Siemens-Martin-Stahlwerk und der Erzeugungsrhythmus für den Stahl ist viel günstiger, was eine Ersparnis in den Verarbeitungsanlagen, z. B. in der Bemessung der Tiefofen, ermöglicht. Es sind dies Fragen, die scheinbar nur den Hüttenmann interessieren und den Stahlbauer nichts angehen; da sie aber Einfluß auf die Gesteungskosten und damit auf den möglichen Stahlpreis haben, sind sie ohne Zweifel doch auch für den Stahlbauer nicht unwichtig. Ich werde später in einem anderen Zusammenhang auf diese Dinge noch zurück-

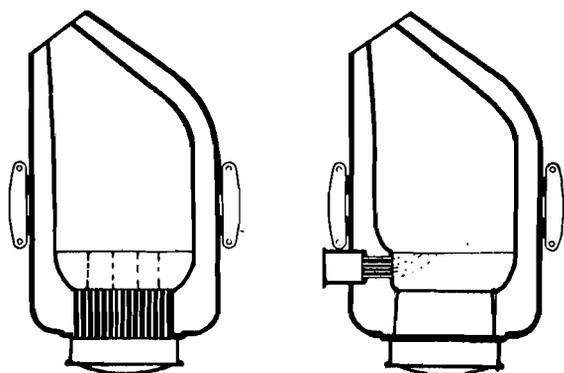


Bild 3

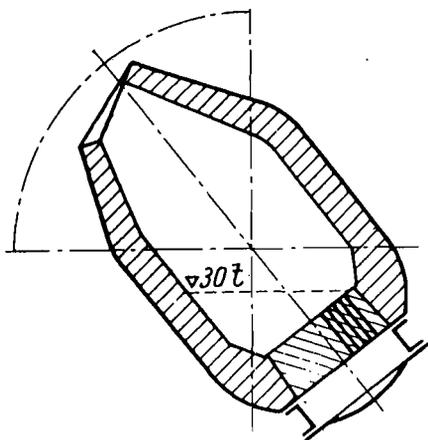


Bild 4

kommen. — Trotz diesen grundsätzlich günstigen Voraussetzungen wäre es aber nicht möglich, durch eine bloße Ausweitung der Thomasstahlerzeugung in der klassischen Form das Problem des neuzeitlichen Stahlbedarfes, wie er nicht zuletzt von der Seite des Stahlbaues her besteht, zu lösen. Der Grund hierfür liegt darin, daß dem Thomasstahl, selbst wenn Rohstoffe mit genügend hohem P-Gehalt vorliegen, bestimmte naturgegebene Mängel anhaften, die seine Verwendung gerade auch im Stahlbau beschränken. Beim Thomasverfahren wird bekanntlich das flüssige Roheisen vom Boden des Gefäßes her mit Luft durchblasen; dieser Luftstrom darf während des Betriebes nicht aufhören und nie unter eine bestimmte Stärke absinken. Dies führt dazu, daß man den Frischverlauf nicht genügend in der Hand hat, also die Sauerstoffzufuhr nicht den Bedürfnissen der fortschreitenden Entfernung der Begleitelemente des Roheisens genau anpassen kann und es daher leicht zu Übersättigungen kommt, die man nachträglich, soweit es eben geht, durch desoxydierende Zusätze zum Stahl wieder zu beheben trachtet. Vor allem aber ist es unvermeidlich, daß der Stickstoff, der mit dem Luftsauerstoff in vierfacher Menge des letzteren durch das Roheisenbad gejagt wird, zu einer Stickstoffaufnahme durch das Metall im höchstmöglichen Ausmaß führt. Der Stickstoffgehalt des

Thomasstahles, der im Durchschnitt etwa dreimal so hoch liegt wie jener vom Siemens-Martinstahl, ist nun in erster Linie verantwortlich für die Alterungsneigung des Stahls, das heißt die starke selbsttätige Versprödung nach einer vorangegangenen geringen Kaltverformung. Diese schließt die Verwendung des Thomasstahls für eine ganze Reihe von Zwecken grundsätzlich aus; sie ist auch eine Quelle der Unsicherheit in geschweißten Konstruktionen, da in diesen, wie einleitend schon kurz angedeutet worden ist, kleine örtliche Kaltverformungen als Folge von örtlichen Überspannungen eine wichtige Rolle spielen. Im ganzen gesehen ist der klassische Thomasstahl, besonders für die vom Stahlbau benötigten höheren Festigkeitsbereiche, in seiner Herstellung also zu schwer beherrschbar und in seinen Eigenschaften zu unsicher.

Das Bestreben der Metallurgen in jenen europäischen Stahlerzeugungsgebieten, in denen der Thomasstahl zu Hause ist, ist daher in den letzten Jahren dahin gegangen, den Thomasstahl wenigstens von jenen Mängeln zu befreien, hinsichtlich welcher ein Angriff grundsätzlich möglich ist. Der Angriff wurde auf den Stickstoffgehalt des Thomasstahls gerichtet, und zwar, wie gleich vorweggenommen ist, mit bedeutendem Erfolg. Führend auf dem Wege dieser wichtigen Verbesserung sind vor allem die deutschen und die belgischen Metallurgen, denen sich aber auch jene aus anderen Ländern, wie England, angeschlossen haben. Es ist an dieser Stelle nicht möglich, den ganzen Entwicklungsgang dieser Verbesserungen und die schließlich doch nur den zünftigen Metallurgen interessierenden Einzelheiten hier zu schildern. Es genügt wohl festzuhalten, daß, schon beginnend während des letzten Krieges, beachtenswerte Erfolge erzielt wurden durch Verkleinerung des Durchgangsweges für den Stickstoffstrom durch das Metallbad, was zu Vorschlägen, wie den seitlich blasenden und den schräggestellten Konverter geführt hat. (Siehe Bild 3<sup>3)</sup> und Bild 4<sup>4)</sup>.) Weiters konnte ein wichtiger Fortschritt durch eine geeignet dosierte und zur richtigen Zeit angewendete Zugabe von Erz erzielt werden, mit der es gelingt, die Entphosphorung zeitlich etwas voranzuziehen und dadurch die hinsichtlich der Stickstoffentnahme besonders gefährliche sogenannte Nachblaseperiode zu beeinflussen. Und schließlich wurde ein sehr großer Erfolg erzielt durch das Verfahren, während eines Teils des Chargenganges nicht Luft, sondern Sauerstoff von unten in den Konverter zu blasen. Da dies aber keineswegs ohne weiteres möglich ist und zu einer sehr raschen Zerstörung des Düsenbodens und anderen unüberwindlichen Schwierigkeiten führen würde, hat man den Gedanken verwirklicht, den Sauerstoff durch Wasserdampf oder durch Kohlensäure zu verdünnen. Vor allem das erste Verfahren hat zu betriebsmäßiger Großanwendung und wirklichem Erfolg geführt. Bild 5<sup>5)</sup> gibt zwei

<sup>3)</sup> W. Bading, „Herstellung eines heiß erblasenen, stickstoffarmen Stahls“ (Vertraulicher Bericht Nr. 67 [Mai 1944] des Vereins deutscher Eisenhüttenleute). Im Bild links ein normaler Konverter.

<sup>4)</sup> A. Weyel und H. Kosmider, a. a. O.

<sup>5)</sup> R. Durrer, „Die Metallurgie des Eisens“, 3. Aufl. 1943, S. 530 (nach F. Wüst).

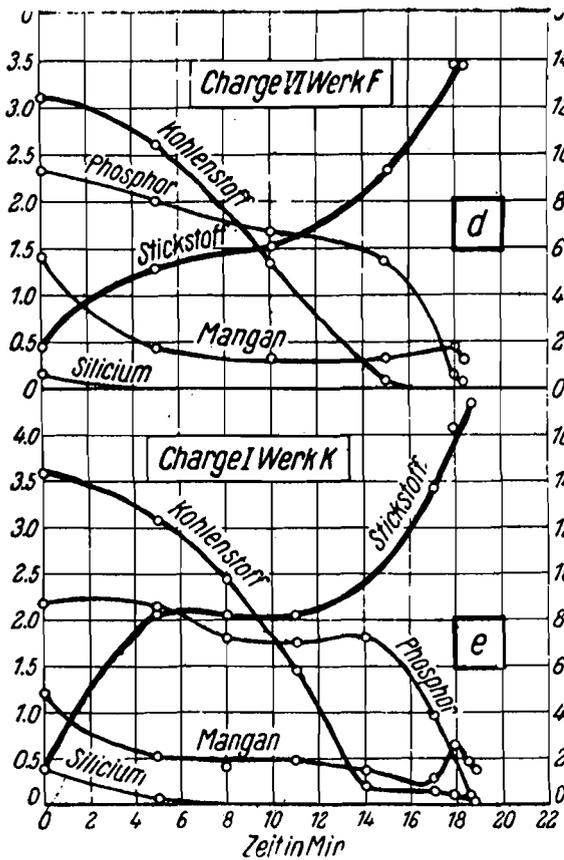


Bild 5

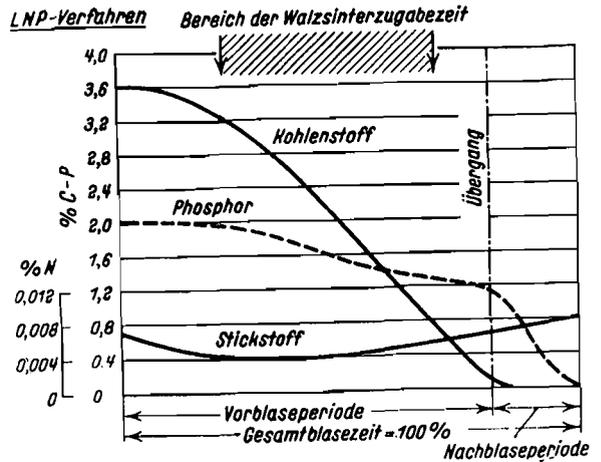


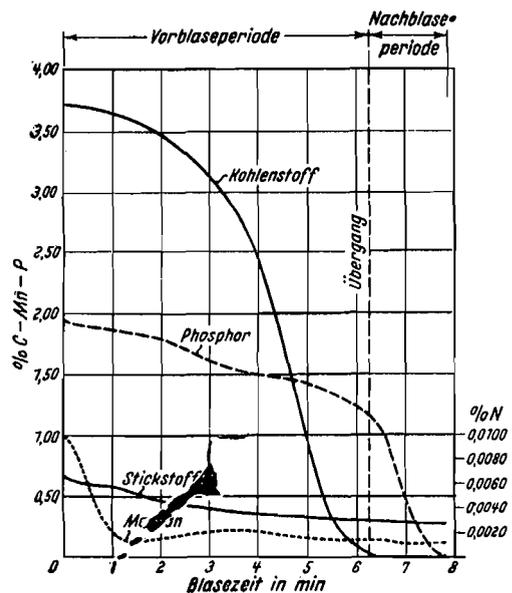
Bild 6

Basis unseres phosphorarmen, aber manganreichen Stahlroheisens und zugleich ohne jede Minderung der bewährten Güte unseres Stahls, erreichen wollten. Der Weg war im Prinzip vorgezeichnet durch ein aus dem Jahre 1939 stammendes, in den Händen der Firma Brassert befindliches Patent von C. V. Schwarz und durch erfolgreiche Versuche im kleinen, aber immerhin schon betriebsmäßigen Umfang, die Professor Durrer in seinem schweizerischen Werk Gerlingen durchgeführt hatte. Sie verfolgten den Gedanken, als Frischmittel reinen gasförmigen Sauerstoff zu verwenden und diesen unverdünnt lotrecht von oben auf ein Bad von Stahlroheisen mit einer wassergekühlten Lanze zu blasen. Damit entsteht an der Auftreffstelle eine oxydische Schlacke, die in ganz ähnlicher Weise, wie dies beim Siemens-Martinverfahren der Fall ist, den Sauerstoff durch eine Schlackenreaktion weiter auf das Metallbad überträgt. Da das Blasen vom

Beispiele für Chargengänge nach dem klassischen Thomasverfahren, Bild 6<sup>6)</sup> ein Beispiel für die Wirkung einer Erzzugabe und Bild 7<sup>7)</sup> zeigt die Arbeitsweise mit Sauerstoff + Wasserdampf. Es ist vor allem die wichtige Herabdrückung des Stickstoffgehaltes im Fertigstahl zu entnehmen. Daß alle diese Bemühungen nichts an der Tatsache, daß man bei jedem Thomasverfahren von unten blasen muß und während des Blasens unter einen bestimmten Mindestdruck nicht gehen darf, und weiters an der Durchwirbelung des Bades mit dem Frischmittel und damit an der gewissen Schwierigkeit der Beherrschung des Chargenablaufes ändern können, muß freilich festgehalten werden.

Bei uns in Österreich stand, wie schon hervorgehoben, das Problem der Ausweitung der Stahlerzeugung auf einem Weg abseits des Siemens-Martinverfahrens ebenfalls als eine lebenswichtige Aufgabe vor den Metallurgen. Es konnte aber bei uns von Haus aus nicht ein irgendwie verbesserter Thomasprozeß in Betracht gezogen werden, denn hierfür fehlt in Österreich die Grundlage des phosphorreichen Erzes und Roheisens. In Österreich mußte daher ein ganz neuer Weg beschritten werden, wenn wir eine ausgiebige Vergrößerung unserer Stahlerzeugung, ohne Inanspruchnahme von fremdem Schrott und auf der

Bild 7



<sup>6)</sup> A. Weyel und H. Kosmider, a. a. O.

<sup>7)</sup> A. Weyel und H. Kosmider, a. a. O.

Boden her wegfällt, ist es möglich, die Sauerstoffzufuhr ganz nach Belieben zu regeln und den Fortschritten des Frischprozesses in jedem Augenblick anzupassen. Damit sind die grundsätzlichen Voraussetzungen für die Erzeugung eines Stahls, der der österreichischen Siemens-Martingüte vollkommen entspricht, gegeben; aber es fallen die Sorgen der Schrottbeschaffung weg und es werden hinsichtlich der mengenmäßigen Leistungsfähigkeit usw. die Vorteile des Thomasverfahrens übernommen.

Von dem Grundgedanken und den erfolgreichen Kleinversuchen führte aber noch ein mühevoller Weg bis zur Betriebsreife des Verfahrens im Großbetrieb. Dieser Weg hat den ganzen Einsatz des Könnens und vielen Schweiß der österreichischen Stahlwerker in Linz und Donawitz gekostet. Seit dem Jahre 1953 arbeiten aber die Großanlagen mit 30-Tonnen-Konvertern in Linz und in Donawitz ununterbrochen und einwandfrei und praktisch ohne Kinderkrankheiten. Dies ist nur dadurch ermöglicht worden, daß in beiden Werken parallel die Versuche schrittweise mit immer größeren Einheiten durchgeführt und an ihnen die Erfahrungen gesammelt worden sind. Es ist über diese Entwicklungsgänge und die Erfolge ja an anderen Stellen schon mehrfach und ausführlich berichtet worden.<sup>\*)</sup> Bild 8<sup>b)</sup> soll nur die Konverter nochmals zeigen und Bild 9<sup>b)</sup> einen typischen Chargengang. Heute hat Österreich in den beiden Werken schon nahe an zwei Millionen Tonnen Rohstahl in einwandfreier Qualität erzeugt. Eine weitere Verstärkung dieser Herstellung des „Oxygenstahls“ (wie er zusammenfassend und unbeschadet der Werksbezeichnungen „LD-Stahl“ von Linz und „SK-Stahl“ von Donawitz getauft worden ist) steht bevor und es wird in Kürze die Erzeugung an Oxygenstahl in Österreich jene an Siemens-Martinstahl übersteigen. Die österreichische Entwicklung findet auch im Ausland größte Beachtung. Die Auslandsinteressen werden vertragsmäßig von der Brassert Oxygen-Technik Aktiengesellschaft in Zürich-Zollikon wahrgenom-

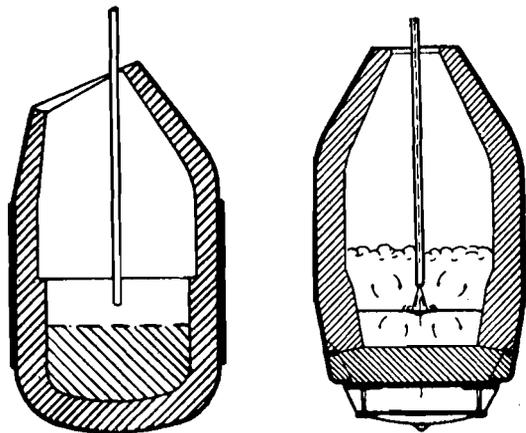


Bild 8

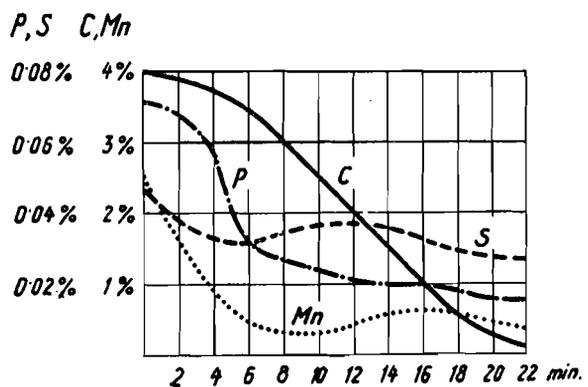


Bild 9

men und haben bereits zur Errichtung von mehreren Werken nach österreichischem Vorbild geführt; unsere österreichischen Werke aber sind zu einer Art Pilgerzentrum für die Metallurgen aus der ganzen Welt, die das neue Verfahren kennenlernen wollen, geworden.

Was interessiert nun im besonderen den Stahlbauer an dieser österreichischen Entwicklung? Es ist die Tatsache, daß durch sie die beiden Forderungen, die ich am Eingang meines Vortrages herausgestellt habe, in einer glücklichen Weise verbunden werden konnten. Auf der Qualitätsseite hat sich in gewissenhafter Erprobung und in der nun schon mehrjährigen Erfahrung gezeigt, daß die vom österreichischen Siemens-Martinstahl gewohnte Güte voll gewahrt worden ist. Als ein eindringliches Beispiel hierfür mag vielleicht die erfolgreiche Zulassungsprüfung des neuen Stahls in Linz vor einem Jahr durch die Schiffbau-Klassifikationsgesellschaften, mit dem Britischen Lloyd in der Führung, gelten. In rund 3700 Einzelversuchen ist damals den kritisch eingestellten Partnern gegenüber die einwandfreie Erfüllung aller für S. M.-Stahl gestellten Qualitätsforderungen bestätigt worden. In einigen Belangen zeigt sich sogar ein gerade den Stahlbauer interessierender klarer Vorzug des neuen Stahls gegenüber dem Siemens-Martinstahl. Dies gilt besonders für die Höhe des Schwefelgehaltes, der

\*) Siehe u. a.: H. Malzacher und R. Walzel „Oxygenstahl und Oxygenstahlwerke“, herausgegeben von der Brassert Oxygen Technik A. G. in Zürich-Zollikon, Selbstverlag 1953; dort eine ausführliche Schriftumsübersicht, die im besonderen auch die Berichte von O. Cuscoleca, H. Trenkler, K. Rösner, W. Kühnelt und H. Hautmann auf der Tagung „Stahlfrischen mit reinem Sauerstoff“ des Technisch-wissenschaftlichen Vereins „Eisenhütte Österreich“ am 3. Dezember 1951 in Leoben berücksichtigt (abgedruckt in Stahl und Eisen 72 (1952), Heft 17, S. 989 bis 1024). — Weiters siehe die von den Vereinigten Österreichischen Eisen- und Stahlwerken A. G. in Linz und von der Oesterreichisch-Alpinen Montangesellschaft in Wien herausgegebenen Forschungsberichte und Werbeschriften. — Eine zusammenfassende Darstellung „Über die Entwicklung des Blasstahlverfahrens“ aus jüngster Zeit stammt von O. Cuscoleca (Österreichische Chemikerzeitung 56 (1955), Heft 13/14, S. 187/198).

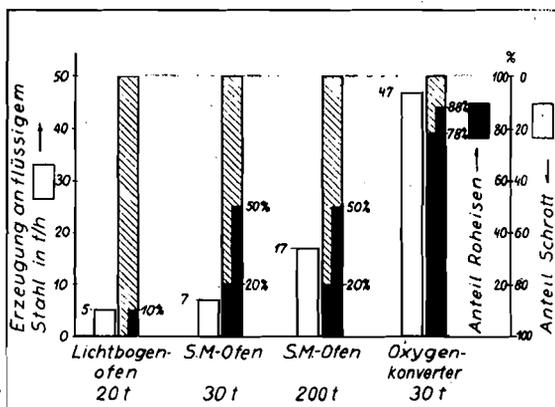
<sup>b)</sup> H. Trenkler (Stahl und Eisen 72 (1952), S. 992/997) und K. Rösner (Stahl und Eisen 72 (1952), S. 997/1004).

<sup>b)</sup> K. Rösner a. a. O. (Der Stickstoffgehalt fehlt in dieser Darstellung, da er für das Oxygenverfahren praktisch kein Problem bedeutet; er kann im Fertigstahl ohne weiters auf etwa 0,003% beschränkt werden).

ja bekanntlich von den Schweißtechnikern nicht ohne Grund sehr niedrig begrenzt gewünscht wird. Es fällt beim Oxygenstahl jeder Anlaß für eine Schwefeleinbringung, wie sie sonst vom Generatorgas im Siemens-Martinofen vorkommt, weg und es liegt überdies an sich im Oxygenverfahren die Tendenz zu einer Entschwefelung über die Gasphase. Dementsprechend liegen die Schwefelgehalte im Oxygenstahl durchschnittlich um 0,01 bis 0,02% niedriger als im Siemens-Martin Stahl (z. B. nach einer Donawitzer Großzahluntersuchung 0,028 gegen 0,042% Schwefel). Daß die Stickstoffgehalte sehr niedrig sind und eher an der unteren Grenze der im Siemens-Martin Stahl gefundenen liegen, wurde schon angedeutet und ist bei der Verwendung von technisch-reinem Sauerstoff, der mindestens 98% (in der Regel über 99%) elementaren Sauerstoff enthält, eigentlich selbstverständlich. Die Sauerstoffgehalte des Stahls liegen, dank der ausgezeichneten Beherrschbarkeit der Sauerstoffzufuhr während des Chargenganges, erfahrungsgemäß so niedrig, daß auch bei der Herstellung kohlenstoffärmster Stahlsorten in den meisten Fällen die Zugabe von Desoxydationsmitteln ganz unterlassen werden kann; das ist bekanntlich im Siemens-Martinverfahren keineswegs in gleichem Ausmaß möglich, und im Thomasverfahren selbstverständlich noch weniger. Die Herstellung von höher gekohlten und legierten Stahlsorten ist gut möglich, da der Inhalt des Reaktionsgefäßes nach Abstellung der Sauerstoffzufuhr in völliger Reaktionsruhe verbleibt, ähnlich etwa wie der Stahl in einem Elektrostahl Ofen. Im Siemens-Martinofen ist es grundsätzlich nicht möglich, einen solchen Reaktionsstillstand zu erreichen, da die Frischwirkung der Heizgase dauernd weiter tätig bleibt.

Von der Seite der mengenmäßigen Leistungsfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit vermag das Oxygenverfahren ebenfalls den Wünschen der Stahlbauer entgegenzukommen. Die mengenmäßige Leistungsfähigkeit liegt durchaus in der Höhe jener des Thomasverfahrens und ist den anderen Stahlerzeugungsverfahren stark überlegen. Bild 10 gibt hierzu einen Überblick und läßt gleichzeitig nochmals die Einsatznotwendigkeiten hinsichtlich Roheisen und Schrott erkennen, die ja den wesentlichen Anstoß zur Entwicklung des neuen Verfahrens gegeben haben. Von der Rohstoffseite her entsteht der Oxygenstahl somit stark überwiegend aus dem jungfräulichen und

Bild 10



## Blockkosten

in Prozenten des Roheisenpreises

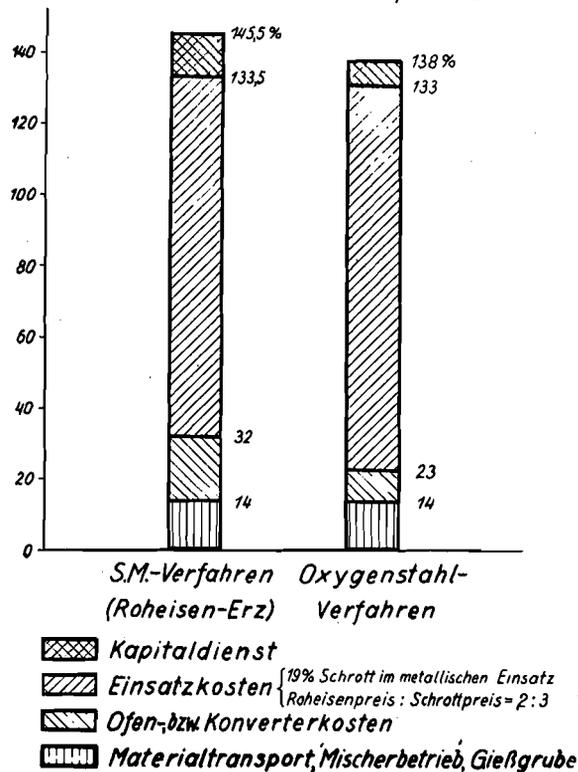


Bild 11

an sich qualitativ hochwertigen Stahlroheisen. Der kleine Schrottanteil wird sehr leicht aufgebracht aus dem Anfall an neuem Eigenschrott des Stahl- und Walzwerkes, so daß keinerlei Unsicherheit durch fremden Altschrott hereingetragen werden muß. Für die den Stahlbauer nur mittelbar interessierenden Fragen der Anlagekosten des Stahlwerkes gilt, daß sie für ein Oxygenstahlwerk mit bloß etwa 60% von jenem eines Siemens-Martinwerkes gleicher Erzeugung angesetzt zu werden brauchen, und zwar einschließlich der Kosten für die Sauerstofferzeugungsanlage. Dies ermöglicht insgesamt eine kleinere Belastung des Stahls durch Amortisation und Verzinsung der Anlage und trägt dazu bei, daß der Oxygenstahl trotz dem Reinsauerstoffbedarf nur etwa gleich teuer kommt wie der Siemens-Martin Stahl. Im einzelnen werden die Gestehungskosten selbstverständlich stark durch die Preisrelation von Roheisen und Schrott bestimmt und es ist unmöglich, eine allgemein gültige Ziffer zu nennen; Bild 11<sup>10)</sup> kann aber in diesem Belang als ein Anhalt dienen. Und wenn schließlich für das Oxygenverfahren betont wird, daß ihm in der Frage des Erzeugungsrhythmus alle Vorteile des Thomasverfahrens zukommen und daß die Nachteile des Siemens-Martinverfahrens vermieden werden, so wird etwas ausgesprochen, das wiederum den Stahlbauer zwar auch nur mittelbar interessiert, das aber im Sinne einer neuzeitlichen guten Stahlwirts-

<sup>10)</sup> H. Malzacher und R. Walzel, a. a. O.

schafft höchst wichtig ist. Ich bitte Sie, folgendes zu bedenken: Das Blockwalzwerk braucht die Stahlblöcke im Abstand von rund einer Minute; ein Siemens-Martinofen gibt aber, je nach seiner Größe, den Stahl nur in Abständen zwischen etwa 5 und 16 Stunden her. Das bedingt zwischen dem Blockwalzwerk und dem Siemens-Martinofen einen großen Speicherraum in Form von Tieföfen und Wärmegruben, in denen die Blöcke unterschiedlich lange gehalten und gewärmt werden müssen. Die Schwierigkeit wird umso größer, auf je größere Ofeneinheiten man zwecks Steigerung der sogenannten Stundenleistung geht; in den Vereinigten Staaten stößt der größte Siemens-Martinofen bereits etwa 550 Tonnen Stahl auf einmal, aber in entsprechend großen Abständen aus, und diese Menge muß, wie gesagt, gespeichert werden. Demgegenüber gibt der Sauerstoffkonverter seinen Stahl in Abständen von 35 bis 40 Minuten her, wobei die reine Blasezeit nur etwa die Hälfte davon einnimmt. Das ermöglicht verständlicherweise eine viel zügigere Zusammenarbeit zwischen Stahlwerk und Walzwerk, es ermöglicht auch einen wesentlich leichteren Bau des Stahlwerkes, da man ja nicht mehr die Krane für die schweren Chargengewichte der Siemens-

Martinöfen braucht usw. Alle diese Vorteile kommen indirekt doch irgendwie dem Stahlbau zugute, auch wenn sie zunächst nur die Gemüter der Eisenhüttenleute bewegen.\*\*)

Meine Herren, es würde mich freuen, wenn Ihnen dieser notgedrungen sehr gedrängte Überblick über die neuzeitlichen Stahlherstellungsverfahren, unter bevorzugter Darlegung der österreichischen Entwicklung, etwas Interesse abgewonnen hätte; und wenn Sie den Eindruck mitnehmen würden, daß die Metallurgen versuchen, das Ihrige zu tun, um dem Stahlbau jene Grundlagen zu geben, die er für eine gedeihliche Weiterentwicklung braucht.

\*\*\*) Eine Weiterentwicklung auf dem Gebiet des Sauerstoffverfahrens, der noch hier und dort besondere Bedeutung zukommen wird und die auch den Stahlbau mittelbar interessieren wird, betrifft die Koppelung des Sauerstoffkonverters mit einem Heißwind-Kupolofen als Schmelzgerät. Es soll dies nicht unerwähnt bleiben, wenn auch auf den Gegenstand an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann. Siehe: H. Malzacher und R. Walzel, „Hochwertiger Stahl aus dem Sauerstoffkonverter in Zusammenarbeit mit einem Heißwind-Kupolofen“. (Neue Züricher Zeitung, Beilage „Technik“, Nr. 1484 vom 16. Juni 1954).

## Eigenschaften der Stähle im Druckrohrleitungs- und Stahlwasserbau sowie deren Abnahmebedingungen

A. Slattenschek, Techn. Versuchs- und Forschungsanstalt der Techn. Hochschule Wien

*Herrn Prof. Dr. Ing. P. Riebenschalm zum 75. Geburtstag in Dankbarkeit gewidmet*

Mit der Einführung der neuzeitlichen Schweißverfahren im Stahlbau sind vorher nicht beobachtete Schadenfälle aufgetreten, die unter der Bezeichnung „Sprödbrüche“ bekannt wurden. Das Alarmierende daran war, daß diese Sprödbrüche bei Belastungen entstanden, die auf Grund der einwandfreien statischen Berechnungen keineswegs gefährlich sein durften (1).

Sowohl Forschung als auch Entwicklung haben sich seither eingehend mit diesen Problemen befaßt. Es wurden dadurch Unterlagen geschaffen, die es dem Konstrukteur und der Werkstätte ermöglichen, die Gefahr eines Sprödbruches bei Schweißkonstruktionen zu bannen.

Eine Druckrohrleitung gehört in mehrfacher Hinsicht zu den heikelsten Schweißkonstruktionen, so daß an diesem Beispiel auch alle für die Sicherheit einer Schweißkonstruktion maßgebenden Umstände erläutert werden können.

Bei Betrachtung der Sprödbruchprobleme spielen räumliche Spannungszustände eine wichtige Rolle. Man ist daher gezwungen, eine Anstrengungshypothese anzunehmen. Es wurde schon öfter, zuletzt bei der Sprödbruchtagung in Leoben im Februar 1953 (2), ausführlich dargelegt, daß die Hypothese von T. O. Mohr mit der parabolischen Hüllkurve nach A. Leon hierfür besonders geeignet erscheint.

Die Hüllkurve (Bild 1) beschreibt den augenblicklichen Festigkeitszustand eines Werkstoffes in

der Weise, daß sie zeigt, wie die kritische Schubspannung, d. h. also die Schubfestigkeit des Werkstoffes, von der gleichzeitig wirkenden Normalbeanspruchung abhängt. Damit gibt die Hüllkurve aber auch an, in welcher Weise der Werkstoff auf die verschiedenen Spannungszustände reagiert. Zunächst ist jeder Spannungszustand, dessen größter Spannungskreis (zwischen den Hauptnormalspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$ ) die Hüllkurve berührt, ein kritischer Spannungszustand.

Solange ein solcher kritischer Spannungskreis außerhalb des Krümmungskreises K im Scheitel der Hüllkurve liegt, wird er mit der Hüllkurve zwei Berührungspunkte haben. Die Ordinaten dieser Berührungspunkte geben die Schubfestigkeit des Werkstoffes für den betrachteten Spannungszustand an; bei deren Überschreitung beginnt eine plastische Verformung des Werkstoffes.

Jene Spannungszustände, deren Kreise innerhalb des Krümmungskreises K liegen, berühren die Hüllkurve im Scheitelpunkt A. Da dieser Punkt A die Ordinate Null hat, entsteht durch solche Spannungszustände auch keine kritische Schubbeanspruchung, weshalb es auch zu keiner plastischen Verformung des Werkstoffes kommen kann. Auf solche dreiaxiale Spannungszustände reagiert der Werkstoff mit einem verformungslosen, also spröden Bruch.

Bei räumlichen Spannungszuständen tritt nämlich eine Änderung des Verformungsverhaltens des

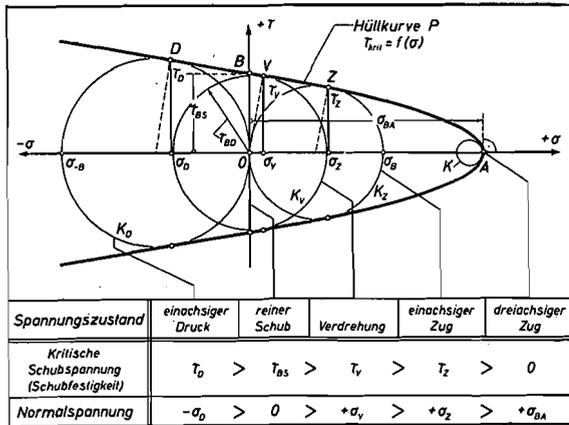
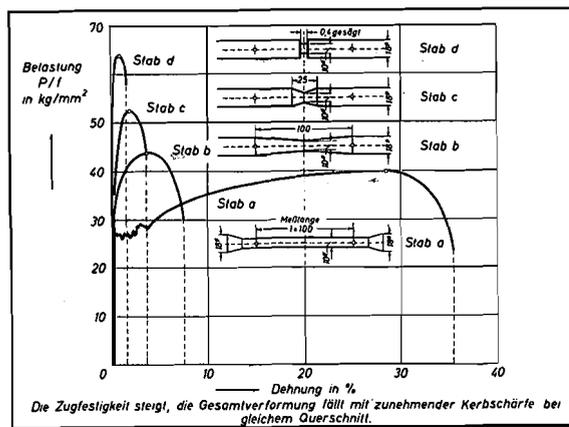


Bild 1: Anstrengungshypothese nach O. Mohr

Werkstoffes ein, was P. Ludwik (3) schon 1923 in seinem klassisch gewordenen Versuch mit unterschiedlich gekerbten Zugstäben aufgezeigt hat (Bild 2). Während der ungekerbte Stab a eine sehr große bleibende Verformung nach dem Bruch zeigt, bricht der scharf gekerbte Stab d schon nach sehr geringen bleibenden Verformungen.

Bild 2: Zugversuche mit gekerbten Flußstahl-Rundstäben nach P. Ludwik



Im Bild 3 ist schematisch gezeigt, wie sich die bleibende Bruchverformung mit dem Spannungszustand ändert. Auf der Ordinate in der oberen Figur ist das Verhältnis der bei verschiedenen Spannungszuständen vorliegenden Bruchverformung  $\epsilon^x$  zur Bruchverformung  $\epsilon$  bei linearer Zugbeanspruchung aufgetragen; als Abszisse ist die dritte Hauptnormalspannung  $\sigma_3$  gewählt. Man erkennt, daß mit zunehmendem  $\sigma_3$  der kritischen Spannungskreise die bleibende Bruchverformung  $\epsilon^x$  sehr rasch kleiner wird und für den Spannungskreis K, im Parabelscheitel A, den Wert Null erreicht, der Werkstoff daher verformungslos, also spröde bricht. Die untere Figur zeigt die dazugehörige Hüllkurve mit einigen Spannungskreisen.

In der linken Figur des Bildes 4 sind diese Kurven des Formänderungsvermögens bis zum Bruch für verschiedene Festigkeitszustände dargestellt,

wobei die Hüllparabeln durch das Verhältnis ihrer Achsenabschnitte

$$C_S = \frac{S_T}{\tau_s} \frac{\text{Trennfestigkeit}}{\text{reine Schubfestigkeit}}$$

gekennzeichnet sind.

In der rechten Figur (Bild 4) ist für ein bestimmtes Bruchverformungsverhältnis, nämlich für

$$\frac{\epsilon^x}{\epsilon} = 0,1$$

der Zusammenhang dargestellt, der zwischen dem Werkstoffzustand  $C_S$  und dem Spannungszustand  $\sigma_3 / \sigma_1$  besteht. Es wird später gezeigt, daß in einer Schweißnaht Werkstoffzustände etwa zwischen  $C_S = 2$  und  $C_S = 7$  auftreten können. Für diese Werkstoffzustände kann man nun jene Spannungszustände auf der Abszisse ablesen, bei denen das Bruchverformungsvermögen ein Zehntel jenes Wertes erreicht, das im einachsigen Zugversuch vorliegt.

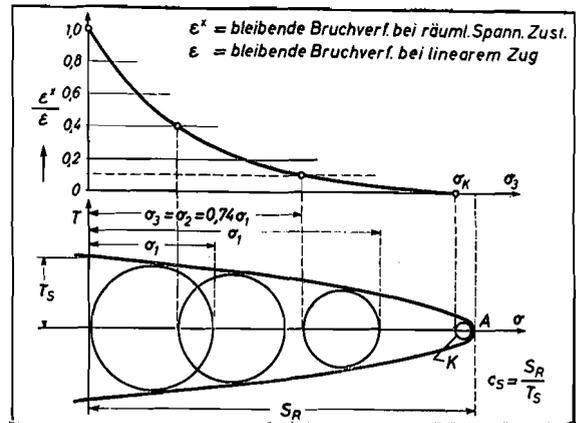


Bild 3: Bruchverformungsvermögen bei räumlichen Spannungszuständen (Schematisch)

Für  $C_S = 2$  ist dies der Spannungszustand  $\sigma_3 = \sigma_2 = 0,51 \sigma_1$  und für  $C_S = 7$  ist dies der Spannungszustand  $\sigma_3 = \sigma_2 = 0,77 \sigma_1$ .

Das sind aber Spannungszustände, die vom allseitig gleichen Zug ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ) noch sehr weit entfernt sind.

Wenn diesen Rechnungen auch vereinfachende Annahmen zu Grunde liegen, so sieht man daraus doch den sehr großen Einfluß des Spannungszustandes auf das Bruchformänderungsvermögen des Werkstoffes und weiterhin die Gefahr, die ein spröder Ausgangszustand eines Werkstoffes, das heißt ein kleiner  $C_S$ -Wert, für das Eintreten von Brüchen mit ganz geringen plastischen Verformungen darstellt.

An diesen Feststellungen ändert sich grundsätzlich nichts, wenn statt der Mohr'schen Hypothese die Gestaltänderungshypothese in der Rechnung verwendet wird, was K. Rühl (4) zeigte. Für den Bruch muß dann allerdings die Hauptnormalspannungstheorie zu Hilfe genommen werden, weil die Gestaltänderungshypothese keine Aussage über den Bruch zuläßt.

Da man die Hüllparabel eines Stahls aus einer Dehngrenze und der Reißfestigkeit eines normalen Zugversuches, wenigstens in erster Näherung ermitteln kann, geben diese Überlegungen wertvolle Hinweise für die Beurteilung und für den Vergleich des Festigkeitszustandes.

Nun gibt es aber auch Umstände, die bei einem zähen Ausgangszustand des Werkstoffes und ohne Vorliegen eines räumlichen Spannungszustandes zum Sprödbbruch führen, also z. B. schon bei einer linearen Zugbeanspruchung.

Das Festigkeitsverhalten vielkristalliner Werkstoffe wird durch die Herstellung und Weiterverarbeitung, aber auch durch verschiedene Umstände während der Betriebsbeanspruchung grundlegend beeinflusst. Die Herstellungseinflüsse versetzen den Werkstoff gewissermaßen in einen Ausgangs-Festigkeitszustand, der durch eine bestimmte Hüllkurve beschrieben ist. Die Betriebsumstände ändern ihrerseits diesen Ausgangszustand.

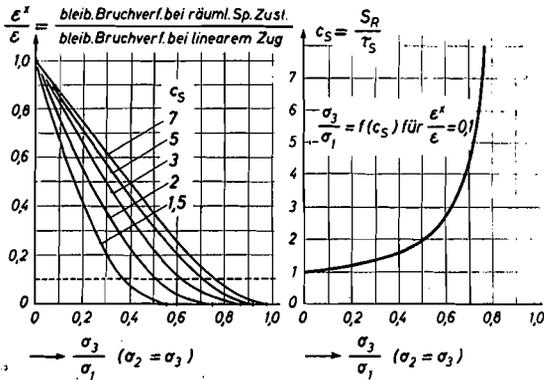


Bild 4: Bruchverformungsvermögen bei unterschiedlichen Festigkeitszuständen (Schematisch)

Wenn Schwingungsbeanspruchungen außer Betracht gelassen werden, so verbleiben zwei Einflußgrößen der Beanspruchung, die eine Änderung des Formänderungsvermögens verursachen, nämlich

1. die Temperatur während der Beanspruchung und
2. die spezifische Verformungsgeschwindigkeit.

Nach den Arbeiten W. Kuntze's (5) ändern diese Einflußgrößen das Verformungsverhalten eines Werkstoffes in sehr starkem Ausmaß. Man kann daraus die Temperaturkurve der kritischen spezifischen Verformungsgeschwindigkeit ableiten (6). In diesem Zusammenhang können nur die Ergebnisse dieser Überlegungen kurz wiederholt werden.

Die Temperaturkurve der kritischen spezifischen Verformungsgeschwindigkeit K legt im Temperaturgeschwindigkeitsschaubild C des Bildes 5 die Übergangsbedingungen zwischen dem zähen und dem spröden Verhalten des betrachteten Werkstoffes fest.

Der Beanspruchungszustand des Punktes Z ist z. B. gegeben durch die Betriebstemperatur (+t<sub>1</sub>) und die spezifische Verformungsgeschwindigkeit (v); die Lage des Punktes Z zeigt ein zähes Verhalten für den durch die Temperaturkurve K beschriebenen Werkstoff an. Für dieselbe Temperatur (+t<sub>1</sub>) wird dagegen bei der größeren Verformungsgeschwindigkeit (v<sub>1</sub>) ein spröder

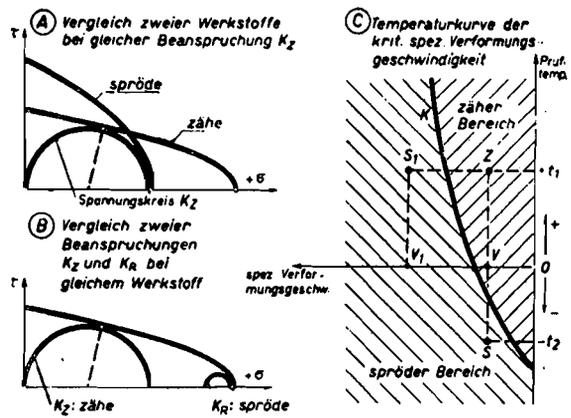


Bild 5: Beschreibung des Festigkeitszustandes eines Werkstoffes durch die Leon-Hüllparabel und die Temperaturkurve der krit.-spez. Verformungsgeschwindigkeit

Bruch eintreten, weil die Beanspruchungsbedingungen des Punktes S<sub>1</sub> nun im spröden Bereich des vorliegenden Werkstoffes sind.

Aber auch die kleinere Verformungsgeschwindigkeit v führt zu einem Sprödbbruch, wenn die Temperatur z. B. auf (-t<sub>2</sub>) erniedrigt wird.

Über die Ermittlung der Temperaturkurve der kritischen spezifischen Verformungsgeschwindigkeit wird in einem späteren Abschnitt berichtet.

Zusammenfassend kann demnach über das zähe und spröde Verhalten eines Werkstoffes folgendes ausgesagt werden:

Der Ausgangsfestigkeitszustand eines Werkstoffes ist gegeben

1. durch die Hüllkurve und
2. durch die Temperaturkurve der kritischen spezifischen Verformungsgeschwindigkeit.

Der Beanspruchungszustand an einer bestimmten Stelle eines Bauteiles ist gegeben

1. durch den Spannungszustand, wobei natürlich Eigenspannungen mit zu berücksichtigen sind, und
2. durch die Betriebstemperatur und die spezifische Verformungsgeschwindigkeit an der betrachteten Stelle.

Bild 6: Herstellungs- und Betriebseinflüsse bei geschweißten Druckrohrleitungen

Äußere Einflüsse durch				Folgen	
Herstellung			Betrieb	für den Werkstoff bzw. seine Beanspruchung	
Vorarbeiten	Schweißen	Montage			
A	B	C	D		
	H K			Gefügeänderung	1
H K	H K	H K	H K	Kaltverformung Alterung	2
×	×	×		Eigenspannungen	3
			×	niedrige Betriebstemperatur	4
			×	hohe Beanspruchungsgeschwindigkeit	5

Der Ausgangsfestigkeitszustand des Werkstoffes wird durch die Einflüsse bei seiner Herstellung und Weiterverarbeitung geschaffen.

Die Herstellungsbedingungen des Bauteiles und die Betriebsbedingungen können diesen Ausgangsfestigkeitszustand des Werkstoffes ändern, was natürlich zu berücksichtigen ist.

Das Verformungsvermögen eines Werkstoffes, d. h. sein zähes oder sprödes Verhalten, hängt demnach vom Zusammenwirken zwischen dem tatsächlich vorliegenden Festigkeitszustand des Werkstoffes und dem Beanspruchungszustand ab.

Mit Hilfe dieser Betrachtungsweise kann nun der Zusammenhang zwischen der Schweißung und der Spröbruchgefahr am Beispiel der Druckrohrleitung besprochen werden.

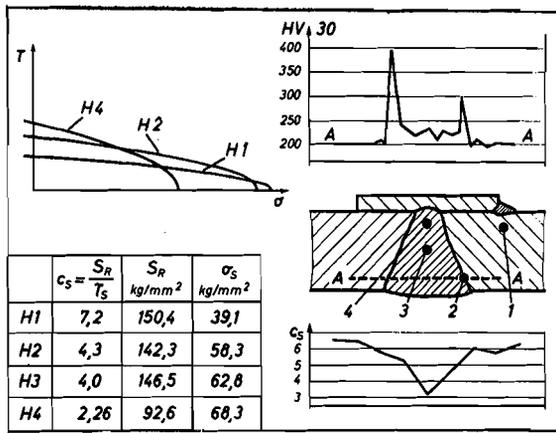


Bild 7: Festigkeitszustände in einer Schweißnaht (Bandgennah)

Die äußeren Einflüsse kommen durch die Herstellung der Rohrleitung und durch den Betriebszustand. Sie haben Folgen für den Werkstoffzustand des Bleches (Bild 6):

1. durch auftretende Gefügeänderungen in der Schweißnaht und ihrer Umgebung,
2. durch Kaltverformungen und die dadurch ermöglichte Alterung des Stahls.

Sie haben aber auch Folgen für den Beanspruchungszustand:

3. durch das Auftreten von Eigenspannungen,
4. durch das Vorliegen niedriger Betriebstemperaturen und
5. durch die Möglichkeit des Auftretens hoher Beanspruchungsgeschwindigkeiten z. B. durch Druckstöße als Folge von Schaltvorgängen.

Im einzelnen ist hierzu, kurz zusammengefasst, folgendes zu sagen:

Zu 1. Gefügeänderungen gegenüber dem Ausgangsgefüge des Bleches entstehen durch das Schweißen in der Schweißnaht und ihrer Umgebung. Das Ausmaß und die Art der Veränderungen werden durch den Grundwerkstoff, die Werkstückabmessungen, das Schweißverfahren, die Schweißbedingungen und das Schweißgut bestimmt. Ebenso wie der Feingefügezustand der Schweißnaht örtlich unterschiedlich ist, trifft dies auch für den Festigkeitszustand zu. Die Erstarrung aus dem Schmelzfluß und die hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten z. B. beim Schweißen dicker

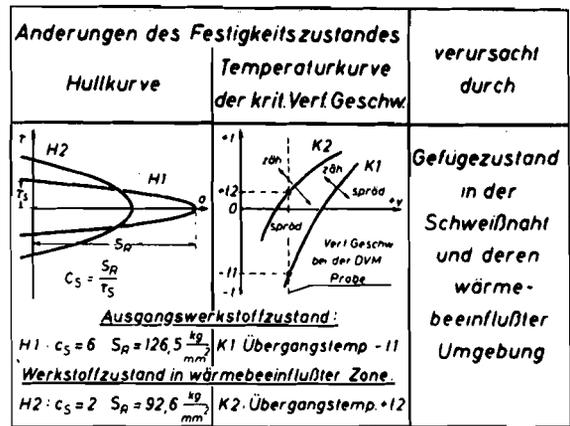


Bild 8: Einflüsse der Gefügeänderungen durch das Schweißen (Schematisch)

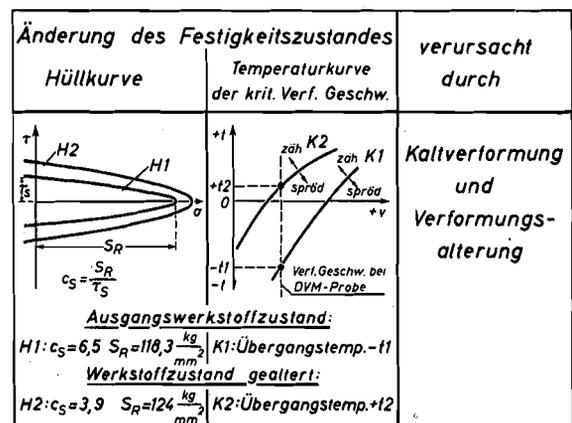
Bleche führen zu Gußgefügen und an anderen Stellen zu Härtingsgefügen, deren Festigkeitszustand meist wesentlich ungünstiger ist, als jener des Bleches.

Einen Einblick in den Festigkeitszustand einer Rundnaht gibt das Bild 7 als Ergebnis einer Prüfung kleiner Zugproben aus dem Nahtquerschnitt. In der Figur links oben sind die unterschiedlichen Hüllparabeln des Blechwerkstoffes H<sub>1r</sub> des Werkstoffes in der aufgehärteten Übergangzone H<sub>2</sub> und aus der Mitte des Schweißgutes H<sub>4</sub> einer ungeglühten Schweißnaht einander gegenübergestellt.

Die Verhältniszahl  $c_s$  der Achsenabschnitte der Parabel liegt für den Blechwerkstoff bei  $c_s = 7,2$  für den Bereich der Schweißnaht bei  $c_s = 2,3$ . Der Werkstoffzustand für  $c_s = 2,3$  ist bei räumlichen Beanspruchungszuständen hinsichtlich des Formänderungsvermögens wesentlich ungünstiger als der Zustand des Bleches.

Im Bild 8 ist schematisch dargestellt, wie sich die Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit durch die Gefügeänderungen verschiebt. Man kann dies aus dem Anstieg der Übergangstemperatur z. B. mit der DVM-Kerbschlagprobe von  $-t_1$  auf  $+t_2$  feststellen.

Bild 9: Einflüsse einer Kaltverformung und Alterung (Schematisch)



Zu 2. Kaltverformungen können nach Bild 6 durch alle äußeren Einflüsse entstehen.

Für die Herstellung der Rohrschüsse werden die Bleche häufig im kalten Zustand eingerollt. Das Ausmaß der dabei auftretenden bleibenden Verformungen ist bekanntlich vom Rohrdurchmesser und der Blechdicke abhängig und liegt im Bereich von 1 bis 5%. Zusätzliche Verformungen treten auf, falls besondere Fertigungsverfahren, wie z. B. Vorpresen der Rohre, zur Anwendung gelangen. Erfolgt keine nachträgliche Wärmebehandlung, so liegt der Werkstoff im Druckrohr grundsätzlich bereits in einem anderen Zustand vor als das Ausgangsblech.

Während des Abkühlungsvorganges beim Schweißen treten ebenfalls örtlich bleibende Verformungen auf, was man im Ätzbild durch das Sichtbarwerden von Fließlinien in der Naht und deren Umgebung häufig nachweisen kann.

Auch bei der Montage der Rohrleitungen besteht die Möglichkeit von Kaltverformungen des Werkstoffes, so z. B. durch Überbeanspruchung beim Transport oder bei der Verlegung der Rohre, durch Verformungen bei der Einbettung usw.

Durch Umstände während des Betriebes, etwa durch Gesteinsbewegungen, durch den Gebirgsdruck bei Panzerrohren usw. können ebenfalls Kaltverformungen des Rohrwerkstoffes entstehen.

In allen diesen Fällen ist zunächst schon durch die plastische Verformung des Werkstoffes allein eine Änderung seines Festigkeitszustandes zu erwarten, die natürlich vom Ausmaß der Verformung abhängt.

Viel einschneidender ist jedoch die Wirkung einer Alterung des kaltverformten Werkstoffes (Bild 9). Sie kann als natürliche Alterung bei Betriebstemperatur lediglich durch den Zeiteinfluß eintreten; sie kann aber auch durch Einwirkung höherer Temperaturen wesentlich beschleunigt werden. So können z. B. die plastisch verformten Gebiete in der Schweißnaht im Zusammenwirken mit der bei der Abkühlung noch vorhandenen höheren Temperatur zu einer beschleunigten Verformungsalterung führen.

Durch diese Einflüsse kann die Hüllkurve geändert werden, jedenfalls wird aber die Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit von K 1 nach K 2 in das spröde Gebiet verschoben.

Da man die Alterungsneigung eines Stahls in seinem Ausgangszustand durch kein Prüfverfahren feststellen kann, ist man gezwungen, mit dem Stahl Alterungsversuche durchzuführen.

Das derzeit gebräuchlichste Verfahren besteht im Vergleich von Kerbschlagbiegeproben im ungealterten und im gealterten Zustand. Diese Versuche werden noch zu besprechen sein.

Zu 3. Das Auftreten von Eigenspannungen bewirkt eine Änderung des Beanspruchungszustandes. Leider ist man nicht in der Lage, in einem bestimmten praktischen Fall die Größe und die Art der Eigenspannungen zerstörungsfrei zu ermitteln oder anzugeben; höchstens kann man aus Vergleichsverfahren eine ganz grobe Schätzung vornehmen. Aus diesen Gründen ist eine Berücksichtigung der Eigenspannungen in der Festigkeitsberechnung nicht möglich.

Im kalt gebogenen Blech eines Rohrschusses sind z. B. lineare Eigenspannungen in der Rohrumfangsrichtung vorhanden.

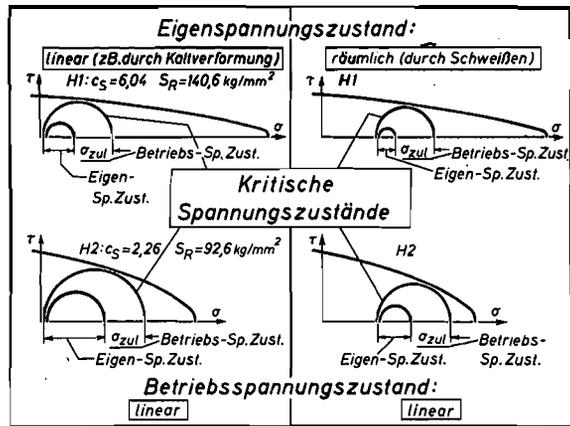


Bild 10: Überlagerungen von Eigenspannungen und linearen Betriebsspannungen

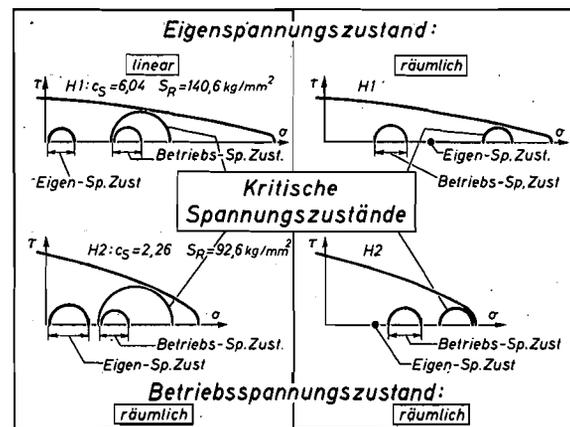
In der Schweißnaht werden Eigenspannungen zunächst als Gefügespannungen infolge von Volumsänderungen bei Gefügeumwandlungen entstehen. Beim Abkühlen der Schweißnaht bilden sich durch den die Volumskontraktion hemmenden Einfluß der kälteren Umgebung Schweißschumpfspannungen. Sowohl die Gefügespannungen als auch die Schweißschumpfspannungen können dreiaxige Spannungszustände sein.

Diesen Eigenspannungszuständen überlagern sich die Betriebsspannungszustände. Im Bild 10 ist schematisch diese Überlagerung für zwei unterschiedliche Werkstoff-Festigkeitszustände, H 1 oben und H 2 unten, gezeigt. Die linken Bilder gelten für einen linearen, die rechten für einen räumlichen Eigenspannungszustand.

Der Betriebsspannungszustand ist linear und gleichachsig angenommen. Die durch die Überlagerung entstehenden kritischen Spannungszustände sind herausgehoben. Man erkennt, daß der räumliche Eigenspannungszustand, rechts im Bild, sprödebruchgefährlicher ist und dies umso mehr, je spröder der Ausgangszustand des Stahls ist; die Hüllparabel H 2 ist ungünstiger als H 1.

Hinsichtlich der Sprödebruchgefahr noch ungünstigere Verhältnisse liefert die Überlagerung zweier räumlicher Spannungszustände, wie das Bild 11 rechts zeigt.

Bild 11: Überlagerungen von Eigenspannungen und räumlichen Betriebsspannungen



Das Zusammentreffen ungünstiger Verhältnisse, spröder Werkstoffzustand, sehr räumlicher Eigenspannungszustand und räumlicher Betriebsspannungszustand, kann demnach ohne sonstige Einflüsse, wie tiefe Temperatur oder große Beanspruchungsgeschwindigkeit, zum Spröbruch führen.

Im Bild 4 wurde gezeigt, daß das Bruchformänderungsvermögen eines Stahls durch den Parameter seiner Hüllparabel und durch den beanspruchenden Spannungszustand sehr stark beeinflusst wird. Für den Werkstoff mit der Parabel H 2 würde der im Bild 11 links unten dargestellte kritische Spannungszustand, bei dem  $\sigma_8 / \sigma_1 = 0,4$  ist, nur mehr eine geringe Bruchverformung zulassen, so daß es örtlich, nach kleiner plastischer Verformung, zu einem Anriß kommen kann.

Der aus der Überlagerung entstandene kritische Spannungszustand braucht daher durchaus nicht etwa die Hüllparabel im Scheitel zu berühren, um einen Bruch mit kleiner plastischer Verformung zu verursachen, der dann oft als reiner Spröbruch betrachtet werden wird.

Zu 4. Niedrige Betriebstemperaturen sind bei Druckrohrleitungen natürlich gegeben. Zeitweilig können sogar Belastungen bei Temperaturen tief unter der Wassertemperatur auftreten, wenn etwa der leere Rohrstrang bei tiefen Außentemperaturen gefüllt wird.

Ebenso können nach 5. hohe Beanspruchungsgeschwindigkeiten etwa durch Druckstöße bei hydraulischen Schaltvorgängen, bei Druckrohrleitungen entstehen.

Beide Betriebseinflüsse ändern den Festigkeitszustand und den Beanspruchungszustand, wie das Bild 12 schematisch zeigt, im ungünstigen Sinne.

Die niedrige Betriebstemperatur ändert die Hüllkurve (z. B. von H 1 auf H 2) und verschiebt den Beanspruchungszustand im Temperatur-Geschwindigkeits-Schaubild vom Punkt A nach Punkt B. Die hohe Beanspruchungsgeschwindigkeit verlagert die Bruchparabel (in der Figur links unten) von H 2 nach H 3, d. h. sie verkleinert das Bruchformänderungsvermögen des Stahls.

Im Temperatur-Geschwindigkeits-Schaubild verschiebt sie den Beanspruchungszustand vom Punkt A nach Punkt C in das spröde Gebiet.

Auch über die Fortpflanzung eines Risses, der etwa in der Schweißnaht entstanden ist, geben die vorgebrachten Betrachtungen über den Festigkeitszustand des Blechwerkstoffes Aufschluß. Im Bild 13 ist in der obersten Bildzeile der Festigkeitszustand in der Schweißnaht an der Anrißstelle durch die Parabel H 2 und die Kurve K 2 gekennzeichnet. Am Rißende wird wegen der scharfen Kerbe ein sehr räumlicher Spannungszustand vorliegen. Je nach der für die Rißbildung nutzbaren, aufgespeicherten elastischen Energie wird die Beanspruchungsgeschwindigkeit am Rißende ausfallen. Da das für eine Verformung am Rißende zur Verfügung stehende Werkstoffvolumen sehr klein ist, wird die spezifische Verformungsgeschwindigkeit verhältnismäßig groß sein; sie ist im Bild 13, in der mittleren und unteren Bildzeile, mit  $v_2$  angenommen.

Für einen Festigkeitszustand H 1 und K 1 (unterste Bildzeile) ist der Werkstoff in der Lage, sowohl den durch eine äußere Belastung vergrößerten Spannungszustand am Rißende als auch die vorliegende große spezifische Verformungs-

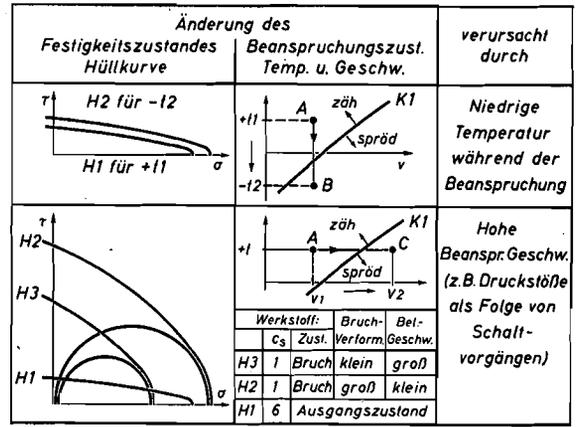


Bild 12: Temperatur- und Beanspruchungsgeschwindigkeit als Betriebseinflüsse

geschwindigkeit durch plastische Verformung aufzunehmen. Der Blechwerkstoff hat durch seine Festigkeitseigenschaften die Rißfortpflanzung unterbrochen, der Riß läuft nicht weiter.

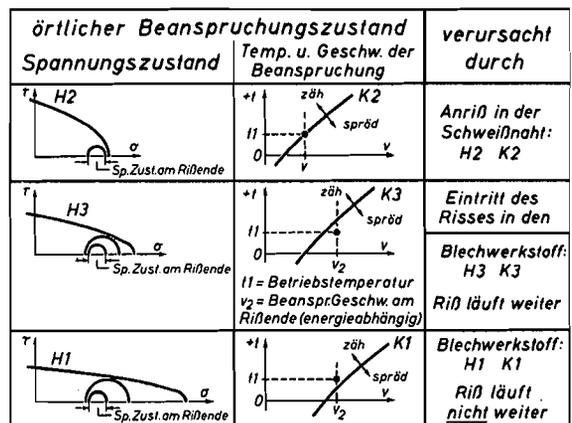
Besitzt der Blechwerkstoff hingegen eine steile Hüllparabel H 3, und eine Temperaturkurve der kritischen spezifischen Verformungsgeschwindigkeit K 3, wie in der mittleren Bildzeile des Bildes 13, dann reagiert der Werkstoff gegen den Beanspruchungszustand am Rißende mit einem verformungsarmen oder mit einem spröden Bruch. Der Riß wird dann im Blechwerkstoff weiterlaufen.

Damit wurde schlagwortartig gezeigt, daß alle äußeren Einflüsse durch Herstellung und Betrieb in ihren Auswirkungen auf den Festigkeitszustand des Stahls und auf den Beanspruchungszustand verfolgt und beschrieben werden können, wenn der Festigkeitszustand des Stahls durch die Hüllkurve zur Mohr'schen Theorie und durch die Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit beschrieben wird.

Als Ergebnis dieser Betrachtungen zeigt es sich, daß die Auswirkungen und Folgen der äußeren Einflüsse bei der üblichen statischen Berechnung der Rohrleitung nicht berücksichtigt werden können.

Um die Sicherheit des Bauwerkes zu gewährleisten, kann man sich also nicht mehr auf den durch die zulässige Beanspruchung definierten

Bild 13: Werkstoff-Festigkeitszustand und Rißfortpflanzung



Sicherheitsgrad verlassen; man muß einen anderen, im Stahlbau früher nicht gebräuchlichen Weg einschlagen. Dies haben ja auch die Schadenfälle in einer leider sehr eindringlichen Weise gezeigt.

In Österreich gaben die Ende 1945 erfolgten Rohrbrüche der Druckschichtpanzerung des Gerlos-Kraftwerkes zu umfangreichen Untersuchungen über alle den Druckrohrleitungsbau betreffenden Fragen Anlaß. Die Werkstoffuntersuchungen wurden an der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der Technischen Hochschule Wien durchgeführt (7). Dabei sind der damalige Vorstand, Prof. Dr. A. Leon, und sein Mitarbeiter Dr. Uhlig zu der wichtigen und grundlegenden Erkenntnis der Notwendigkeit einer Zweiteilung der Sicherheitsprobleme gekommen:

1. Die Dimensionierung der Rohrleitung erfolgt auf Grund einer statischen Berechnung, wobei alle rechnerisch erfassbaren Umstände selbstverständlich Berücksichtigung finden. Als Sicherheitsgrad dient der Quotient aus der Streckgrenze durch die rechnermäßige Vergleichsspannung.
2. Alle Herstellungs- und Betriebseinflüsse des jeweiligen Bauwerkes, die durch die statischen Berechnungen nicht erfassbar sind, werden durch besondere Anforderungen an den Werkstoff, seine Herstellung und Weiterverarbeitung berücksichtigt. Die Erfüllung dieser Anforderungen wird durch Versuche mit dem Werkstoff, durch Überprüfung der Werks- und Baustellenfertigung und durch Kontrollen am fertig montierten Bauwerk laufend nachgeprüft.

Man hat also für die Beantwortung des zweiten Teiles der Sicherheitsfrage den Versuch herangezogen. Die ersten Unterlagen für die nach diesen Grundsätzen von der TVFA festgelegten Abnahmebedingungen (7) lieferten die Ergebnisse der Werkstoff-Untersuchungen aus der Druckschichtpanzerung des Gerlos-Kraftwerkes (8), ergänzt durch Untersuchungsmethoden und Erfahrungen aus ähnlichen Schadenfällen an anderen Stellen (9). Diese Abnahmebedingungen wurden seither bei allen in Österreich gebauten und geplanten Druckrohrleitungen und auch bei den geschweißten Konstruktionen des Stahlwasserbaues, natürlich dem jeweiligen Bauwerk angepaßt und durch die Erfahrungen beeinflusst, konsequent verlangt und auch erfüllt.

Der erste Punkt des Sicherheitsproblems erfordert die Festlegung der Streckgrenze des Werkstoffes, da der Sicherheitsgrad der statischen Berechnung auf diese bezogen wird. Die Anforderungen an die Streckgrenze werden natürlich von der Konstruktionsseite her aus wirtschaftlichen Gründen immer höher geschraubt. Die Grenze der Erfüllung dieses Wunsches nach einer hohen Streckgrenze ist aber dadurch sehr bald erreicht, daß der zweite Punkt des Sicherheitsproblems für geschweißte Stahlbauten Werkstoffeigenschaften verlangt, die mit Stählen höherer Streckgrenze immer schwieriger und kostspieliger erreichbar sind.

Die Bemühungen jeder erfolgreichen Ingenieurarbeit dienen der Erfüllung zweier Grundforderungen, nämlich erstens der Sicherheit der Konstruktion und zweitens der Erfüllung der wirtschaftlichen Forderungen hinsichtlich der Herstellung

und Verwendung der Konstruktion. Die Werkstoffauswahl erfordert daher schon bei der Konstruktion eingehende Überlegungen, um für einen vorliegenden Fall eine optimale Lösung zu finden.

Zur Erfüllung des zweiten Punktes des Sicherheitsproblems sind für Druckrohrleitungen folgende Festigkeitsanforderungen an den Stahl zu stellen:

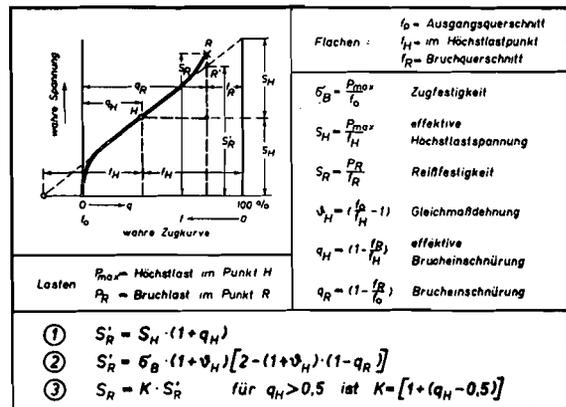
#### A. Festlegung der Leon-Hüllparabel

Der Ausgangsfestigkeitszustand des Bleches muß bei der geforderten Mindeststreckgrenze ausreichend zäh sein. Die Hüllparabel muß also möglichst flach verlaufen, d. h. einen großen Verhältniswert der Achsabschnitte

$$C_S = \frac{S_T}{\tau_S}$$

aufweisen. Damit ist gleichzeitig ein großes Verformungsvermögen des Stahls nachgewiesen, das ja, wie das Bild 4 zeigt, vom beanspruchenden Spannungszustand und vom Werkstoffzustand abhängt.

Bild 14: Bestimmung der Reißfestigkeit nach P. Ludwik



Durch einen solchen Werkstoffzustand wird bei Raumtemperatur und statischer Beanspruchung eine weitgehende Sicherheit gegen Sprödbrüche und verformungsarme Brüche bei räumlichen Spannungszuständen erreicht.

Da es zur Zeit nicht möglich ist, die Trennfestigkeit  $S_T$  versuchstechnisch zu ermitteln, muß man sich mit einer Annäherung begnügen.

Bei Stählen gibt die Reißfestigkeit  $S_R$  nach Ludwik (Bild 14) (10) einen brauchbaren Ersatz für die Trennfestigkeit, und zwar in dem Sinne, daß bei etwa gleichartigen Stählen einer höheren Reißfestigkeit auch eine höhere Trennfestigkeit zukommt, so daß eine Vergleichsbetrachtung zulässig erscheint. Da die Trennfestigkeit sicher höher liegt als die Reißfestigkeit, wirken die Mängel dieser Annäherung in der Richtung größerer Sicherheit.

Man kann demnach die Leon-Hüllparabel eines Stahls im normalen Zugversuch aus der Streckgrenze und der Reißfestigkeit ermitteln. Empfindlicher wird das Verfahren, wenn statt der Streckgrenze eine Dehngrenze mit kleinerer blei-



Die Messung einer Brucherscheinung ist einfach, man erfährt damit auch eine Kenngröße, die mit dem Zugversuch zu verbinden ist, nämlich die Verformungsfähigkeit des Werkstoffes beim Spannungszustand der Kerbe.

Grundsätzlich ergeben jedoch Kerbbiegeproben mit unterschiedlich scharfen Kerben bei gleicher Schlaggeschwindigkeit einen ähnlichen Einblick in die Verhältnisse. Der schärfer gekerbten Probe wird örtlich im Kerbgrund eine größere spezifische Verformungsgeschwindigkeit aufgedrückt, als der milder gekerbten Probe. Man kann dann z. B. im Bild 17 die Kurve A als Temperaturkurve der Kerbzähigkeit mit der DVM-Probe und die Kurve B als Temperaturkurve der Kerbzähigkeit mit der Charpy-Spitzkerbprobe auffassen. Als Übergangstemperatur wird meist die Temperatur für eine Kerbzähigkeit von  $K' = 2 \text{ mkg/cm}^2$  gewählt, bei welcher der Übergang vom verformungslosen Bruch zum Mischbruch liegt. Der Vergleich verschiedener Werkstoffe auf Grund dieser Übergangstemperaturen bezieht sich dann praktisch bei gleicher Kerbform auf den gleichen Bruchspannungszustand.

R. Becker (13) hat eine Gleichung angegeben, welche die Abhängigkeit der kritischen Gleitgeschwindigkeit von der Temperatur darstellen soll. Wird als Abszisse  $\frac{1}{T}$  und als Ordinate  $\ln v$  gewählt, so stellt die Gleichung eine Gerade dar, zu deren Festlegung nur zwei Punkte erforderlich sind.

O. Lissner (12) hat 12 verschiedene Stähle nach dem früher beschriebenen Verfahren durch statische und schlagförmige Kerbzugversuche untersucht und mit der Gleichung nach Becker ausgewertet. Im Bild 18 ist eine Auswahl aus diesen Versuchen dargestellt.

Betrachtet man zunächst die untere Figur, für den ungealterten Zustand, so kann man daraus folgende praktisch wichtige Tatsache ablesen:

1. Die Reihung der Werkstoffe nach ihrer Übergangstemperatur ist von der Verformungsgeschwindigkeit abhängig. Für den Kerbzugversuch mit der Verformungsgeschwindigkeit  $v_1$  hat der Stahl 4 die höchste Übergangstemperatur, ihm folgen die Stähle 1, 5, 2, 3 und 6.
2. Für den Kerbschlagzugversuch mit der größeren Verformungsgeschwindigkeit  $v_2$  zeigt der Stahl 1 die höchste Übergangstemperatur, dann folgen die Stähle 2, 4, 5, 3 und 6.
3. Durch die Desoxydation mit Al und Si (Beruhigung) wird nicht nur die Übergangstemperatur zu niedrigeren Werten verschoben, sondern auch der Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit auf die Übergangstemperatur unterschiedlich beeinflusst.
4. Nicht aus dem Beispiel, aber aus einem Hinweis Lissner's auf Versuche von Mc. Gregor und N. Großmann (14) geht hervor, daß eine Änderung des Spannungszustandes durch eine andere Probenform lediglich zu einer Parallelverschiebung der Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit führt. Die Untersuchung unterschiedlicher Spannungszustände im Temperatur-Geschwindigkeits-Versuch würde demnach keine neuen Aufschlüsse über die Werkstoffeigenschaften bringen.

Dies steht in Übereinstimmung mit meiner Herleitung der Temperaturkurve (2, 6) und bestätigt meine Feststellung, daß der Festkeitszustand eines Stahls durch die Hüllkurve und die Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit für Vergleichszwecke eindeutig festgelegt ist, solange lediglich Einflüsse wirken, die den gefügemäßigen Aufbau des betrachteten Ausgangszustandes nicht ändern.

Die Einflüsse von gefügemäßigen Änderungen des Werkstoffzustandes durch eine Wärmebehandlung oder durch Verformungsalterung erfordern eine getrennte Untersuchung des Werkstoffverhaltens. In diesem Zusammenhang inter-

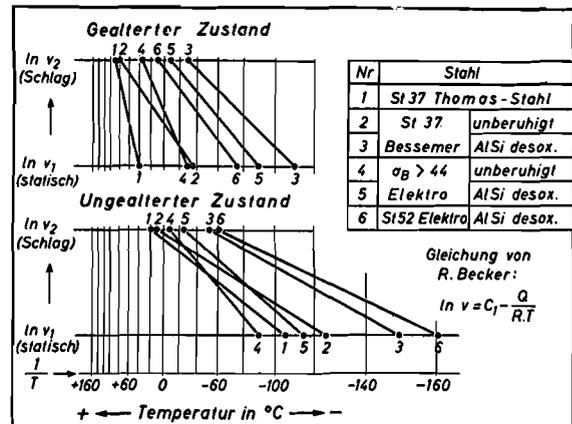


Bild 18: Temperaturkurven der kritischen Verformungsgeschwindigkeit nach O. Lissner

essiert besonders der Einfluß einer Verformungsalterung auf die Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit.

In der oberen Figur des Bildes 18 sind diese Temperaturkurven für die gleichen Stähle im gealterten Zustand eingezeichnet. Aus dem Vergleich der Ergebnisse im ungealterten und im gealterten Zustand kann festgehalten werden:

4. Der Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit auf die Übergangstemperatur ist im gealterten Zustand geringer als im ungealterten Zustand. Die Temperaturgeraden verlaufen für den gealterten Zustand steiler.
5. Bei allen Stählen und bei beiden Verformungsgeschwindigkeiten wurden die Übergangstemperaturen durch die Alterung nach höheren Werten verschoben.
6. Die Reihung der Stähle nach der Übergangstemperatur wird bei beiden Verformungsgeschwindigkeiten, und zwar unterschiedlich, durch die Alterung geändert. Dies bedeutet, daß aus dem Vergleich der Temperaturkurven der kritischen Verformungsgeschwindigkeit zweier Stähle im Anlieferungszustand kein Schluß auf ihre Alterungsbeständigkeit gezogen werden kann. Der Vergleich der Stähle 5 und 6, die beide in Elektroofen erschmolzen und mit Al und Si desoxydiert sind, bestätigt dies: Der Stahl 6 zeigt im ungealterten Zustand bei beiden Verformungsgeschwindigkeiten niedrigere Übergangstemperaturen als der Stahl 5. Im gealterten Zustand liegt der Stahl 5 günstiger, d. h. bei niedrigeren Temperaturen.

An den Versuchen von Lissner konnte gezeigt werden, wie aufschlußreich die Kenntnis der Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit für die Beurteilung eines Werkstoffes hinsichtlich der Temperatur- und Geschwindigkeitseinflüsse ist.

Es wurde versucht, die äußeren Einflüsse auf den Festigkeitszustand und die Beanspruchungsbedingungen geschweißter Tragwerke weitgehend zu zerlegen. Die Auswirkungen besonderer Maßnahmen bei der Schweißung und bei der Nachbehandlung der Schweißnähte, durch die diese Einflüsse gemildert werden können, müssen hier unbesprochen bleiben.

Daß eine solche Analyse notwendig war, geht schon daraus hervor, daß man immer wieder mit dem Sammelbegriff „Sprödbruchempfindlichkeit“ operiert, obwohl man die zwei Teilbegriffe: Sprödbruchempfindlichkeit gegen räumliche Spannungszustände und Sprödbruchempfindlichkeit gegen Temperatur- und Geschwindigkeitseinflüsse streng unterscheiden mußte.

Leider sind wir heute aus verschiedenen Gründen noch nicht so weit, die Ergebnisse dieser Analyse in der praktischen Technik quantitativ voll anwenden zu können.

Das liegt einmal daran, daß die äußeren Einflüsse für einen bestimmten praktischen Fall größtenteils nur qualitativ, nicht aber quantitativ gegeben sind.

Zum anderen liegt es aber auch daran, daß eingebürgerte Prüfverfahren für den Stahl und große praktische Erfahrungen mit ihnen vorliegen. Jeder Zusatz und schon gar jede Änderung stößt daher auf Widerstände und Schwierigkeiten unterschiedlichster Art.

Wohl aber können die Ergebnisse einer solchen Analyse qualitativ verwertet werden, und zwar bei der Festlegung der Abnahmebedingungen und bei der Beurteilung der Abnahmeergebnisse.

Seit 1954 sind einige Vorschläge bekannt geworden, die Unterteilung des Sicherheitsproblems bei Schweißkonstruktionen durch eine Punktebewertung der Einflußgrößen vorzunehmen, und zwar unterschiedlich für verschiedene Bauwerke oder Teile von Bauwerken. Den einzelnen Stahlsorten (unterteilt nach dem Herstellungsverfahren, also z. B. Thomasstahl unberuhigt, SM-Feinkornstahl usw.) wird ein bestimmter Bereich der Punktezahlen zugeordnet. Für eine Konstruktion soll jene Stahlsorte gewählt werden, in deren Bereich die bei der Bewertung ermittelte Punktezahl fällt.

Ein solcher Vorschlag wurde von Prof. Klöppel auf der Schweißtechnischen Tagung in Essen 1954 (15) gebracht. Ein anderer Vorschlag stammt von Prof. Pepler, er wurde auf der 3. Hauptsitzung des Arbeitskreises „Druckrohrleitungen“ im September 1954 vorgetragen. Einen weiteren Vorschlag hat E. Folkhard im Juni 1955 im Schweizer Archiv (16) veröffentlicht.

Allen Vorschlägen gemeinsam ist die Erkenntnis, daß die „Sprödbruchfrage“ bei geschweißten Bauwerken den überwiegenden Anteil an der Sicherheit oder an der Gefährdung des Bauwerkes bringt und daß ihre Beherrschung nur möglich ist durch besondere Anforderungen an den Werkstoff, seine Herstellung und seine Weiterverarbeitung, die den Herstellungs- und Betriebseinflüssen des jeweiligen Bauwerkes entsprechen müssen.

Von der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der Technischen Hochschule Wien, d. h. von Prof. Dr. A. Leon und Dr. Uhlir, wurden erstmalig 1947 für den Bau des Salzkraftwerkes Abnahmebedingungen vorgeschlagen, die dann für die Druckrohrleitungen des Draukraftwerkes Reifneck und des Tauernkraftwerkes Kaprun wegen der höheren Anforderungen erweitert wurden und die folgende grundsätzliche Punkte enthielten:

#### I. Anforderungen an die Stahlherstellung

Es ist bekannt, daß die grundlegenden Eigenschaften eines Stahls bereits durch die Umstände bei seiner Herstellung festgelegt werden. So ist die Alterungsanfälligkeit und die Sprödbruchempfindlichkeit gegen Temperatur- und Geschwindigkeitseinflüsse bei beruhigt vergossenen, mit Aluminium nachdesoxydierten Stählen wesentlich geringer, so daß man für geschweißte Druckrohrleitungen bei größeren Blechdicken nur solche Stähle verwenden soll.

#### II. Härteaufnahme des Stahles beim Schweißen

Die Beurteilung eines Stahles hinsichtlich der Aufhärtung beim Schweißen kann mittelbar nach seiner chemischen Zusammensetzung erfolgen. Neben dem wichtigsten Härteträger, dem Kohlenstoff, müssen dabei auch die Aufhärtungsbeiträge der übrigen Legierungskomponenten berücksichtigt werden. Mit Hilfe empirisch ermittelter Näherungsansätze kann das Kohlenstoffäquivalent eines Stahles, aus der Summe der Aufhärtungsbeiträge der Legierungskomponenten, bezogen auf den Kohlenstoffgehalt, errechnet werden. In der Festlegung höchstzulässiger Prozentsätze der wichtigsten Härtebildner versucht man die Härtebarkeit von Druckrohrleitungsstählen zu begrenzen.

Für das Verhalten des Stahles beim Schweißen ist ausschließlich die Analyse an der Schweißstelle maßgebend. Der Stahlverbraucher wird daher die Stückanalyse gewährleisten wollen. Dem Stahlerzeuger hingegen ist die Schmelzanalyse als Gewährleistung lieber, weil damit das Streugebiet zwischen Schmelz- und Stückanalyse aus seiner Gewährleistung ausgeschlossen ist.

Über diese Frage besteht bisher meines Wissens noch keine einheitliche Meinung. Die TVFA hat natürlich, als beauftragte Abnahmestelle, den Standpunkt der Stahlverbraucher zu vertreten, der auch sachlich der richtigere zu sein scheint, und zwar nicht nur schweißtechnisch, sondern auch prüftechnisch, da bei der Abnahme ja nur die Stückanalyse geprüft werden kann.

Als unmittelbare Methode zur Prüfung des Aufhärtungsverhaltens eines Stahles gilt die Härteprüfung bei einer Einlagenschweißung. Dabei soll die größte im Bauwerk vorhandene Blechdicke und die dünnste zum Schweißen verwendete Elektrode verwendet werden. Unter diesen Umständen werden am Prüfstück die tatsächlichen Schweißbedingungen weitgehend eingehalten. Besonders wichtig erscheint die wirklichkeitsgetreue, stoffweise Erhitzung und die dadurch bedingte verringerte Karbidlöslichkeit, wodurch der Ausgangszustand des Stahles für die Abkühlung den Verhältnissen in der Schweißnaht ebenfalls gleicht. Aus der bei der Einlagenschweißung gefundenen Größthärte

können Anhaltspunkte über notwendige Vorsichtsmaßnahmen für das Schweißen und eine eventuell notwendige thermische Nachbehandlung der Schweißnaht abgeleitet werden.

Im allgemeinen wird angenommen, daß bei der Einlagenschweißung hinsichtlich der Aufhärtung die ungünstigeren Bedingungen vorliegen. Daß dies nicht immer zutreffen muß, beweist das Bild 19.

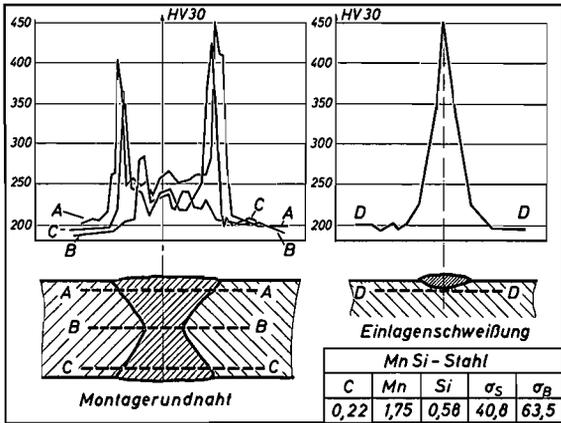


Bild 19: Härteverteilung in nichtgeglühten Schweißnähten

Mit der Anwendung der Einlagenschweißung zur Prüfung des Aufhärtungsverhaltens ist man von der reinen Werkstoffprüfung bereits auf einen Modellversuch übergegangen, der neben den Werkstoffeigenschaften auch die Schweißbedingungen im Ergebnis mit erfafßt.

Eine reine Werkstoffprüfung hinsichtlich des Härtungsverhaltens stellt die Stirnabschreckprobe nach Jominy (17) dar. Ihr Vorzug besteht darin, daß sie bei unterschiedlichen, jedoch genau definierten Abkühlgeschwindigkeiten die Aufhärtung angibt und damit das Härtungsverhalten des Stahles im ganzen Abkühlungsbereich festlegt. Die Einführung der Jominy-Probe für die Abnahme von schweißbaren Großbaustählen wäre sehr zu begrüßen.

Übrigens hat A. Legat schon 1950 (18) eine besondere Probenform für die Jominy-Prüfung an solchen Baustählen vorgeschlagen.

### III. Der statische Zugversuch

Zur Festlegung der Werkstofffestigkeit werden normgemäße statische Zugversuche durchgeführt, die den Nachweis zu erbringen haben, daß der Stahl die Mindest-Streckgrenze, die vorgeschriebene Zugfestigkeit und die geforderte Bruchdehnung aufweist.

Diese Normkennziffern geben keinen vollständigen Einblick in den Festigkeitszustand des Werkstoffes. Sie hatten übrigens auch in allen Fällen, bei denen Schäden durch Sprödbrüche entstanden, ihre vorgeschriebene Größe. Wie schon gezeigt wurde, werden durch die Reißfestigkeit nach Ludwik (10) und durch die Gleichmaßdehnung Werkstoffeigenschaften gekennzeichnet, die durch die Norm-Kennziffern nicht erfafßbar sind. Diese Werte können ohne zusätzlichen Aufwand, lediglich durch Ablesen der Reißlast und durch gleich-

zeitige Angabe der beiden Bruchdehnungen  $\delta_5$  und  $\delta_{10}$  ermittelt werden.

Es wäre wünschenswert, wenn diese so grundlegenden und aufschlußreichen Erkenntnisse Ludwik's nicht nur in der Werkstoffforschung, sondern auch in der Praxis, z. B. in der Abnahmeprüfung, Beachtung und Aufnahme finden würden.

Daß man damit einen quantitativen Einblick in das Spröbruchverhalten des Stahls gegenüber räumlichen Spannungszuständen erhalten kann, wurde ebenfalls bereits ausgeführt.

### IV. Die Kerbschlagprobe (Bild 20)

Der Kerbschlagbiegeversuch ist eine altbewährte Untersuchungsart, um bei Stählen den durch die Vorbehandlungen erreichten Gefügestand zu prüfen. Die dabei ermittelte Kerbzähigkeit ist bei gegebener Probenform und Versuchsdurchführung für ein und denselben Stahlzustand temperaturabhängig. Die Lage und der Verlauf dieser Temperaturkurve wird für einen bestimmten Stahl in erster Linie von seinem Gefügestand beeinflufßt. Schon Mailänder (12) hat festgestellt, daß

1. die Größe der Kerbschlagzähigkeit bei Raumtemperatur ein Maß für das Verformungsvermögen bei dynamischer Beanspruchung und gleichzeitiger Kerbwirkung ist und
2. die Höhe der Übergangstemperatur als Maß für die Temperaturempfindlichkeit des Verformungsvermögens gilt.

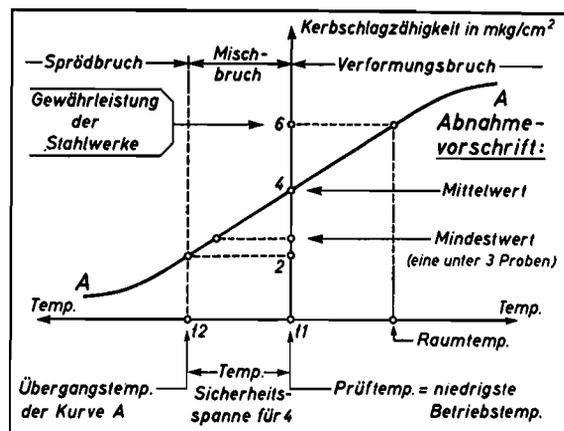
Große Kerbschlagzähigkeit bei Raumtemperatur und eine niedrige Übergangstemperatur lassen demnach auf einen brauchbaren Gefügestand schließen.

Da bei der Abnahmeprüfung die Aufnahme einer Temperaturkurve der Kerbzähigkeit im allgemeinen nicht durchführbar ist, kann dabei auch die Übergangstemperatur nicht bestimmt werden.

Es fehlt also mit der Übergangstemperatur ein Bestimmungstück für die Beurteilung des Gefügestandes. Man kann nun diesen grundsätzlichen Mangel der Abnahme-Kurzprüfung wenigstens zum Teil dadurch ausgleichen, daß man als Prüftemperatur nicht die Raumtemperatur, sondern eine niedrigere Temperatur wählt.

Es ist hinreichend bekannt, daß von vielen Klassifikationsgesellschaften und Firmen der Nachweis einer Übergangstemperatur gefordert wird,

Bild 20: Abnahmebedingungen für die Kerbzähigkeit (Schematisch)



die unterhalb jener Mindesttemperatur liegt, die auf Grund der Erfahrung als notwendig erkannt wurde.

In vielen Fällen wird diese Mindesttemperatur für eine bestimmte Kerbschlagprobe gleich der niedrigsten Betriebstemperatur gesetzt werden können. Man wird dann als Prüftemperatur diese niedrigste Betriebstemperatur wählen. Zu fordern ist in diesem Fall, daß die dabei festgestellte Kerbschlagzähigkeit so hoch liegt, daß man als Übergangstemperatur eine niedrigere als die Prüftemperatur erwarten kann, daß also eine Temperatur-Sicherheitspanne vorliegt.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde von der TVFA in den Abnahmebedingungen die Prüftemperatur gleich der niedrigsten Betriebstemperatur gesetzt.

Es ist eine bedauerliche Verkennung dieser Überlegungen, wenn daraus gefolgert wird, daß damit der Kerbschlagversuch wirklichkeitsnahe gemacht werden sollte (20).

Bei Druckrohrleitungen ist, wie aus den vorangegangenen Ausführungen zu erkennen war, mit der Möglichkeit von Verformungsalterungen zu rechnen.

Da die Temperaturkurve der Kerbzähigkeit durch eine Verformungsalterung zu höheren Temperaturwerten verschoben wird, muß ein für Druckrohrleitungen geeigneter Stahl auch im gealterten Zustand eine ausreichende Kerbschlagzähigkeit aufweisen.

Auf Grund der bei der Auswertung von Werkstoffuntersuchungen an Schadenfällen gesammelten Erfahrungen wird von der TVFA seit 1945 für Druckrohrleitungsstähle hinsichtlich der Kerbschlagzähigkeit im gealterten Zustand verlangt, daß diese bei Null Grad auf keinen Fall im Sprödbruchbereich der Temperaturkurve liegen darf. Es wurde daher ein Kerbschlagzähigkeitswert im gealterten Zustand von  $5 \text{ mkg/cm}^2$  für Werkstückdicken unter  $40 \text{ mm}$  und ein solcher von  $4 \text{ mkg/cm}^2$  für darüber liegende Blechdicken als Abnahme-Mindestfordernis festgelegt.

Diese Werte können nur von sogenannten alterungsbeständigen Stählen erreicht werden, für die von den Stahlwerken allgemein eine Alterungskerbschlagzähigkeit von  $6 \text{ mkg/cm}^2$  bei Raumtemperatur, das ist bei  $+20^\circ \text{C}$  gewährleistet wird. Da bei Erniedrigung der Prüftemperatur um je  $10^\circ$  die Kerbschlagzähigkeit erfahrungsgemäß höchstens um je  $1 \text{ mkg/cm}^2$  kleiner wird, entspricht der von der TVFA geforderte kleinere Wert von  $4 \text{ mkg/cm}^2$  auch den Gewährleistungen der Stahlwerke.

Die Bestrebungen der TVFA, den Wert der Übergangstemperatur zum Sprödbruch von  $2 \text{ mkg/cm}^2$  auf keinen Fall zu unterschreiten, führten dazu, daß zusätzlich Mindestwerte von 3 bzw.  $2,5 \text{ mkg/cm}^2$  festgelegt wurden. Dieser Mindestwert darf höchstens von einer der drei Proben erreicht werden.

Die Notwendigkeit, neben Mittelwerten auch die unteren Einzelwerte bei der Beurteilung zu beachten, wurde kürzlich (1954) von Prof. O. Graf im Deutschen Ausschuß für Stahlbau (21) ebenfalls unterstrichen. Es ist bemerkenswert, daß bei dieser Sitzung der Ausschuß beschlossen hat, als Abnahmeprobe für die beste Baustahlgüte die gealterte DVM-Probe mit einem Mindestwert von  $5 \text{ mkg/cm}^2$  bei  $+20^\circ \text{C}$  zu empfehlen.

Dies entspricht nach dem früher Gesagten bei  $0^\circ$  einem Wert von etwa  $3 \text{ mkg/cm}^2$ .

Damit ist der von der TVFA-Wien seit Jahren vertretene Standpunkt, bezüglich der Abnahmebedingungen für gealterte Kerbschlagproben, nunmehr auch vom Deutschen Ausschuß für Stahlbau als notwendig erkannt worden.

#### V. Aufschweißbiegeprobe

Die bisher besprochenen Abnahmeprüfungen hatten das Ziel, reine Werkstoffeigenschaften festzustellen, wenn diese Eigenschaften auch zum Teil, wie z. B. die Kerbschlagzähigkeit, komplexer Art sind.

Bei geschweißten Druckrohrleitungen treten durch die Herstellungs- und Betriebseinflüsse Eigenspannungen, Verformungsalterungen und Gefügeänderungen auf, deren Auswirkung bei den reinen Werkstoffprüfverfahren, wenn überhaupt, so nur einzeln erfaßt werden können. Ein Versuch, diese Auswirkungen möglichst naturgetreu und gemeinsam zu erfassen, ist durch die Aufschweißbiegeprobe (22) geglückt.

Bei der Aufschweißbiegeprobe handelt es sich also um einen Modellversuch,

1. bei dem die Probendicke der Blechdicke im Rohr entspricht,
2. bei dem die Gefügeänderungen durch das Schweißen, wenigstens örtlich, vorliegen,
3. bei dem Eigenspannungen durch eine Einlagenschweißung erzeugt werden, die allerdings von den Eigenspannungen in der wirklichen Schweißnaht abweichen können,
4. bei dem bei der Prüfung durch die Probenbreite und die linienförmige Belastung durch den Biegedorn oberflächlich ein zweiachsiger Spannungszustand entsteht,
5. bei dem die Fähigkeit des Stahls, in der Schweißnaht entstandene Risse abzufangen oder fortzupflanzen, beobachtet werden kann.

Eine weitere Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse kann erreicht werden,

6. wenn die Prüfung bei Betriebstemperatur, diesmal aber aus Gründen der Modellähnlichkeit, durchgeführt wird,
7. wenn das Blech der Probe kaltverformt und ausgealtert wird,
8. wenn die Prüfung bei dynamischer Belastung erfolgt und
9. wenn die Prüfung zwar bei statischer Belastung, jedoch als Dauerstandversuch durchgeführt wird. Dies wäre natürlich kein Abnahmeversuch, sondern eine Vorprüfung der Stahlqualität.

Der Aufschweißbiegeversuch ist als Modellversuch für die Untersuchung der Eignung eines Stahls für geschweißte Druckrohrleitungen derzeit unentbehrlich. Dies wird unter anderem durch die Ergebnisse der Untersuchungen von Prof. Graf (23) über den Zusammenhang von Biegewinkel und Betriebsverhalten bestätigt, ebenso durch Bruchversuche an Druckrohren bei den VOEST (24) und durch umfangreiche amerikanische Untersuchungen an Schiffbaustählen (25).

Je betriebstreuere seine Durchführung gehandhabt wird, umso wirklichkeitstreuere werden seine Ergebnisse liegen.

Die Temperaturabhängigkeit des Ergebnisses der Aufschweißbiegeprobe zeigt ein verhältnismäßig steiles Übergangsgebiet vom zähen zum

spröden Bruch. Fällt die Betriebstemperatur in dieses Übergangsbereich, dann sollte die Prüftemperatur der Betriebstemperatur entsprechen.

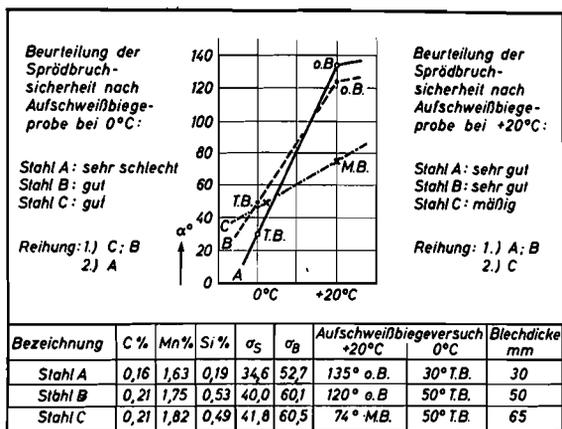


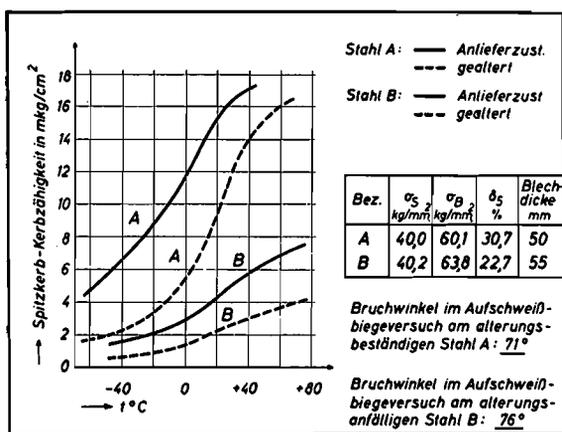
Bild 21: Ergebnisse von Aufschweißbiegeversuchen

Das Bild 21 zeigt als Beispiel hierfür die unterschiedliche Bewertung dreier Stähle in Aufschweißbiegeversuchen bei +20° und 0° C.

Obwohl also der genormte Aufschweißbiegeversuch sehr wertvoll und als Modellversuch unentbehrlich ist, kann er doch die reinen Werkstoffabnahmeprüfungen nicht ersetzen. Es wurde diskutiert (20), ob bei Baustählen erster Güte auf die Alterungs-Kerbschlagzähigkeit verzichtet werden könne, falls im Aufschweißbiegeversuch eine gute Sprödbuchtsicherheit nachgewiesen würde. Dies muß abgelehnt werden, da der genormte Aufschweißbiegeversuch weder den Temperatur- noch den Geschwindigkeitseinfluß berücksichtigt und in den allermeisten Fällen auch über das Werkstoffverhalten im verformungsgealterten Zustand keine Auskunft gibt.

Ein Beispiel hierfür sind die im Bild 22 wiedergegebenen Versuchsergebnisse. Die beiden Feinkornstähle A und B sind nach ihrem Verhalten im genormten Aufschweißbiegeversuch etwa gleichwertig. Die Temperaturkurven der Kerbschlagzähigkeit im Anlieferungszustand und im gealterten Zustand führen jedoch zu einer gänzlich anderen Bewertung.

Bild 22: Vergleich von Kerbschlag- und Aufschweißbiegeversuchen



Als Abschluß der Ausführungen über die Abnahmevorschriften wird im Bild 23 eine Gegenüberstellung mittlerer Abnahmewerte von Stählen gebracht, die für Druckrohrleitungen österreichischer Wasserkraftanlagen abgenommen wurden.

Man sieht zunächst deutlich die ansteigende Tendenz der gestrichelt gezeichneten Mindestanforderungen an die Streckgrenze und die schwach abfallende Tendenz (gestrichelt) der Anforderungen an die Kerbschlagzähigkeit im gealterten Zustand. Man sieht weiter aus dem Bild 23 die Erfüllung dieser Anforderungen durch die voll eingezeichneten mittleren Abnahmewerte. Auch die übrigen Abnahmebedingungen wurden zufriedenstellend erfüllt.

Die Güte der Ausführung der Schweißnähte an Druckrohrleitungen, und zwar sowohl der Werksnähte als auch der Baustellennähte, wird heute in Österreich durch Ultraschall- und durch Röntgen- bzw. Isotopenuntersuchungen zerstörungsfrei geprüft. Die dadurch nachgewiesene Fehlerfreiheit ermöglicht es, bei der statischen Berechnung mit dem Schweißfaktor 1 zu rechnen.

Man kann also zusammenfassend feststellen: Bei den österreichischen Druckrohrleitungen wurden seit 1945 hohe Anforderungen an den Werkstoff und an die Ausführung der Schweißnähte gestellt, die in der Herstellung und Lieferung nicht nur erfüllt, sondern überboten wurden. Eine ausreichende Sicherheit, vor allem gegen Sprödbüche, erscheint daher nach dem derzeitigen Stand der Technik gewährleistet.

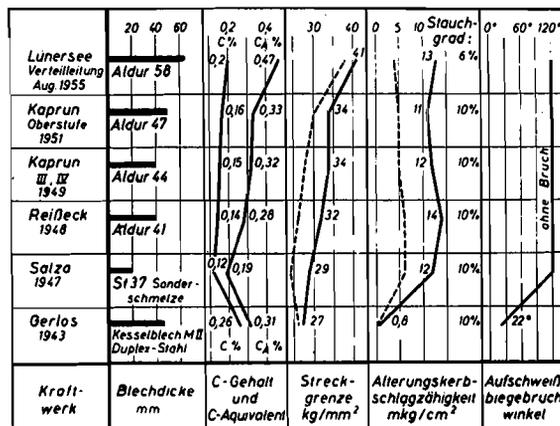


Bild 23: Mittlere Abnahmewerte der Stähle für Druckrohrleitungen österreichischer Wasserkraftanlagen

### Zusammenfassung

Von den im Druckrohrleitungs- und Stahlwasserbau verwendeten Werkstoffen kommt der Gruppe der schweißbaren Baustähle besondere Bedeutung zu. Eine gute Bewährung ist dann möglich, wenn der Werkstoff in seinem Zustand im fertigen Bauteil allen auftretenden Belastungsfällen, festgelegt durch Spannungszustand, Anstrengungsgeschwindigkeit und Temperatur, gerecht wird. Der Werkstoffzustand kann durch die Hüllkurve und die Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit vollständig beschrieben und überprüft werden. Unter Anwendung dieser Dar-

stellungsweise läßt sich am Beispiel der Druckrohrleitung verfolgen, welche Auswirkungen und Folgen für den Werkstoff und seine Beanspruchung durch die Herstellungseinflüsse (Gefügeänderungen beim Schweißen, Eigenspannungen und Kaltverformungen) und durch die Betriebseinflüsse (Anstrengungsgeschwindigkeit, Temperatur und Spannungszustand) zu erwarten sind. Hierbei ist vor allem das Auftreten eines Sprödbruches berücksichtigt. Da die Auswirkungen und Folgen der äußeren Einflüsse bei der üblichen Berechnung der Rohrleitung nicht berücksichtigt werden können, ist neben der statischen Festigkeitsprüfung im Zugversuch auch die Durchführung von Versuchen zur Kontrolle der Temperaturkurve der kritischen Verformungsgeschwindigkeit erforderlich. Es werden daher bei der Abnahmeprüfung neben der Feststellung von Ziffern für die statische Berechnung auch Versuche durchgeführt, die alle Herstellungs- und Betriebseinflüsse berücksichtigen. Inhalt und Bedeutung der einzelnen Abnahmeprüfverfahren können durch die vorher abgeleiteten, werkstoffmechanisch begründeten Bestimmungsstücke des Werkstoffzustandes beurteilt werden. Diese Analyse der Abnahmeprüfungen wird durch Versuchsergebnisse der Untersuchung hochfester schweißbarer Baustähle belegt und zeigt in Gegenüberstellungen den derzeitigen Stand der Entwicklung dieser Sonderstähle. Die begründeten Mindestanforderungen ergeben nach den bisherigen Erfahrungen die Gewähr ausreichender Betriebssicherheit. Aus einer zusammenfassenden Darstellung der Abnahmeprüfergebnisse wichtiger österreichischer Wasserkraftanlagen ist ersichtlich, daß durchwegs nur Baustähle hervorragender Güte zum Einsatz kamen.

Meinem Assistenten Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Karl L ö t s c h e i für seine wertvolle Mitarbeit besonders gedankt.

#### S c h r i f t t u m :

- (1) W. Grosse: Untersuchungen über Bruchbildungen an geschweißten Bauwerken aus Stahl St. 52. Stahl und Eisen, 60 (1940), S. 441/53, S. 543/550.
- (2) A. Staffenschek: Grundsätzliches zur Theorie des Sprödbruches. Sprödbrückkolloquium Leoben, 27. bis 28. Februar 1953. Radex-Rundschau 1953, S. 186 bis 199.
- (3) P. Ludwik und R. Schau: Über Kerbwirkungen bei Flußeisen. Stahl und Eisen, 43 (1953), S. 999/1001.
- (4) K. Rühl: Die Tragfähigkeit metallischer Baukörper in Bautechnik und Maschinenbau. Verlag W. Ernst und Sohn, Berlin 1952, S. 123 bis 126.

- (5) W. Kuntze: Festigkeitstheoretische Untersuchungen. Handbuch der Werkstoffprüfung, II. Band, herausgegeben von E. Siebel, Springer, Berlin 1939, S. 708/29.
- (6) Siehe (2). Diese Ableitung der Temperaturkurve der kritischen spezifischen Verformungsgeschwindigkeit wurde schon 1951 auf einem Kolloquium in Leoben vorgetragen.
- (7) Berichte und Gutachten der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt, Vorstand Prof. Dr. Leon, vom 25. März 1946, 10. Mai 1947 und 26. Oktober 1948 (V 84, V 681, V 2210) nicht veröffentlicht.  
A. Leon: Lichtbogengeschweißte Druckrohrleitungen für Wasserkraftanlagen. Österreichischer Maschinenmarkt und Elektrowirtschaft, 6 (1951), Heft 8.  
E. Uhlir: Zur Frage des Werkstoffes für geschweißte Druckrohrleitungen. Betrieb und Fertigung, 3 (1949), Heft 5.  
E. Uhlir: Kritische Betrachtung der Abnahmebedingungen für lichtbogengeschweißte Druckrohrleitungen. Maschinenbau und Wärmewirtschaft, 7 (1952), S. 165/186.
- (8) E. Neuhauser: Die Ursache der Rohrbrüche im Druckschacht des Gerloskraftwerkes. Österreichische Wasserwirtschaft, 2 (1950), S. 185/211.
- (9) Siehe 1.) ferner  
H. Busch und W. Reulecke: Untersuchungen über Rißerscheinungen an einer geschweißten Brücke. Stahl und Eisen, 62 (1942), S. 66/72.
- (10) P. Ludwik: Bestimmung der Reißfestigkeit aus der gleichmäßigen Dehnung. Z. f. Metallkunde 1926.
- (11) W. Kuntze: Prüftechnische Bewertung von Baustählen. Arch. f. d. Eisenhüttenwesen, 17 (1943/44), S. 127/40.
- (12) O. Lissner: Ermittlung der Sprödbruchneigung von Baustählen in Kerbzug- und Kerbschlagzugversuchen. Arch. f. d. Eisenhüttenwesen, 24 (1953), S. 27/42.
- (13) R. Becker: Über die Plastizität amorpher und kristalliner fester Körper. Phys. Z., 26 (1925), S. 919/25.  
R. Becker: Über Plastizität, Verfestigung und Rekristallisation. Z. techn. Physik (1926), S. 547/555.
- (14) C. W. MacGregor und N. Grossmann: The Effect of Combined Stresses on the Transition Temperature for Brittle Fracture. Weld. Res. Supplement, 1948; 7s bis 16s.
- (15) K. Klöppel: Sicherheit und Güteanforderungen bei den verschiedenen Arten geschweißter Konstruktionen. Schweißen und Schneiden, 6 (1954), Sonderheft, S. 38(S)/65(S).
- (16) E. Folkhard: Die Entwicklung und der heutige Stand des schweißbaren St. 52. Schweizer Archiv, 21 (1955), S. 183/198.
- (17) G. A. Timmons: Jominy — Stirnabschreck-Härtbarkeitsversuche an Kohlenstoff-Manganstählen. Iron and Steel, 1943, 209/12.
- (18) A. Legat: Neue Gesichtspunkte zur Schmelzschweißbarkeit der Massenbaustähle. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 95 (1950), S. 303/307.
- (19) R. Mailänder: Zur Normung der kleinen Kerbschlagprobe. Stahl und Eisen (1935), S. 749/754.
- (20) H. Hauttmann: Schweißbare Baustähle. Schweißtechnik, 5 (1954), S. 49/51.
- (21) Mitteilungsblatt des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, 5. Juli 1954.
- (22) Nach O. Kommerell: Stahl und Eisen, 57 (1937), S. 421, u. vgl. ÖNorm M 3052.
- (23) O. Graf: Versuche zur Klarstellung von Schadensfällen an geschweißten Brücken. Z. d. V. D. I. 85 (1941), S. 357.
- (24) H. Hauttmann: Sprödbruchsichere Baustähle in hochbeanspruchten geschweißten Konstruktionen. Österreichischer Stahlbau (1952), S. 55/60.
- (25) K. Rühl: Amerikanische Sprödbruchversuche und die Folgen für die Sprödbruchprüfung. Archiv für das Eisenhüttenwesen, 25 (1954), S. 421.

## Schlufwort

Prof. Dr.-Ing. Re i n i t z h u b e r, Vorsitzender des Österreichischen Stahlbauvereines

Meine Damen und Herren!

Ich danke Ihnen, daß Sie zur ersten Tagung des Österreichischen Stahlbauvereines so zahlreich erschienen sind, und danke Ihnen auch für das große Interesse, mit dem Sie den einzelnen Vorträgen folgten, sowie für die lebhaftige Beteiligung an den Diskussionen.

Insbesondere danke ich den Herren Vortragenden für ihre überaus interessanten und aufschlußreichen Ausführungen, die uns wieder ein Stück weitergebracht haben in unseren Erfahrungen und Erkenntnissen auf dem Gebiet des Stahlbaues.

Ich schließe hiermit die Österreichische Stahlbautagung 1955.

# PENTHOR

LEITUNGEN MIT

THERMOPLASTISCHER ISOLATION

ÖVE

AUSTRIA

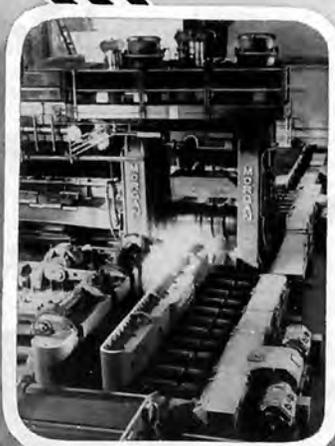


JOH. PENGG

THÖRL b.AFLENZ STEIERMARK

MA

# ALPINE



## OESTERREICHISCH-ALPINE MONTANGESSELLSCHAFT

Generaldirektion — Kommerzielle Direktion: Wien 1, Friedrichstraße 4

Aus steirischem Erz

Alpine Siemens-Martin- und Edelstähle aller Art

Sauerstoff-Konverter-Stähle »SK«

gewalzt, gezogen, geschmiedet, geschält



STAB- UND FORMSTAHL, WARM- UND KALT BANDSTÄHLE, WALZDRAHT,  
GROB- UND MITTELBLECHE, FEINBLECHE, SCHIENEN, OBERBAUMATERIAL,  
WEICHEN, MASCHINEN UND BERGBAUEINRICHTUNGEN, ROHRE, FEDERN ETC.

Tel.: B 29 5 20

Drahtwort: Comalp Wien

Fernschr.: 1820

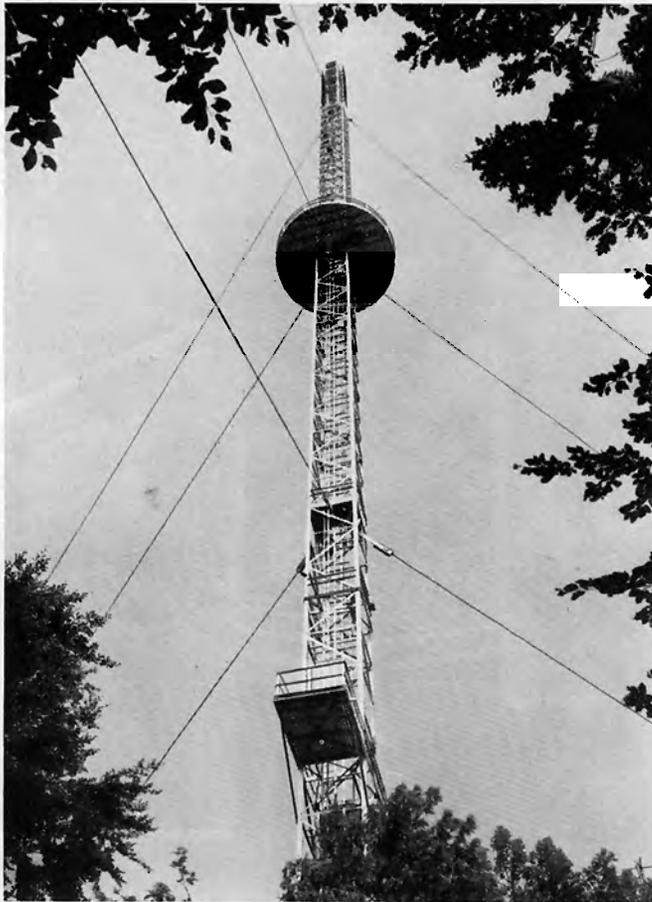
# MATERIALSCHUTZ GESELLSCHAFT

m. b. H.

**SANDSTRAHLUNG  
ANSTRICHE IMPRÄGNIERUNG ISOLIERUNG  
SPRITZMETALLISIERUNG**

**FEUERVERZINKUNG IM VOLLBAD**

**Fernsehmast  
Kahlenberg  
von uns  
feuerverzinkt**



**Höhe der Kon-  
struktion 119 m  
Längste Teil-  
stücke 9,5 m**

**Oberflächenschutz für**

**Leitungsmaste, Sendemaste, Wehranlagen, Druckrohre, Kraftwerke,  
Brücken, Hallen, Stahlkonstruktionen aller Art und Apparate**

**Zentralbüro: Wien I, Körntnerring 3**

**Telefon R 27 2 43**

**Fernschreiber Wien 1185**

**KAPFENBERG**

**GRAZ**

**LINZ**

**MADRID**



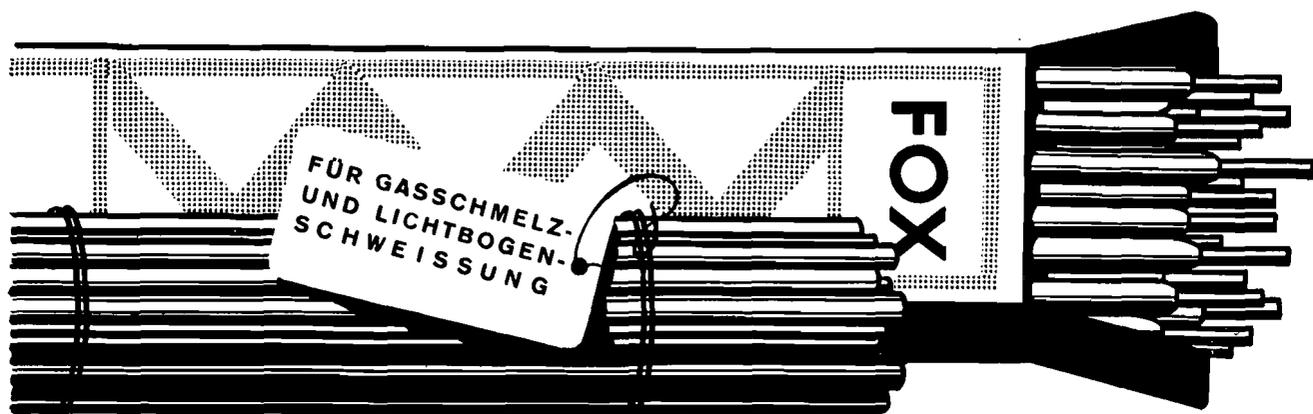
# WIENER BRÜCKENBAU- UND EISENKONSTRUKTIONS- AKTIENGESELLSCHAFT

ZENTRALBÜRO: WIEN X, HARDTMUTHGASSE 131-135  
Postanschrift: Wien I, Postfach / Fernsprecher U 32-5-75 △  
Fernschreiber: 1785 / Drahtanschrift: Brückenbau Wien

◆  
3 WERKE IN WIEN  
◆

## STAHLWASSERBAU ferner

Brückenbau / Stahlhochbau / Industriehallen / Bohrtürme / Leitungsmaste  
Rohrleitungen / Materialseilbahnen / Berg- und Skilifte / Kranbau  
Müllwagen / Dreiseitenkipper / Greifer / Theaterbühneneinrichtungen



B Ö H L E R - E D E L - S C H W E I S S D R Ä H T E

AUS UNSERER

# Leitungsbau-

MAPPE



## WIR LIEFERN:

- Bahnleitungen
- Fahrleitungen für Bahn, Straßenbahn und Obusse
- Ortsnetze
- Großinstallationen

**NEUE ÖSTERREICHISCHE BROWN-BOVERI-AKTIENGESELLSCHAFT**

INNSBRUCK

WIEN

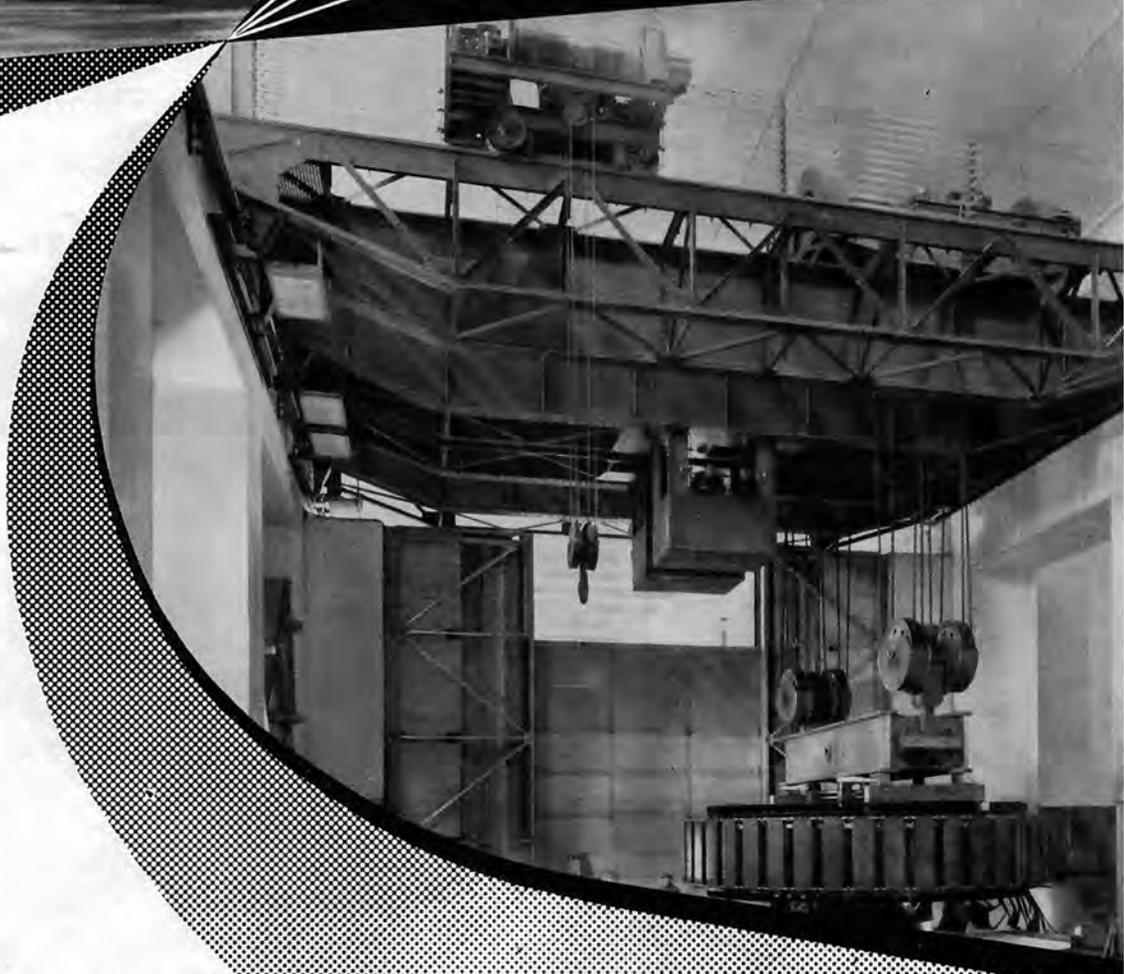
▶ LICHTENEGGER

IN KRAFTWERKEN:



### **Impfkraftwerk St. Andrä**

Stromerzeugung - Verladebrücke zur  
Kohlen-Verladung und zur  
Entladung und zur  
Entstapelung  
in Kohlenlagerplätzen. Förder-  
leistung: 70 t pro Stunde,  
Spannweite: 45 m



### **Kraftwerk Großraming**

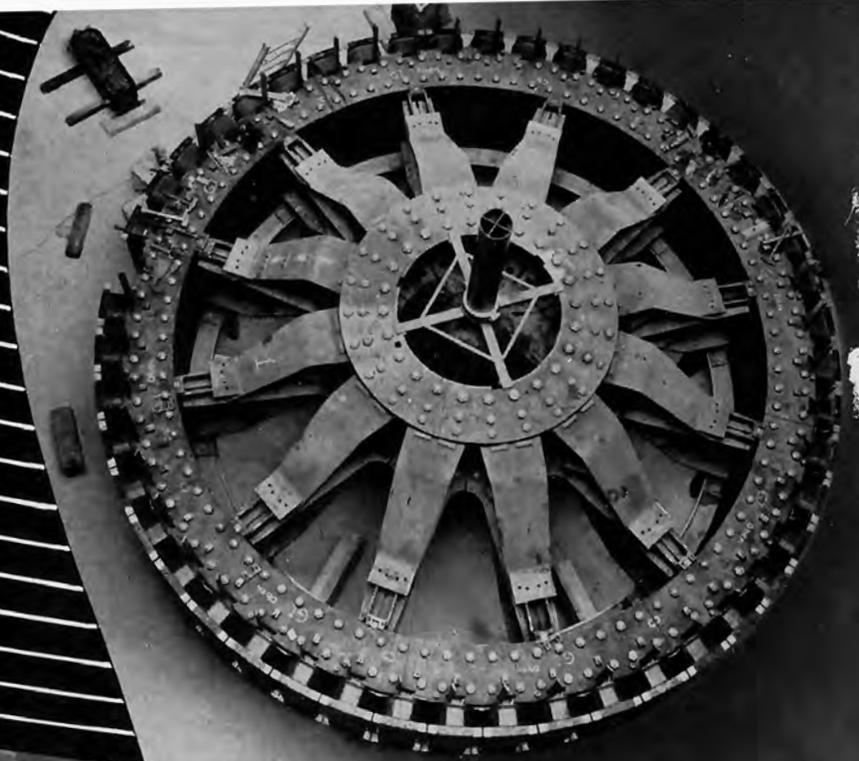
Doppelkrananlage von 16 m Spannweite mit  
einer Gesamttragkraft von 280 t mit Hilfshub-  
werken von je 10 t Tragkraft



**SIMMERING - GRAZ - PAUKER A.G.**

WIEN · AUSTRIA

# AEG UNION



Montage  
eines  
**18 MVA Generators**  
für das  
Ennskraftwerk **ROSENAU**



**AEG-UNION ELEKTRIZITÄTS-GESELLSCHAFT WIEN III**

# *Seit Jahrzehnten führend auf dem Gebiet der elektrischen Lichtbogen- Schweißung*

sind wir in der Lage, ein reichhaltiges und umfassendes Erzeugungsprogramm  
an Schweißmaschinen und Schweißautomaten zu bieten.

*Wir erzeugen und liefern auf dem Sektor der Schweißtechnik:*

## *Schweißdynamos und Umformer*

in den verschiedensten Leistungsstufen

## *Benzin- und Dieselschweißaggregate*

ortsfest und fahrbar als Autoanhänger

## *Schweißtransformatoren*

## *Voll- und halbautomatische Schweißanlagen*

**Universalautomaten** für Unterpulver (UP)-, Netzmanteldraht- und Blankdrahtschweißungen für Verbindungs- und Auftragsarbeiten.

**Type M6**, schwere, robuste Bauweise, in ortsfester und selbstfahrender (auf Fahrbahn hängender) Ausführung.

**Type W3 + No** in Leichtbauweise in ortsfester und selbstfahrender (auf Fahrbahn hängender) Ausführung.

**Type S 2** in selbstfahrender Ausführung, Traktortype, für den Stahlbau, Schiffsbau, Kessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau besonders geeignet.

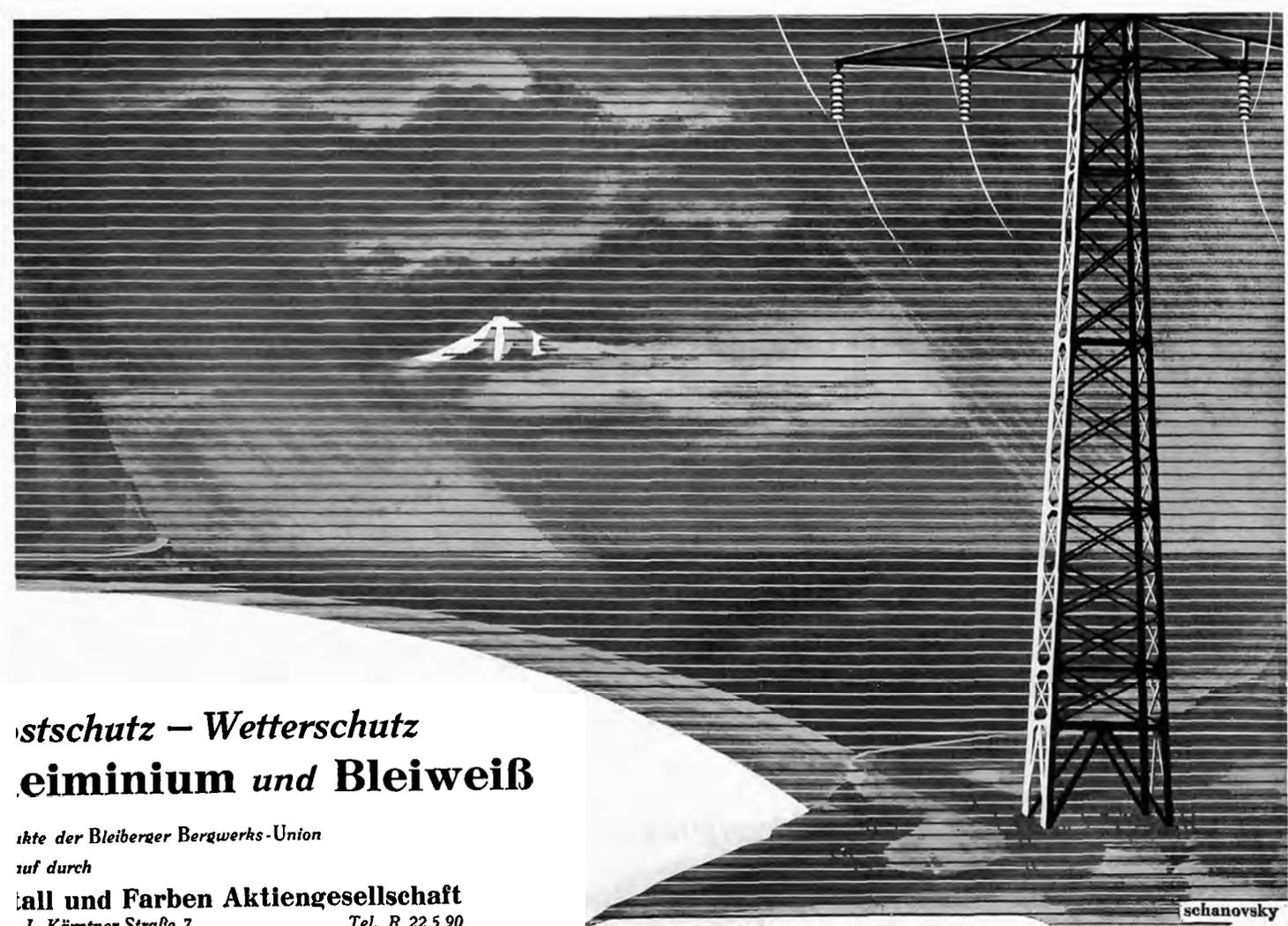
**Einspannvorrichtungen** für die EHV-Schweißung (ELIN-Hafergut-Schweißverfahren) in einfacher und pneumatischer Ausführung, für die Stumpfnahtschweißung an dünnen Blechen, von 1 — 4 m Einspannlänge.

Kupferschienen für die EHV-Kehlnahtschweißung an stärkeren Blechen bis 13 m Schweißnahtlänge.

Unterlagen über Anfrage, Beratung durch unsere Schweißingenieure und Schweißtechniker.

# **"ELIN"**

**AKTIENGESELLSCHAFT FÜR ELEKTRISCHE INDUSTRIE  
ZENTRALE: WIEN, I., VOLKSGARTENSTRASSE 3**



**Rostschutz – Wetterschutz  
Zinnminium und Bleiweiß**

*Produkte der Bleiberger Bergwerks-Union  
hergestellt durch  
Kalk und Farben Aktiengesellschaft  
1, Kärntner Straße 7 Tel. R 22 5 90*



**Brunner Verzinkerei  
Brüder Bablik**

**FEUERVERZINKUNGEN**

WIEN XVIII.,  
SCHOPENHAUERSTRASSE 36

Tel.: A 23 5 25      Fernschreiber: 1791  
Tel.-Adresse: Zingagefer

**AGRO**

**Bautenschutz u. Pflanzenschutz Gesellschaft**  
Wels, Kalkofenstraße 51, Tel. 2092 / 2969

Wie in der ganzen Welt so auch in Österreich für den Rostschutz von Kraftwerksanlagen die bewährten Standard-Erzeugnisse

**Inertol I dick**

**Palesit Schmelzmörtel WP**

hergestellt in Lizenz der Inertolfabrik Paul Lechner,  
Stuttgart. Für Anstriche unter Wasser, über Wasser  
wie in der Wasserwechselzone

**CARBOLINEUMFABRIK R. AVENARIUS**

Wien I., Burgring 1, Tel. A 35 2 84/85

## Ennskraftwerk Rosenau



Blick von der Wehrbrücke auf die Wehranlage (Hakenschützen)

### Kraftwerke der Ennskraftwerke-A. G.

Kraftwerk	Fallhöhe bei Ausbaudurchfluß	Mittelwasser MQ	Mittlere nutzbar. Wassermenge	Ausbauwassermenge	Anzahl der Maschinen	Gesamtleistung	Arbeitsvermögen im Regeljahr	Anzahl der Wehrfelder	Lichte Weite d. Wehrfelder	Art der Wehrverschlüsse
	m	m³/s	m³/s	m³/s	—	kW	Mio kWh		m	
Großraming	23,05	164	140	270	2	54.000	255	2	22,5	Zweiteilige Stauklappe Befonstaubalken 2 Tiefschützen
Ternberg	14,40	173	144	240	2	30.000	156	3	16	Oberschütz mit Klappe Stahlbaubalken Grundschütz
Rosenau	12,45	176	145	240	2	25.000	134	4	16	Hakenschützen: Ober- u. Unterschütz
Staning	13,10	218	182	300	3	33.000	180	5	17	Oberschütz Befonstaubalken Segmentgrundschütz
Mühlradung	8,45	218	187	300	4	23.000	108	5	17,25	Hakenschützen: Ober- u. Unterschütz
<b>Summe:</b>	<b>71,45</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>13</b>	<b>165.000</b>	<b>833</b>	<b>19</b>		



## **POLAR** *Frostschutzmittel*

Zu beziehen durch den Baustoffhandel. Beratung in allen Fragen des Bautenschutzes durch

**AGRO**

**Bautenschutz u. Pflanzenschutz Gesellschaft**  
Wels, Kalkofenstraße 51, Tel. 2092 / 2969

**CARBOLINEUMFABRIK R. AVENARIUS**  
Wien I., Burgring 1, Telephon A 35 2 84/85



**KORROSIONSSCHUTZ**  
FÜR INDUSTRIEANLAGEN, BRÜCKEN,  
ROHRLEITUNGEN UND BEHÄLTER  
**METALLISIERUNGEN**  
AN ROHRLEITUNGEN, WEHRANLAGEN USW.

**A N S T R I C H E**  
AN WERKS- UND WOHNGEBÄUDEN  
MIT LANGJÄHRIGER GARANTIE

**ÖSTERR.**  
**ROSTSCHUTZGESELLSCHAFT**  
R. SCHEBESTA & CO.  
WIEN VI, MARIAHILFER STRASSE 89 A  
TEL. B 28 4 53

VORARLBERGER ILLWERKE AKTIENGESELLSCHAFT

## **AUSBAU VORARLBERGER WASSERKRÄFTE**

Derzeitige Leistung: 350.000 kW  
Derzeitiges Jahresarbeitsvermögen: 1 Milliarde kWh

## **BAUVORHABEN LÜNERSEEWERK**

Ausbauleistung 220.000 kW  
Inbetriebnahme der ersten Maschinengruppen - Herbst 1957

**Regulierung der Schweißstromstärke von 15-240 A  
Sicherer Betrieb bei gleichmäßiger Netzbelastung  
Tausendfach bewährt**

**Die neue EBG-Schweißhummel Type Suf 202**  
im neuen Gewand  
in alter Güte  
mit noch höherer Leistung

**PREIS:  
S 8.100.—**

Anschlußwert nur 4 kW  
Anschlußmöglichkeit einer flexiblen Welle  
mit Schleifscheibe  
Geringes Gewicht von nur 80 kg  
Keine Verschleißteile, wie Kollektor, Schleif-  
ringe oder Bürsten  
Lieferbar für jede praktisch vorkommende  
Drehstromspannung  
(in Sonderausführung auch lieferbar für  
zwei Drehstromspannungen,  
z. B. für 220 und 380 Volt)

**ELEKTRO-BAU A.G.**  
LINZ, Kraußstr. 7, Telephon 2 63 21 u. 2 63 91, Serie  
Büros: Wien, Graz, Salzburg; Vertretung: Innsbruck

**AGA**

RADIATOREN  
SCHWEISSGASE  
SCHWEISSGERÄTE  
KARBIDKALK

*Immer verlässliche Helfer am Aufbau Österreichs!*

**AGA-WERKE A. G. WIEN — AGA RADIATORENWERK GES. M. B. H.**  
WIEN, IV., PRINZ-EUGEN-STRASSE 72 — TEL. U 45-5-20 — FERNSCHREIBER 01-1180

## **Österreichische Donaukraftwerke AG.**

### **STAHLBAUKONSTRUKTIONEN FÜR DAS KRAFTWERK YBBS-PERSENBEUG**

**Wehrverschlüsse** für die 5 Wehröffnungen mit je 30 m Lichtweite:

5 zweiteilige Hakenschtützen; Verschlusshöhe 13,5 m; Unterschütz: Parabelstabbogen mit Wellstauhaut.

**Schleusenverschlüsse** für die 2 Kammerschleusen (Lichtweite je 24 m):

2 Hubsentore ähnlich zweiteiligen Hakenschtützen ausgebildet, Verschlusshöhe 13,5 m; Unterschütz: Kastenschütz mit Strahlumlenkung für Schleusenfüllung.

2 Riegelstentore, doppelwandig; Verschlusshöhe 16,5 m; Schützen für Schleusenentleerung.

**Kranbrücken** (Torsionskastenträger) über Wehr- und Schleusenfelder für

2 **Portalkrane** (Tragfähigkeit je 135 t) für Turbinen-, Generator- und Wehrverschlussmontagen sowie zum Setzen der

**Oberwassernotverschlüsse** für Wehr, Schleuse und Turbineneinläufe.

**Unterswassernotverschlüsse:** alle selbstschwimmend ausgebildet.

**Straßenbrücke 1. Ordnung** über Gesamtanlage. Schleusen- und Wehrfelder als Vollwanddurchlaufräger ausgebildet mit oberliegender Betonfahrbahn.

FÜR STAHLBAU UND INDUSTRIE

Hochfeste  
Schrauben  
und Muttern

Güteklassen  
5D 8G 10K

**BREVILLIER-URBAN A.G.**

WIEN VI. LINKE WIENZEILE 18 TEL. B 24-570

## **SCHWINGMASCHINEN SYSTEM BINDER**

Zweimassenausgleich  
Geringe Antriebsleistung  
Keine schweren Fundamente  
Große Baulängen  
Horizontale Absiebung  
Fördern - Sieben - Aufbereiten  
in einem Arbeitsana

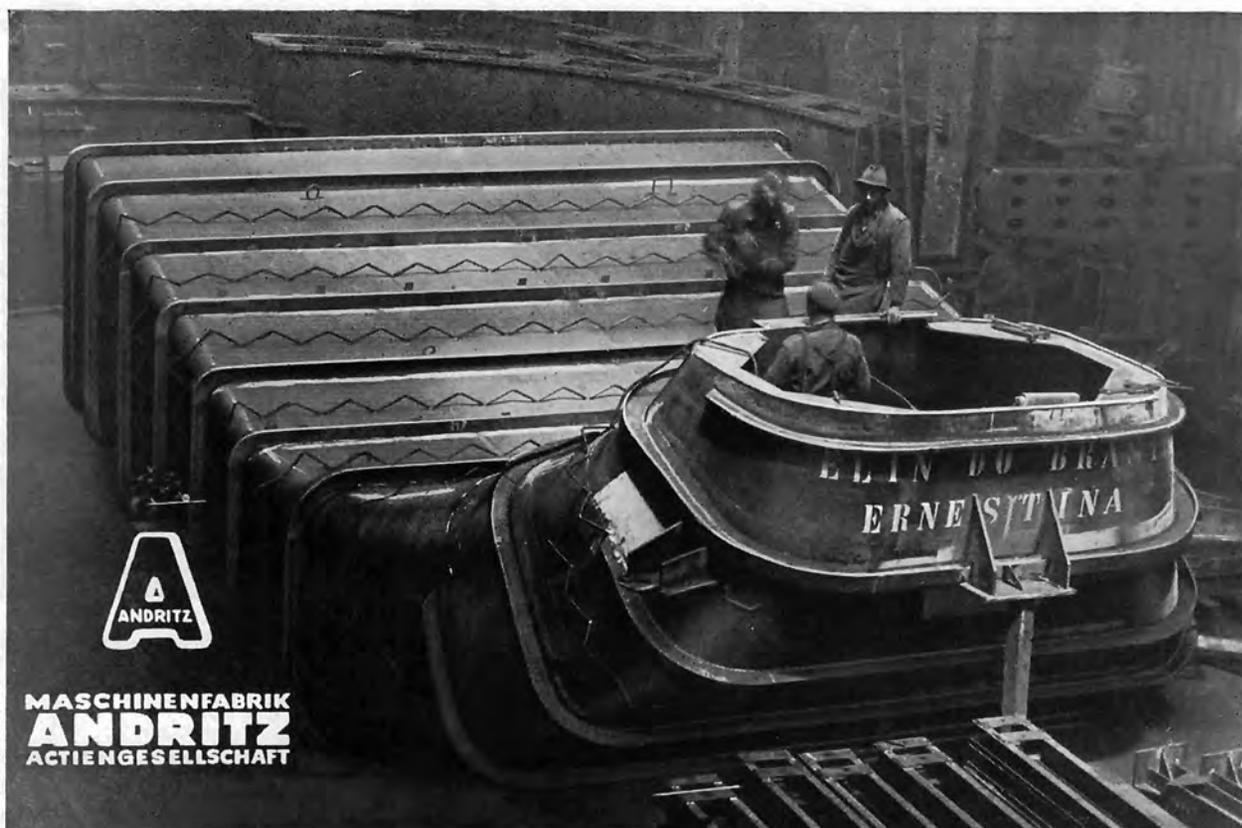


**LUDWIG BINDER & CO.**

**GRAZ - EGGENBERG**

FS 03221

Telefon 8 14 49



## O. M. MEISSL & CO.

Gesellschaft m. b. H.

Anstricharbeiten an:

Kraftwerksanlagen

Druckrohrleitungen

Industrieanlagen

Hüttenwerken

Brücken und Masten

Sandstrahlentrostungen

**WIEN III, Marxergasse 39**

Telefon: U 18 290



## BÜROMÖBEL AUS STAHLROHR

Gegründet 1932

mit Holz kombiniert

Gegründet 1932

Serienmäßige Anfertigung u. nach Architekten-Entwurf, Lieferant der VOEST, Alpine-Montan und der übrigen Großindustrie

### ST. KARASEK U. CO.

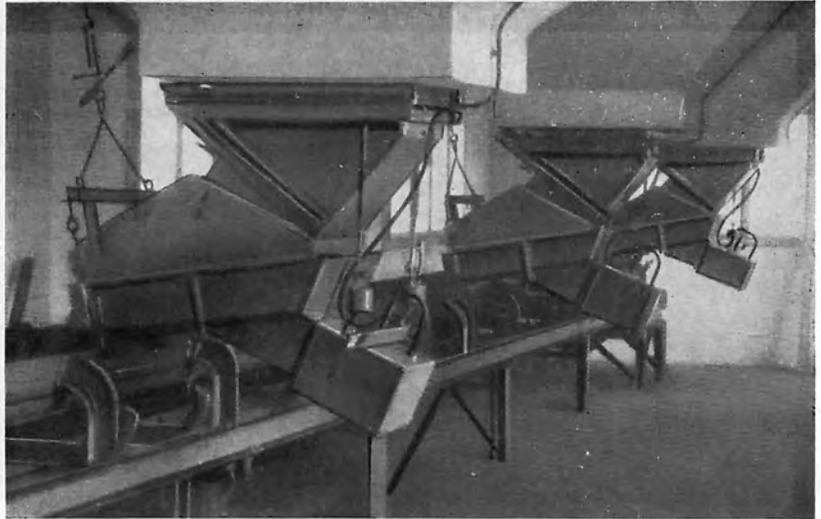
WIEN VII, NEUBAUGASSE 12-14 - TEL. B 33 2 55

WIEN II, PRATERSTRASSE 66 - TEL. R 48 3 16

LINZ, HAUPTBAHNHOF-VORPLATZ - TEL. 22 4 86



SCHWINGFÖRDERER  
BUNKERSCHWINGABZÜGE  
SCHWINGSIEBER  
DOSIERGERÄTE



## SCHWINGTECHNIK

ELEKTROMAGNETISCHER ANTRIEB, ELEKTRISCH-REGELBARE LEISTUNG  
KEINE SCHMIERUNG UND WARTUNG, KEIN VERSCHLEISS, HOHE LEBENSDAUER

**IFE-GESELLSCHAFT FÜR MASCHINEN- UND APPARATEBAU**

DIPL. ING. SAGL & CO., WIEN I, DR. KARL LUEGER-RING 10, U 21 500  $\Delta$  — FERNSCHREIBER 01-1048



**SPRITZVERZINKUNGEN**

**Metallisierwerk  
Salzburg**

**Salzburg, Karolingerstraße 7  
Tel. 5705**

### Das praktische Handbuch für den Autogen-Schweißer.

Von Dr. techn. Dipl.-Ing. V. Trunschitz. 163 Seiten mit 116 Abbildungen und 11 Tabellen. Broschiert S 46.—, Halbleinen gebunden S 56.—.

**Stahlhandbuch.** Alphabetisches Nachschlagewerk der Stahlkunde für Ingenieure, Fachschüler, Studenten und Werkmeister. Von Dipl.-Ing. Walter Hiller. 328 Seiten, 54 Abbildungen, 6 Tabellen. Halbleinen gebunden S 44.80. . . . Für jeden, der sich in seinem Berufe mit dem Werkstoff Stahl befassen muß, ist das vorliegende alphabetische Nachschlagewerk der Stahlkunde wertvoll. Es erläutert in übersichtlicher und leicht fahlicher Weise die vorkommenden Begriffe.\* VDI-Zeitschrift, Bd. 92/31.

**Das Gleitlager.** Wirkungsweise, Konstruktion, Baustoffe und Berechnung. Von Dipl.-Ing. Dr. techn. Otto Gersdorfer. 138 Seiten, 103 Figuren, 7 Tafeln. Halbleinen gebunden S 45.—.

**Zahnradgetriebe.** Berechnung und Konstruktion von Zahnrädern, Riemen- und Kettenantrieben. Von Ing. Rudolf Huber. S 54.—, Halbleinen gebunden S 65.—, Studierenden gegen Bescheinigung der Lehranstalt Ermäßigung.

*Bücher, die Sie immer  
wieder brauchen!*

Zu beziehen vom



**DIPL.-ING. RUDOLF BOHMANN  
INDUSTRIE UND FACHVERLAG  
WIEN I, CANOVAGASSE 5**

Eigentümer und Herausgeber: Österreichischer Stahlbauverein Wien; für den Inhalt verantwortlich: Dr. Hugo Dienes, beide Wien III, Lothringerstraße 16; Verleger: Dipl.-Ing. Rudolf Bohmann Industrie- und Fachverlag, Wien I, Canovogasse 5; Redaktionelle Gestaltung: Ing. H. Wanke. Druck: Druck- u. Verlagsanstalt Gutenberg, Wiener Neustadt, Wiener Straße 66.

# WAAGNER-BIRÓ

AKTIENGESELLSCHAFT

WIEN

GRAZ

BAUT:

STAHLBRÜCKEN

HOCHBAUTEN

STAHLWASSERBAUAUSRÜSTUNGEN

DRUCKROHRLEITUNGEN

MASTE

DAMPFKESSELANLAGEN

IN:

AEGYPTEN

LIBANON

IRAK

INDIEN

TÜRKEI



MONTAGE EINER DREISCHIFFIGEN  
LOKREPARATURHALLE IN ANABER BOULAC BEI KAIRO

ZENTRALE:

WIEN V.  
MARGARETENSTRASSE 70