

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 64 (1972)  
**Heft:** 8-9

**Artikel:** Wasserkraftanlagen der Schluchseewerk AG im Schwarzwald  
**Autor:** Pfisterer, Erich  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-920972>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

WASSERKRAFTANLAGEN DER SCHLUCHSEEWERK AG IM SCHWARZWALD

Erich Pfisterer

DK 621.221.4

Die Wasserkraft, vor allem in Verbindung mit Mehrzweckanlagen, behauptet weiterhin ihre Stellung unter den Primärenergien.

Darüber hinaus erwies sich die Pumpspeicherung, eine Art künstliche Wasserkraftnutzung, als bestes wirtschaftliches Verfahren, in Schwachlastzeiten grosse Mengen geringwertiger elektrischer Energie aufzunehmen und während der Bedarfsspitze als hochwertigen Spitzenstrom wieder abzugeben. Pumpspeicherwerke ergänzen auf diese technisch und wirtschaftlich vorteilhafte Weise im Verbundbetrieb die thermischen Werke und Laufwasserkräfte.

Eine weitere grosse Aufgabe der Pumpspeicherung ist die Momentanreserve für das Netz bei Störungen, denn in der Schnelligkeit der Leistungsdarbietung ist die Wasserkraft wohl konkurrenzlos, wenn man innerhalb von 30 bis 50 Sekunden die ganze Leistung einer Kraftwerkstufe zur Verfügung stellen kann.

Als dritte Aufgabe fällt den Pumpspeicherwerken die automatische Frequenzregulierung zu, ohne die kein grosses Netz auskommen kann.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn man die Pumpspeicherung mit natürlichem Zufluss verbinden und diesen zur Saisonverlagerung im Winter einsetzen kann.

Die natürlichen Gegebenheiten des südlichen Schwarzwaldes sind von den Behörden schon seit Beginn dieses Jahrhunderts für die Anlage von Hochdruckspeicherwerkern mit Jahresspeicherung als einmalig in Deutschland erkannt:

1. Hohe Niederschläge im Bereich des Feldberges, der höchsten Erhebung des Schwarzwaldes, im langjährigen Jahresmittel 2200 mm;
  2. Ein natürlicher See in 930 m Höhe, der sich zu einem Jahresspeicher mit  $108 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Inhalt ausbauen lässt;
  3. Standfestes Grundgebirge, in dem grosse Talsperren und andere Ingenieurbauten sicher gegründet und dichte Stauräume angelegt werden können;
  4. Nutzbare Fallhöhen bis zum Hochrhein von über 600 m,
  5. Ueberwiegend bewaldetes Einzugsgebiet mit ausgeglichenen Abflüssen, daher auch geschützt gegen Bodenabtrag und rasche Verlandung der Becken;
  6. Unterschiedliche Abflussregime der Schwarzwaldflüsse und des Alpenflusses Rhein; hohe Niederschläge und Schneeschmelzen im Spätherbst und frühen Frühjahr im Schwarzwald werden durch sommerliche Schmelzwasserabflüsse im Rhein ideal ergänzt.

Diese einmaligen natürlichen Voraussetzungen für den Ausbau von Wasserkräften wurden beim Bau des Schluchseewerkes ausgenutzt und durch den Entschluss, die Pumpspeicherung einzuführen, in idealer Weise erweitert. Man wollte mit dem Pumpen nicht nur mehr Wasser für den Spitzenbetrieb bereitstellen, sondern bei den Dampfkraftwerken selbst durch die Verlängerung und Vergleichmässigung der Nutzungsdauer einen spezifisch günstigeren Wärmeverbrauch und geringeren Verschleiss durch Einschränkung der Regulievorgänge erreichen. Damit wurde Ende der zwanziger Jahre der Grundstein für eine Verbundwirtschaft zwischen Kohle im Rhein-Ruhr-Gebiet und der Wasserkraft im Süden Deutschlands gelegt.

Schluchseegruppe

Das Schluchseewerk wurde auf dieser Grundlage als Hochdruckkraftwerk mit Jahresspeicher und Pumpspeicherung in einer einmaligen Konzeption mit seinen drei Kraftwerken Häusern, Witznau und Waldshut von 1929 bis 1952 erstellt.

Mit einer Generatorleistung von 524 000 kVA, einer Pumpleistung von 280 000 kW und einer mittleren Jahreserzeugung von rund 600 Millionen kWh ist die Schluchseegruppe seit 1953 die bedeutendste und überragendste Pumpspeicherwerkgruppe, die es in Deutschland gibt. Sie ist an der Spitzendeckung der gesamten deutschen Energieversorgung massgeblich beteiligt.

Lageplan und Längenschnitt des Schluchseewerks (Bilder 1 und 2) zeigen oben im Gebirge in über 900 m Höhe den Schluchsee, der als grosser Jahresspeicher mit über 100 Millionen  $m^3$  Inhalt den natürlich und gepumpt zufließenden Wassermengen zur Aufnahme dient. Man erkennt drei Stufen, die ein Gesamtgefälle von 620 m bis zum Hochrhein ausnutzen, und die dazugehörigen Kraft-

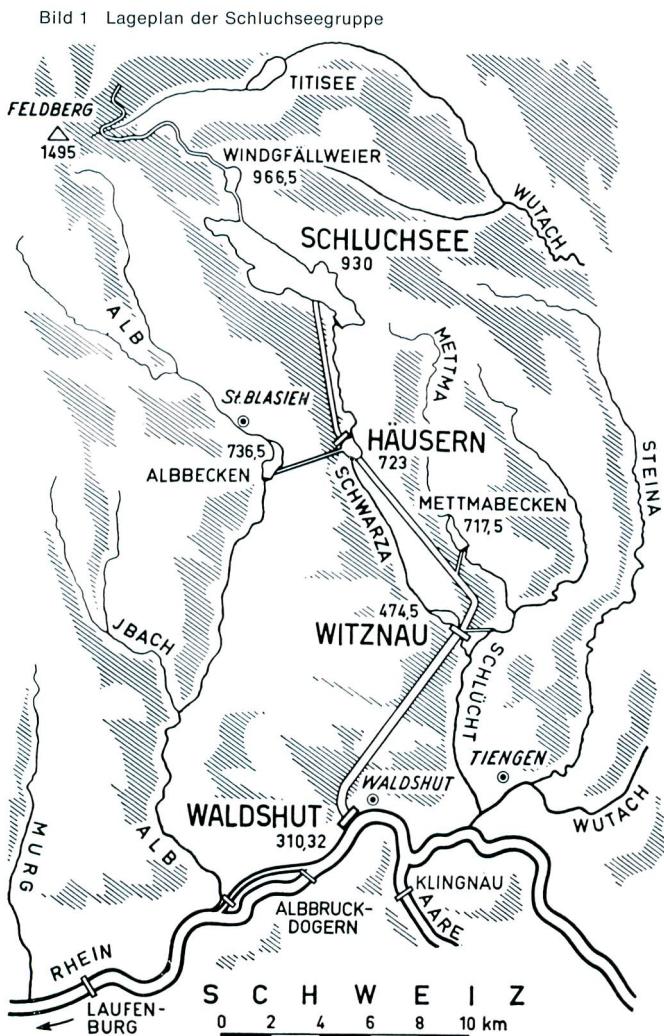
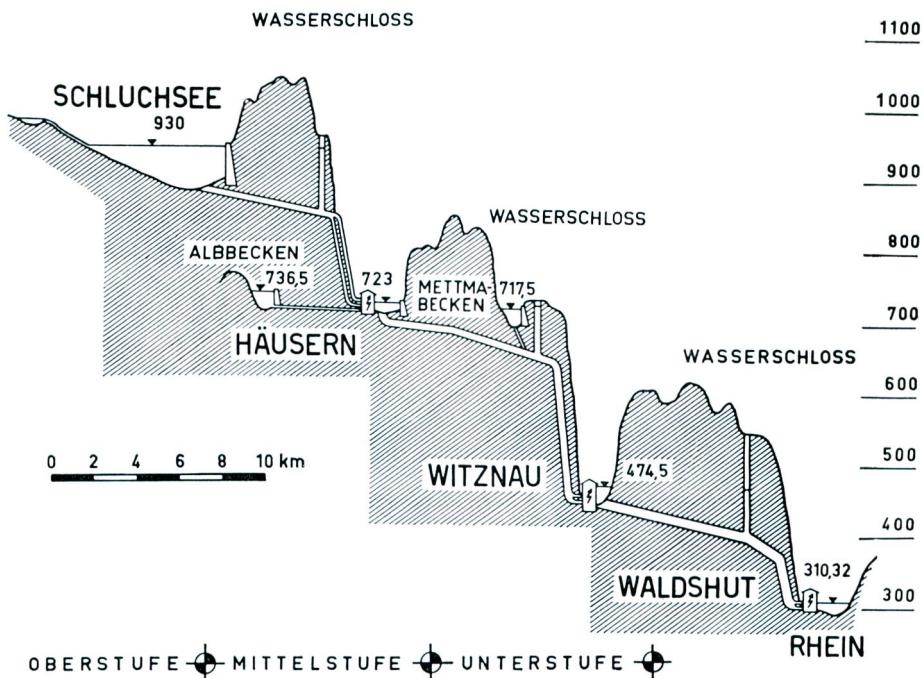


Bild 2  
Schematischer Längsschnitt  
der Schluchseegruppe



werke, die durch lange Stollen miteinander verbunden sind. Bei jedem Kraftwerk ist ein Tagesausgleichweiher angeordnet, beim Kraftwerk Waldshut ist dieses Ausgleichsbecken auf den Stau des Rheinkraftwerkes Albbrück-Dogern aufgesetzt worden. Da der natürliche Zufluss zum Schluchsee im Mitteljahr nur rund  $90 \times 10^6 \text{ m}^3$  Wasser beträgt, wird zu seiner Füllung von dem rund  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  grossen Zufluss der tiefer liegenden Einzugsgebiete sowie Rheinwasser von Waldshut hochgepumpt. Die beiden sich ergänzenden hydraulischen Systeme sind die ideale Voraussetzung hiefür.

Das Bild 3 zeigt das Kraftwerk Häusern, die Oberstufe der Schluchseegruppe. Der Zulaufdruck der Pumpen verlangt in dem engen Tal der Schwarza senkrechte Maschinenwellen.

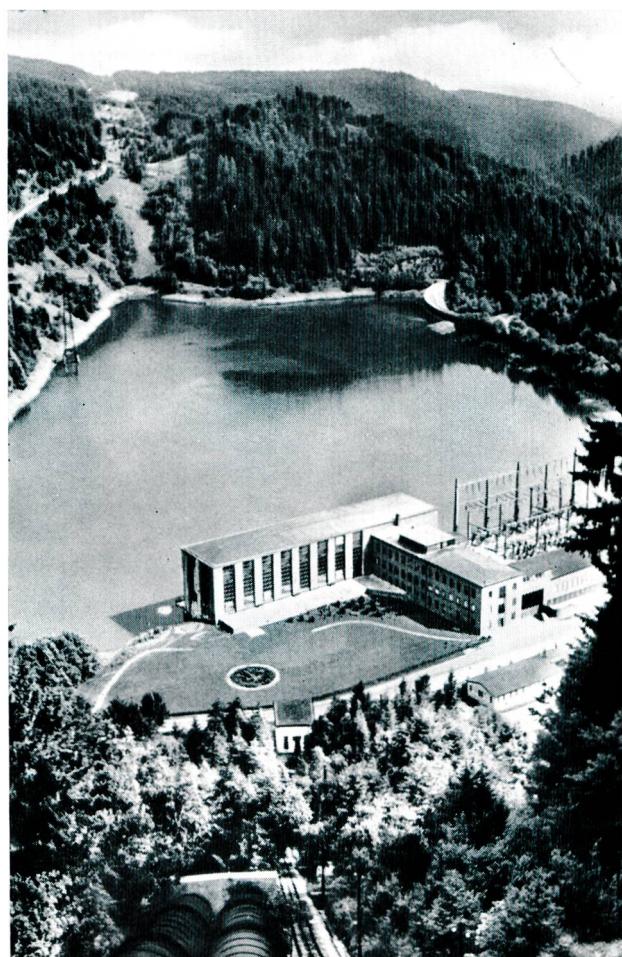
Das Bild 4 zeigt im engen Schwarzatal die Mittelstufe Witznau. Es war hier so wenig Platz zur Verfügung, dass das Krafthaus reitend auf der Sperre erstellt wurde (Bild 5). Die dabei aufgetretenen Schwingungsprobleme konnten in wenigen Jahren durch geeignete Anbringung von Luftkesseln beherrscht werden.

Das Bild 6 zeigt das Krafthaus Waldshut am Rhein, also die Unterstufe der Schluchseegruppe. Mangels Platz im Hochrheintal wurde hier der Tagesspeicher mit einem Inhalt von 1 Million  $\text{m}^3$  Wasser auf den Stauraum des Rheinkraftwerkes Albbrück-Dogern (Bild 7) mit einer maximalen Scheibenheight am Wehr von 50 cm aufgesetzt. Bei der geringen Spiegelbewegung von maximal 50 cm konnten horizontale Maschinenachsen verwendet werden. Ein Blick ins Krafthaus Waldshut (Bild 8) zeigt die vier nebeneinanderliegenden Maschinenaggregate.

Seit 1953 wird die Bewirtschaftung des «Höher-Stauraumes» im Rhein betrieben, die erste enge Verbindung zwischen Hochdruck- und Niederdruckanlagen. Die Mitbenutzung des Rheinstauraumes für die unmittelbare Benutzung der Schluchseewerkanlagen zeigt interessante Probleme, die das Abflussbild des Rheines, die Schiffahrt und die Hochrheinkraftwerke berühren. Nach rund 15jährigem Zusammenarbeiten von Schluchseewerk und Rheinkraft-

werk Albbrück-Dogern sind wirkliche Erfahrungen erarbeitet worden, welche die Grundlage für eine weitere Bewirtschaftung von Rheinstauräumen bei der Hotzenwaldgruppe bilden.

Bild 3 Oberstufe Häusern der Schluchseegruppe; Krafthaus mit Tagesausgleichweiher



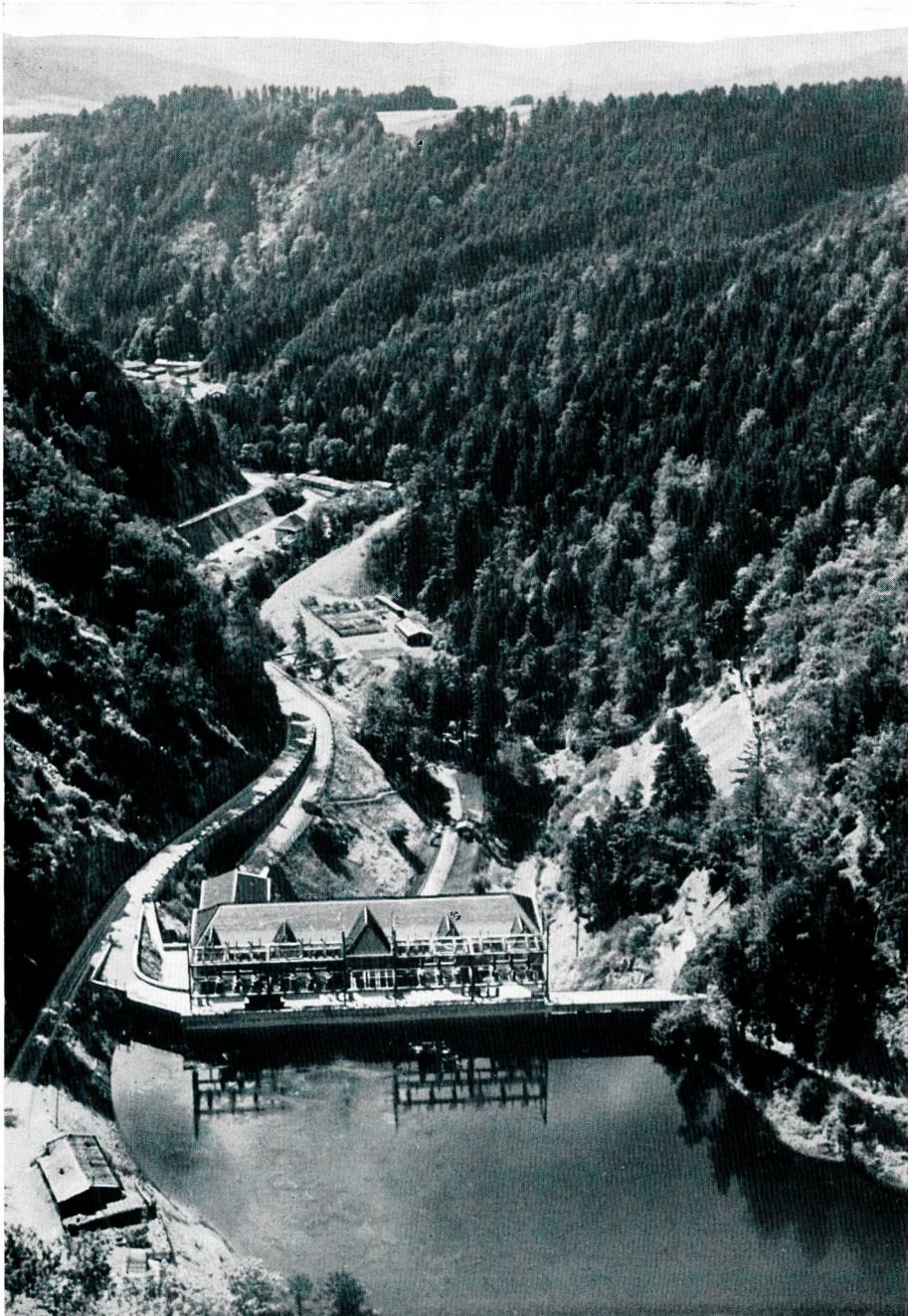


Bild 4  
Mittelstufe Witznau der  
Schluchseegruppe; Krafthaus  
auf der Sperrre reitend im  
Schwarzatal

## Hotzenwaldgruppe

### UNTERSTUFE SÄCKINGEN

#### 1. Planung

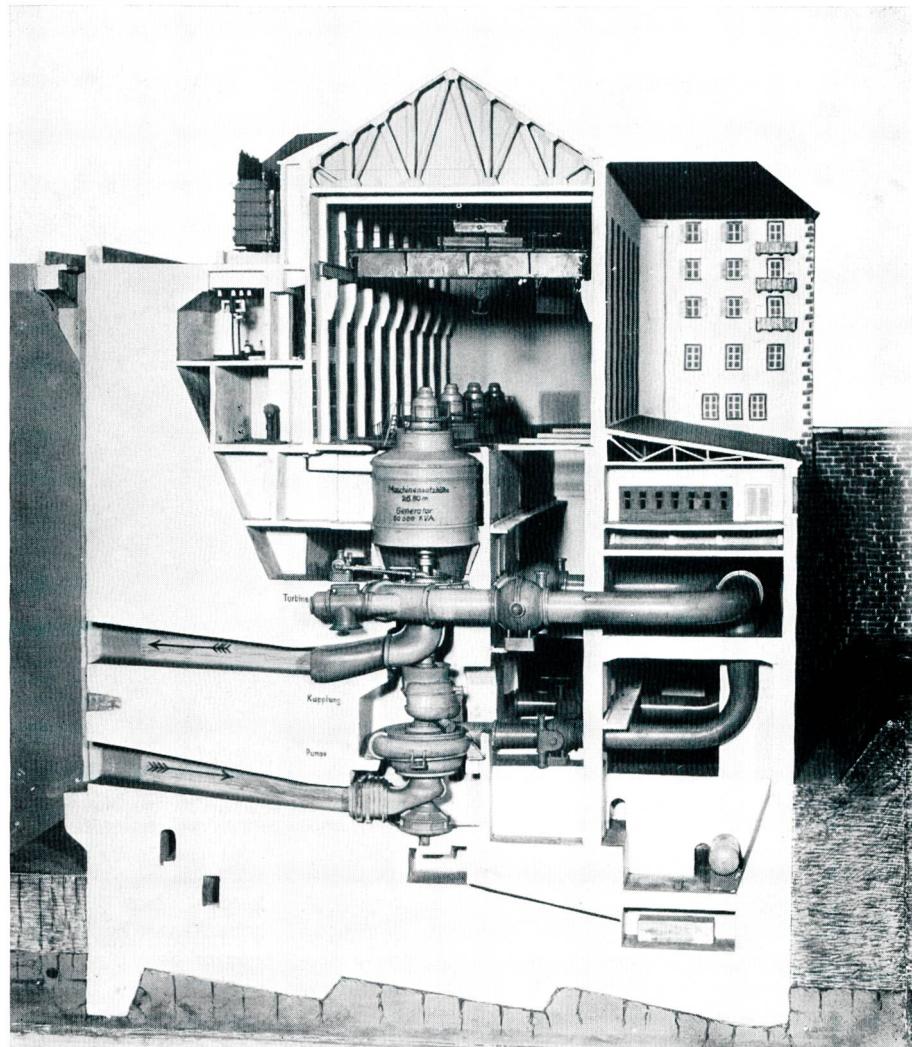
Die Schluchseewerk AG hat 1953 die letzte Stufe der Schluchseegruppe, das Kraftwerk Waldshut, in Betrieb genommen. Damit wurde der Anschluss an den Rhein hergestellt, und die in den drei Kraftwerkstufen Häusern, Witznau und Waldshut installierte Leistung von 470 MW stand dem Verbundnetz zur Verfügung. Von Anfang an waren noch Beileitungen zur Schluchseegruppe von Osten und Westen her geplant. Des schnell steigenden Energiebedarfes wegen wurde jedoch die westliche Beileitung nicht in der ursprünglich konzipierten Form einer Wasserbeileitung zur Schluchseegruppe weiterverfolgt, sondern es begannen 1949 intensive Planungen einer zweiten Gruppe von Pumpspeicherwerken mit Jahresspeicher im Hotzenwaldgebiet.

Die einmaligen natürlichen Voraussetzungen für den Bau von Wasserkraftanlagen in der südlichen Abdachung des Schwarzwaldes zum Hochrhein zu waren wiederum die Grundlage für die neuen Kraftwerke, zusammen mit neu gewonnenen Erkenntnissen über die Gesamtkonzeption. Nach nahezu zehnjährigen Studien wurden die Konzessionen für die folgenden drei Kraftwerkstufen des Hotzenwaldwerkes erteilt.

Der Übersichtslageplan (Bild 9) und der Längenschnitt (Bild 10) zeigen:

1. Oberstufe Strittmatt zwischen dem Jahresspeicher Lindau (Inhalt 60 Millionen m<sup>3</sup>) und dem Ibach- bzw. Eggbergbecken;
2. Unterstufe Säckingen zwischen dem Eggbergbecken (Inhalt 2 Millionen m<sup>3</sup>) und dem Rhein bei Säckingen;
3. Hornbergstufe zwischen dem Hornberg und dem Wehra-becken (Inhalt 4 Millionen m<sup>3</sup>) oberhalb Wehr.

Bild 5  
Modell mit Schnitt durch das Kraftwerk Witznau der Schluchseegruppe



Alle drei Werke zusammen sind mit einer installierten Leistung von über 1700 MW vorgesehen. Während beim Schluchseewerk die Fallhöhe von rund 620 m zwischen den Schwarzwaldhöhen und dem Rhein bei Waldshut in drei Stufen genutzt wird, gestatten beim Hotzenwaldwerk Geländeform und Fortschritt im Turbinenbau und in der Felsmechanik eine Nutzung in zwei Stufen zwischen dem Speicher Lindau und dem Rhein bei Säckingen. Ober- und Unterstufe sind wie bei der Schluchseewerkgruppe Kraftwerke mit täglicher und saisoneller Pumpspeicherung, Jahresspeicher und natürlichem Zufluss (rund 25 % im Endausbau). Unabhängig von der Ober- und Unterstufe steht im Hotzenwald nochmals für das Mittelgebirge eine aussergewöhnliche Fallhöhe von 630 m zwischen Hornberg und Wehratal zur Verfügung, die in einer Stufe genutzt wird. Dabei handelt es sich um ein reines Pumpspeicherwerk mit täglicher Pumpspeicherung ohne natürlichen Zufluss. Es besteht jedoch die Möglichkeit, hoch gepumptes Wehra-Hochwasser zum Jahresspeicher Lindau überzuleiten. Die installierte Leistung der Hornbergstufe allein ist mit 960 MW geplant. Die Maschinenzentralen aller drei Hotzenwaldwerkstufen sind in Felskavernen vorgesehen, die aus Gneis oder Granit ausgebrochen werden. Durch diese Anordnung ist es möglich, den für die Pumpen notwendigen Zulaufdruck, der in den einzelnen Werken zwischen 30 und 65 m WS schwankt, verhältnismässig einfach zu gewinnen; zum anderen können die Wünsche des Landschafts- und Objektschutzes leichter erfüllt werden. Wenn dann bei dieser Anordnung mit der Maschinenzentrale

noch möglichst weit in den Berg hinein Richtung Oberwasserbecken gerückt werden kann, so können auch die hochbeanspruchten Stollenstücke zwischen oberer Wasserhaltung und den Maschinen so kurz wie möglich gehalten werden.

Die Ausbaugrößen der einzelnen Kraftwerke werden den Netzbedürfnissen und Forderungen der Partner angepasst. Dabei zeigt sich neben dem Trend zu grösseren Maschinen auch der Wunsch, die Pumpzeiten zu verkürzen und damit die Grösse der Turbinenwassermenge und der Pumpwassermenge immer mehr einander anzugeleichen. Eine Vergrösserung der Ober- und Unterwasserhaltungen auf ein wirtschaftlich vertretbares Mass wird außerdem wertvolle Reserven für den Tagesbetrieb und den Momentaneinsatz bereitstellen.

Noch kurz ein paar Worte zum Zusammenspiel zwischen Hochdruckanlagen und Niederdruckanlagen im Hochrhein: Da wie in Waldshut auch in Säckingen kein Platz für ein unteres Ausgleichsbecken vorhanden war, wurde der notwendige Tagesspeicher der Unterstufe Säckingen der Hotzenwaldgruppe auf den Stauraum der benachbarten Niederdruckanlagen im Rhein mit einer Bewirtschaftungsamplitude von 40 bzw. 75 cm gesetzt. Es wurde eine ähnliche Bewirtschaftung vorgesehen wie zwischen der Unterstufe Waldshut der Schluchseegruppe und dem Rheinkraftwerk Albruck-Dogern.

Das hydraulische Zusammenspiel macht besondere Einrichtungen baulicher, hydraulischer, messtechnischer und fernmeldetechnischer Art erforderlich. Die gut funktionie-

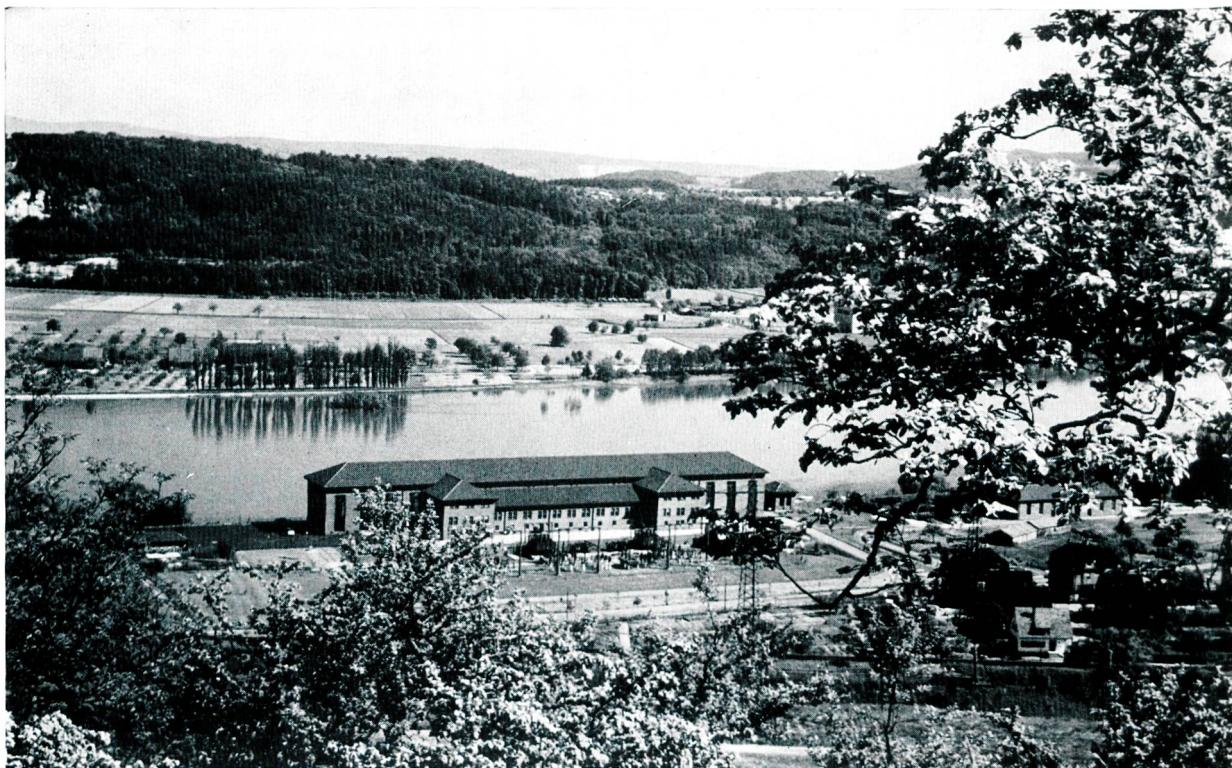


Bild 6 Unterstufe Waldshut der Schluchseegruppe; Krafthaus und Freiluftanlage im Rheinstauraum des Kraftwerks Albbrück-Dogern

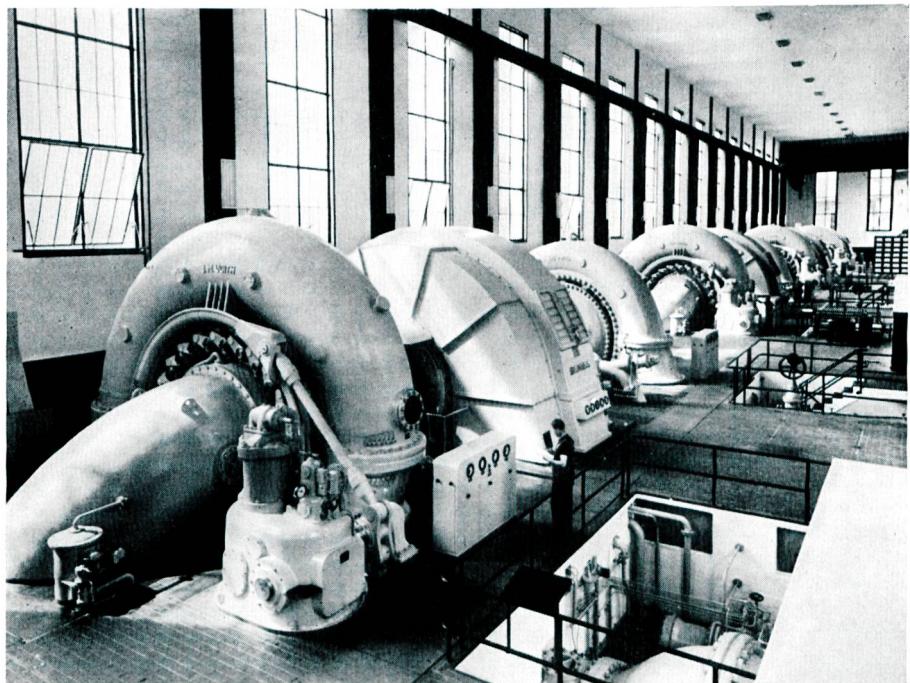
rende Bewirtschaftungsweise zwischen Waldshut und Rheinkraftwerk Albbrück-Dogern hat den Entschluss begründigt, dass der Unterwasserspeicher der Unterstufe Säckingen auf den Stau des Hochrhein-Kraftwerkes Säckingen aufgesetzt wurde, und zwar wegen der Kürze des Stauraumes mit einer Amplitude von 75 cm, von  $-30$  cm bis  $+45$  cm des ursprünglich verliehenen Stauzieles. Da der Inhalt dieses zusätzlichen Stauraumes jedoch nur 1 Million  $m^3$  beträgt und der tägliche Bedarf an Pendelpumpwasser bei 1,9 Millionen  $m^3$  liegt, wurde der unterstrom benachbarte Rheinstauraum des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt noch als Unterwasserbecken dazugenommen. Dies ist deshalb besonders interessant, da zwischen ihm und dem Kavernen-

kraftwerk Säckingen keine direkte hydraulische Verbindung besteht. Wenn das im Stauraum Ryburg-Schwörstadt befindliche Wasser hochgepumpt werden soll, dann wird das Pumpwasser dem Stauraum Säckingen entnommen und gleichzeitig aus dem Stauraum des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt aufgestautes Wasser der fliessenden Welle zugegeben, so dass im Unterwasser des Kraftwerks Ryburg-Schwörstadt wieder der vorgeschriebene Abfluss herrscht. Das Fassungsvermögen der beiden Rheinstauräume Säckingen und Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt zusammen beträgt 1,9 Millionen  $m^3$ . Diese Wassermenge entspricht einem Vollast-Turbinenbetrieb des Kraftwerkes Säckingen von fünfeinhalb Stunden und einem Pumpbetrieb von achteinhalb Stunden.



Bild 7  
Rheinkraftwerk Albbrück-Dogern; einziges Kanalkraftwerk am Hochrhein

Bild 8  
Maschinenhalle des Kraftwerks  
Waldshut der Schluchsee-  
gruppe mit vier liegenden  
Maschinensätzen



Die Bewirtschaftung im Stauraum des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt wurde mit 40 cm Höhe festgelegt. Die Konzession für den Höherstau kann nur dasjenige Flusskraftwerk einreichen, in dessen Stauraum und mit dessen technischen Einrichtungen die Höherstaubewirtschaftung durchgeführt wird, obwohl der Veranlasser des Höherstaubekenns und seiner Bewirtschaftung das Hochdruckwerk ist. Es wird dabei vorausgesetzt und erwartet, dass alle an einem derartigen Vorgang beteiligten Energieversorgungsunternehmen heute im Zeichen einer umfassenden Verbundwirtschaft, die auch über die Ländergrenzen hinweggeht, soviel Verständnis aufbringen, um derartige Massnahmen in ihrem Stauraum zu gestatten und die erforderlichen Konzessionsanträge zu stellen, auch wenn es sich um einen Grenzfluss wie den Hochrhein handelt. Der Veranlasser und Urheber wird in jedem Falle für alle eventuellen Schäden und Minderungen aufkommen, das heißt es liegt in der Zusammenarbeit kein Risiko.

Im Jahre 1963 wurde mit dem Bau der Unterstufe Säckingen begonnen, nachdem schon in früheren Jahren verschiedene Vorarbeiten geleistet worden waren. Ende 1966 ging die erste Maschine in Betrieb, 1967 die restlichen drei.

## 2. Bauliche Gestaltung

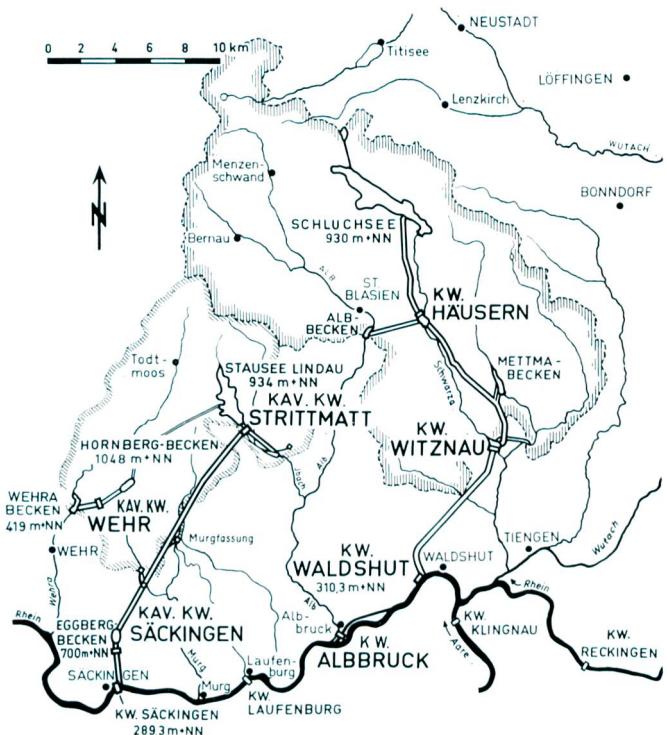
Bild 11 zeigt eine isometrische Darstellung der Unterstufe Säckingen. Ein senkrechter, 400 m hoher Druckschacht (3) verbindet das Eggbergbecken (2) auf dem kürzesten Wege mit den hydraulischen Maschinen. Unterhalb der Maschinenkaverne (6) ist eine unsymmetrische Unterwasserverteilung mit einem Wasserschloss zu erkennen, von dem ein 2000 m langer Unterwasserstollen (10) in den Stauraum des Rheinkraftwerkes Säckingen (11) führt. Ferner ist in Bild 11 noch ein rund 1500 m langer Zufahrtstollen (7) in die Kaverne und zum Fußpunkt des 400 m hohen Druckschachtes (3) erkennbar sowie ein Sondierstollen (8), den man bereits vor 1960 fertigstellte, um eine Entscheidung über die möglichen Abmessungen der Kaverne aus geologischer Sicht und damit über vertikale und horizontale Maschinenachsen zu erhalten. Heute dient er als Kabel-

und Belüftungsstollen. Außerdem ist in der Darstellung der 48° geneigte alte Kabelschrägschacht (4) zu erkennen und der 1970 erstellte neue Kabelschrägschacht mit 18° Neigung (5).

Als Oberbecken wurde das Eggbergbecken unter Ausnutzung der natürlichen Geländeformen durch Aushub aus dem Beckeninneren und Einbau der ausgehobenen Massen als Ringdamm gebildet (Bild 12). Versuche im Laboratorium und auf der Baustelle hatten die Eignung des anstehenden Buntsandsteines und verwitterten Gneises er-

Bild 9 Gesamtlageplan der Schluchsee- und Hotzenwaldgruppe

## — SCHLUCHSEE und — HOTZENWALD



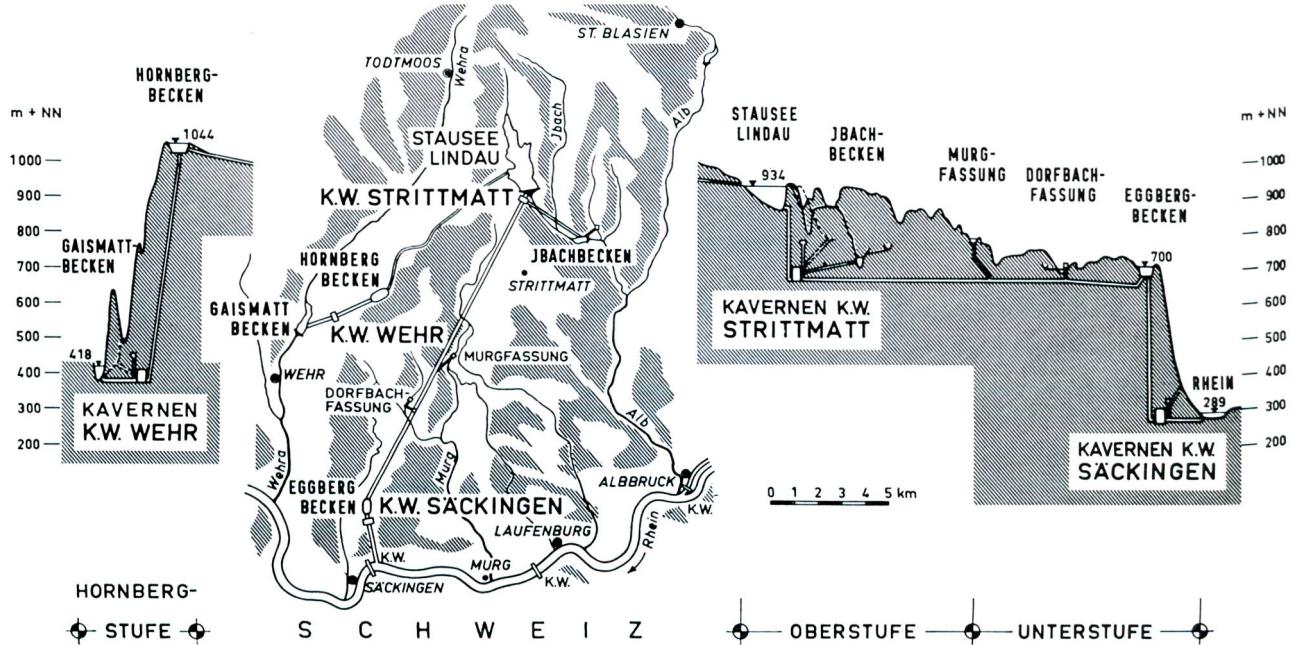


Bild 10 Hotzenwaldgruppe, Lageplan und Längsschnitte

wiesen. Beide Gesteine waren im Baubereich von erdiger Beschaffenheit und wiesen trotz ihrer verschiedenen Entstehung in der Erdgeschichte praktisch die gleichen bodenmechanischen Eigenschaften auf, so dass sie miteinander verarbeitet werden konnten. Im Hinblick auf die häufigen und raschen Wasserstandsänderungen wurde die Oberfläche des Beckens mit einem Asphaltbetonbelag gedichtet. Die wasserseitige Neigung von Damm- und Einschnittböschung wurde deshalb den Erfordernissen des Dichtungsbelages entsprechend mit 1:1,75 gewählt. Die luftseitige Böschung wurde 1:2 geneigt. Für die Ableitung von Leckwasser wurden in der Dammaufstandsfläche sowie unter dem Dichtungsbelag auf der Böschung und auf der Beckensohle Filterschichten aus kantenfestem Gesteinsmaterial eingebaut, die in eine begehbarer Dränage unter dem wasserseitigen Böschungsfuss Vorflut haben. Die Gefälle der Beckensohle wurden so gewählt, dass die beiden Betriebseinläufe Nord und Süd Hochpunkte bildeten. Damit waren zugleich die Schachtbaustellen während der Bauzeit bei Unwetter vor Wassereinbrüchen geschützt. Daneben schützt die grösste Wassertiefe entlang dem Böschungsfuss den Dichtungsbelag vor Beschädigungen durch abgleitende Eisschollen bei abgesenktem Wasserstand. Schliesslich kann abgelagerter Schlamm über die Restentleerung abgezogen werden und gelangt nicht in die Verteilrohrleitung und den Unterwasserstollen. Der Dichtungsbelag aus Asphaltbeton wurde auf der Beckensohle in einer und auf der Böschung in zwei Schichten mit Fertigern aufgebracht. Die Stossfugen wurden nachträglich nochmals erwärmt und mechanisch verdichtet. Durch den rund 13 ha grossen Dichtungsbelag sickern insgesamt weniger als 1 l/s. Mittels Setzungs- und Zerrungspiegeln in zwei Messquerschnitten im Bereich der grössten Dammhöhe wurden die Formänderungen des Dammes bereits während der Schüttung, vor und während der ersten Beckenfüllung und später während des normalen Betriebes gemessen. Die beobachteten Werte liegen unter den rechnerisch zu erwartenden und bestätigen, dass die Dammschüttung im geforderten Mass verdichtet wurde.

Bei Hochdruckwasserkraftanlagen erfordert gewöhnlich die oberwasserseitige Triebwasserzuleitung die längste

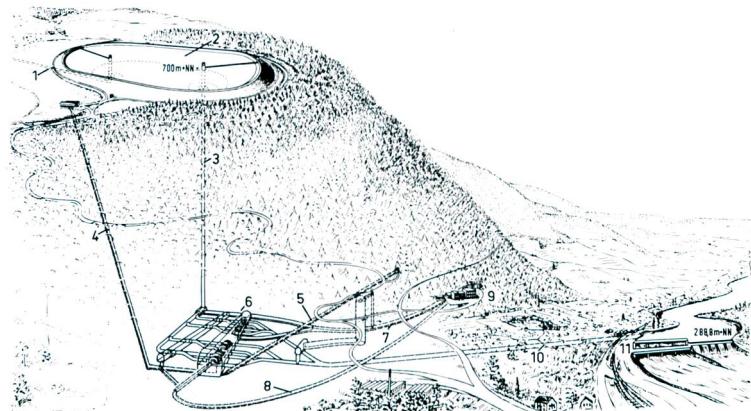
Bauzeit. Auch beim Bau des rund 400 m tiefen senkrechten Druckschachtes Süd musste man alle Möglichkeiten nutzen, um die Bauzeit zu verkürzen, da von ihr die Inbetriebnahme des Werkes wesentlich abhing. So wurde gleichzeitig von einem Voreinschnitt im Bereich des Eggbergbeckens das Abteufen der gesamten Schachtscheibe sowie das Auffahren eines Richtschachtes aus dem Kavernenraum senkrecht nach oben begonnen. Die beiden Vortriebe trafen sich etwa auf halber Teufe bzw. Höhe. Für den restlichen Vollausbruch wurde der Richtschacht als Schutterloch benutzt. Die Stahlpanzerung wurde neben dem Schachtmund aus Halbschalen zu Ringen und vier Ringe zu einem «Schuss» zusammengeschweisst. Diese Rohrschüsse wurden in klimatisierten Kammern auf der Innenseite metallisch blank entrostet und mit Schutzanstrichen versehen, so dass an der eingebauten Schachtpanzierung lediglich noch im Bereich der Vorortnaht der Korrosionsschutz nachgebessert werden musste. Nachdem als erstes die Fusskrümmer-Schüsse eingebaut und satt gegen das Gebirge einbetoniert waren, wurde jeweils der nächste Rohrschuss aufgesetzt und anschliessend der Ringspalt zum Gebirge hinterbetoniert. Um die leere Schachtpanzierung nicht auf den vollen Gebirgsdruck bemessen zu müssen, ordnete man im Abstand von 40 Höhenmetern Dränagen an, die den Spalt zwischen Panzerung und Beton entwässern können. Diese Dränagen sind während des Kraftwerkbetriebes geschlossen und werden erst vor einer Entleerung des Druckschachtes geöffnet, sie werden jedoch vierteljährlich gespült, um Ablagerungen zu vermeiden. Bei der Bemessung der Panzerung gegen den Innendruck wurde dem Gebirge ein wesentlicher Kraftanteil zugewiesen.

Im Anschluss an den Fusskrümmer durchquert die Druckleitung freiliegend die später verschlossene Montagekammer, von der aus die geschweiste Verteilrohrleitung vorgestreckt wurde. Die Verteilrohrleitung selbst ist genau wie die Druckschachtpanzierung satt gegen das Gebirge einbetoniert.

Die unterirdischen Einrichtungen im Bereich der Kaverne zeigt Bild 13. Die Richtung der Maschinenkavernenlängsachse wurde durch die Klüfte bestimmt, die im Sondierstollen und mittels Kernbohrungen vom Sondier-

Bild 11 Schaubild der Unterstufe des Hotzenwaldwerks mit Kavernenzentrale Säckingen

1. Stollen zur Beleitung der natürlichen Zuflüsse: Querschnitt 7 m<sup>2</sup>, Länge 6750 m
2. Eggbergbecken: Stauziel 700,00 m +NN
3. Druckschacht Süd:  $\phi$  4,30 m, Tiefe 400 m
4. Kabelschrägschacht: Neigung 48°, Querschnitt 14 m<sup>2</sup>, Länge 600 m. Für Eigenbedarf-, Schutz- und Fernsprechkabel
5. Kabelstollen: Neigung 18°, Querschnitt 8 m<sup>2</sup>, Länge zirka 700 m. Für 235-kV-Oelkabel
6. Kavernenkraftwerk Säckingen
7. Zufahrtsstollen, Querschnitt 30 m<sup>2</sup>, Länge 1600 m
8. Kabel- und Belüftungsstollen: Querschnitt 8 m<sup>2</sup>, Länge 1500 m
9. Betriebsgebäude bei den Stollenportalen
10. Unterwasserstollen:  $\phi$  5,60 m, Länge 2000 m
11. Rheinkraftwerk Säckingen: Stauziel 289,28 m +NN



stollen aus zuvor festgestellt worden waren. Für die Tiefenlage der Maschinenachsen unter dem Absenktiel des Rheinstauraumes Säckingen war der notwendige Zulaufdruck der Speicherpumpen ausschlaggebend. Die Kavernenbreite ergab sich durch den Abstand zwischen den Kugelschiebern, die sowohl die Turbinen als auch die Pumpen auf der Ober- und Unterwasserveite abschliessen. Die Höhe der Maschinenkaverne ist im wesentlichen durch das Profil der Brückenkrane bestimmt. Auf Grund der Forderungen, dass an der Kavernenlaibung die Druckspannungen stetig verlaufen und Zugspannungen nicht auftreten, erhielt der Kavernenquerschnitt eine Eiform um die grösste Breite und Höhe. Innerhalb der Maschinenkaverne konnten in besonderen Stahlbetonkammern auch die jedem Maschinensatz zugeordneten Leistungstransformatoren unmittelbar hinter den Synchronmaschinen untergebracht werden.

Der Ausbruch wurde vom Sondierstollen aus begonnen. Als erstes wurden die Kalotte ausgebrochen und die parallel zur Kavernenlängsachse verlaufenden Stahlbetonholme in den Kämpfern des Firstgewölbes mit vorgespannten Ankern verankert. Beim folgenden Strossenabbau wurden zunächst 2 m Fels vor der endgültigen Kavernenlaibung stehen gelassen, die nachträglich besonders schonend nachgenommen wurden. Die Durchdringung von Zufahrtstollen und Stichleitungen mit dem Kavernenraum wurden von den bereits vorhandenen kleineren Ausbruchräumen aus besonders mit Stahlankern gesichert. Die Kavernenlaibung wurde jeweils nach dem Ausbruch einer Strosse mit Spritzbeton gesichert, der mit Baustahlmatte bewehrt wurde. Felsanker von 3 bis 4 m Länge verbinden diese Stahlbetonschale durch die Auflockerungszone hindurch mit dem ungestörten Gebirge. Lediglich im Bereich einer steil einfallenden Störung im Nordostende der Maschinenkaverne wurde auf 20 m Länge ein tragendes Stahlbetongewölbe in der Kalotte zwischen den Holmen erforderlich. Die Stahlbetoneinbauten für die Maschinenfundamente und Betriebseinrichtungen wurden allseitig kraftschlüssig gegen das Gebirge betoniert. Die Fuge zwischen Beton und Gebirge wurde mit Vorflut zum Lenzkanal dränirt. Die Auskleidung des Kavernenraumes dient sowohl der Lärmdämmung als auch der Wetterführung und lässt die Lage tief im Berg nicht empfinden.

Für die aus Sicherheitsgründen ausserhalb der Maschinenkaverne angeordneten Drosselklappen, die für den Schnellschluss bei erhöhtem Durchfluss ausgelegt sind, wurde parallel zur Maschinenkaverne in 30 m Entfernung die Schieberkaverne mit gleichfalls eiförmigem Profil ausgebrochen. Die Drosselklappen liegen in Gruben unter der Fahrbahnebene eines Bockkranes, für die Montage der

Drosselklappen vorhanden. Die Laibung der Schieberkaverne ist in gleicher Weise wie die der Maschinenkaverne mit Spritzbeton, Baustahlgewebe und Felsankern gesichert.

Der Unterwasserstollen eines Pumpspeicherwerkes wird als Druckstollen betrieben. Als Querschnitt wurde ein Kreis, lichter Durchmesser 5,6 m, mit einer ebenen Sohle für die Befahrung und einer in der Mitte angeordneten Entwässerungsrinne gewählt. Im Längsschnitt weist der Unterwasserstollen einen Tiefpunkt mit Pumpensumpf nächst dem Rhein sowie einen Hochpunkt nächst der Maschinenkaverne auf, so dass man die unterwasserseitigen Verteilleitungen entleeren kann, ohne den gesamten Stollen leeren zu müssen. Der Stollen wurde, bis auf eine kurze Strecke mit hohem Wasserandrang, im Vollausbruch vorgetrieben. Auf der 90 m langen Wasserstrecke wurde ein Sohlstollen zum Entspannen desandrängenden Bergwassers notwendig. Der Unterwasserstollen sowie die unterwasserseitigen Verteilleitungen wurden unter Verwendung von Stahlschalungen mit Beton ausgekleidet. Die Schwindfuge zwischen Beton und Gebirge sowie die aufgelockerte Zone rings um das Stollenrohr wurden nachträglich mit Zementmilch verpresst. Im Mündungsbauwerk im Rhein sind ein Rechen, Dammbalkenischen, eine Rollschütze und eine Messstrecke für Durchflussmessungen untergebracht.

Bild 12 Luftbild des Eggbergbeckens für die Unterstufe der Hotzenwaldgruppe



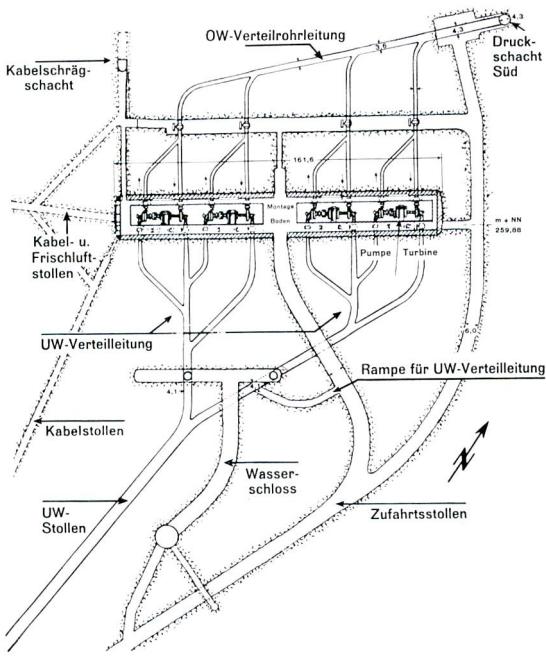


Bild 13 Grundriss der Kraftwerkskaverne Säckingen

### 3. Maschinelle Einrichtungen

Die Francis-Turbinen haben bei einer Drehzahl von 600 U/min eine Nennleistung von je 90 MW bei einer Netto-Fallhöhe von 400 m und einem Wasserstrom von 24,5 m<sup>3</sup>/s. Zwischen Turbinen und Generatoren sind Ueberholkupplungen angeordnet (Bild 14).

Die einflutigen zweistufigen Pumpen sind in der Anordnung «Rücken an Rücken» ausgeführt. Sie haben eine

Bild 14 Innenansicht des Kavernenkraftwerks Säckingen



Nennleistung von rund 70 MW bei einer Förderhöhe von 408 m und einem Förderstrom von 16 m<sup>3</sup>/s. Pumpen und Generatoren sind durch Synchronisierwandler mit eingebauten Zahnschaltkupplungen verbunden.

Sowohl die Turbinen als auch die Pumpen sind also abkuppelbar und bleiben ständig gefüllt; Ausblasen und Entleeren entfallen. Es ist jederzeit möglich, eine der hydraulischen Maschinen ausser Betrieb zu nehmen, ohne den ganzen Maschinensatz stilllegen zu müssen. Wenn der Pumpenbetrieb auf die Nacht und der Turbinenbetrieb auf den Tag beschränkt werden, können kleinere Revisionsarbeiten an einer der hydraulischen Maschinen ohne Betriebseinschränkung vorgenommen werden.

Ein besonders hervorzuhebender Vorteil der gewählten Anordnungen sind die äusserst kurzen Uebergangszeiten zwischen den verschiedenen Betriebsarten. Nach Inbetriebnahme der automatischen Steuerung ergaben sich folgende Zeiten, die jeweils vom Zeitpunkt der Betätigung des entsprechenden Druckknopfes aus gerechnet sind:

Stillstand → Generatorbetrieb, einschliesslich Synchronisieren	rund 50 Sekunden
Phasenschieberbetrieb → Generatorbetrieb	rund 30 Sekunden
Generatorbetrieb, Nullast → Pumpenbetrieb, volle Förderung	rund 30 Sekunden
Pumpenbetrieb → Generatorbetrieb	rund 45 Sekunden
Pumpenbetrieb → Phasenschieberbetrieb	rund 25 Sekunden
Phasenschieberbetrieb → Pumpenbetrieb, volle Förderung	rund 25 Sekunden

Diese Zeiten dürften bei den gegebenen Generatorschwungmassen (Anlaufzeit  $T_a = 7,5$  Sekunden) kaum mehr wesentlich zu unterschreiten sein.

Bedingt durch die Ueberholkupplung ist die Turbine mit zwei Lagern ausgeführt. Die Welle ist durch den Saugkrümmer durchgeführt.

Bemerkenswert ist die hydraulische Form des Saugkrümmers. Vor der Umlenkung wird die Strömung zunächst beschleunigt, erst danach tritt die Verzögerung ein. Die Saugkrümmerform bringt neben günstigem Betriebsverhalten bei Teil- und Ueberlast auch einen Wirkungsgrad-Gewinn.

Die Laufruhe der Turbinen ist trotz des verhältnismässig hohen Gegendruckes beachtlich gut.

Die Ueberholkupplungen, System SSS (Hersteller Renk), wurden für Wasserturbinen erstmalig in Säckingen verwendet. Mit ihrer Hilfe können die Turbinen bei beliebiger Generatorzahl angekuppelt werden. Das Kuppeln erfolgt selbstdäig in dem Augenblick, in dem die Turbine den Generator gerade überholen will. Umgekehrt kuppelt die Ueberholkupplung selbstdäig aus, wenn das Turbinendrehmoment negativ wird und gleichzeitig der Sperröldruck abgesteuert wird, der ein unbeabsichtigtes Ausrücken der Kupplung verhindern soll. Die Pumpen in der Anordnung «Rücken an Rücken» wurden in Deutschland erstmalig für das Pumpwerk Sipplingen (Bodensee) mit relativ kleiner Leistung ausgeführt. Die Laufräder sind mit den Böden zueinander auf der Welle befestigt und durch eine Drosselbüchse getrennt. Jedes Laufrad — der Aussen-durchmesser beträgt rund 2150 mm — hat einen Traversenring und eine Spirale. Die beiden Spiralen bilden zusammen mit den Traversenringen eine einteilige Schweißkonstruktion.

Das Wasser gelangt unter einem Zulaufdruck von rund 34 m WS durch den Unterwasserkugelschieber zum

Saugkrümmer der ersten Stufe. Nach der Spirale der ersten Stufe, deren Druckstutzen schräg nach unten gerichtet ist, wird der aus zwei rechtwinkligen, beschauften Umlenkecken bestehende Umlenker durchströmt, von dem das Wasser zum Zulaufkrümmer der zweiten Stufe gelangt. Der Stutzen der Hochdruckspirale liegt waagrecht unter dem Maschinenflur und schliesst an den Hochdruckkugelschieber an.

Bei der Anordnung sind die Achsschübe weitgehend ausgeglichen. Das Spurlager hat im wesentlichen nur den Achsschub des hydraulischen Wandlers aufzunehmen. Die Spaltverluste und die Verluste im Umlenker sind geringer als bei einer konventionellen zweistufigen Pumpe. Der Wirkungsgrad der Pumpe liegt also insgesamt höher als der einer konventionellen Pumpe.

Die Pumpen werden gefüllt mit Synchronisierwählern hochgefahren. Der nach dem Prinzip von Föttinger aufgebaute Wandler arbeitet im geschlossenen Kreislauf.

#### 4. Elektrische Ausrüstung

Bei der Projektierung der elektrischen Maschinen und Geräte konnte auf die Erfahrungen, die beim Betrieb der Kraftwerke der Schluchseegruppe gesammelt wurden, zurückgegriffen werden. Dazu gehören insbesondere das Verhalten des Maschinensatzes eines Pumpspeicherwerkes bei häufigem Betriebsartenwechsel und die Fahrweise mit der Leistungs-Frequenz-Regelung. Obwohl die Wirkungsgrade der elektrischen Maschinen günstiger liegen als diejenigen der Turbinen und Pumpen, wurde dennoch jeder Verlustanteil einer genauen Prüfung unterzogen.

Der Motor-Generator ist bezüglich Leistung und Drehzahl eine Grenzleistungsmaschine. Die Hauptdaten des Generators sind:

Nennleistung	118 MVA
Leistungsfaktor bei Generatorbetrieb	0,7
Nennleistung als Motor	70,7 MW
Nennspannung	15,75 kV
Spannungsregelbereich	± 5 %
Nenndrehzahl	600 U/min.

Das spezifische Leistungsgewicht ergibt sich zu 3,03 kg/kVA. Der Läufer hat ein Gewicht von 161 Mp, der Ständer von 142 Mp.

Der Transformator wurde als Wandertransformator gebaut, und, abgesehen von den 220-kV-Kabelendverschlüssen, in üblicher Freiluftausführung erstellt. Dem Modell entsprechend ergab sich die Leistungsaufnahme zu 125 MVA. Der Transformator (180 Mp) war ausschlaggebend für die Konstruktionsauslegung der beiden Krane in der Kaverne. Auf dem Montagepodium musste für diese Last eine Drehscheibe eingebaut werden. Der in sich abgeschlossene Transformatorraum ist fremdbelüftet und mit einer Sprinkleranlage ausgerüstet. Die zugeordnete Oelgrube ist flammruckschlagsicher.

Die Spannungsebene 220 kV erforderte, den Transformator mit Regelschalter auszurüsten. Eine besondere Steuerung sorgt dafür, dass die leicht zu regelnde Generatorenspannung innerhalb ihrer Grenze von rund 5 % ausgenutzt wird und der Regelschalter nur bei den nicht mehr erfassten Werten anspricht.

Die Maschinen werden durch Handbedienung an der jedem Maschinensatz zugeordneten Maschinensteuertafel oder über eine Programmatomik gesteuert. Abweichend von den bei den anderen Schluchseewerk-Anlagen ausgeführten konventionellen Maschinensteuerungen über Relais-

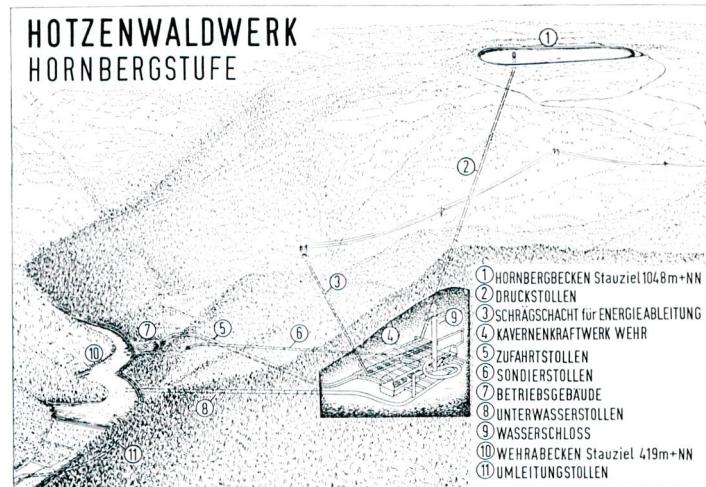


Bild 15 Schaubild der Hornbergstufe, Hotzenwaldwerk

kombinationen wurde eine Einrichtung mit elektronischen Bauteilen gewählt. Die elektronische Maschinensteuerung zeichnet sich durch Wartungsfreiheit und Verschleisslosigkeit aus. Es können ohne grosse Aufwendungen zusätzliche Programme zur Selbstüberwachung, Rückschübe und Signalisierung des Automatikablaufes ausgeführt werden.

Den Steuerebenen «Hand» bzw. «Automatik» sind viele Hilfseinrichtungen untergeordnet; davon seien einige aufgezählt:

Regelsystem für Generatorenspannung und Blindleistung, hydraulische und elektrische Schutzeinrichtungen, Unterautomatiken für die Eigenbedarfsumschaltung, Anfahrvorgänge der Turbine, Spannungsabgleich des Transformatorstufenschalters an den Generator, automatische Synchronisereinrichtung.

Um möglichst wenig Personal in der Kaverne zu lassen, wurden Wege gesucht, die Routineüberwachung von einer Datenverarbeitungsanlage ausführen zu lassen. Alle Kommandos von Hand, die Daten der Gefahrmeldeanlage, der Maschinenautomatik und die Meldungen der allgemeinen Hilfsbetriebe werden mit Uhrzeit und Zeitdifferenzerkennung von 1/10 Sekunden bei einer Auflöszeit der Störwerterfassung von 40 Mikrosekunden erfasst. Die Konzeption erlaubt, auf eine übliche Maschinenwart zu verzichten. Die Überwachung und Steuerung aller Maschinen der Schluchseewerk AG werden in der zentralen Lastverteilung Kühmoos zentral erfasst, verarbeitet und weitergeleitet.

#### HORNBERGSTUFE

Die Beschreibung der Hornbergstufe (Stand Sommer 1972) wird nur skizzenhaft angedeutet, da die Anlage zur Zeit im Bau ist. Es wäre vermessbar, anzunehmen, dass alle Bauten genau wie geplant ausgeführt werden, denn die natürlichen und geologischen Bedingungen und Voraussetzungen werden sicherlich auf die Detailgestaltung Einfluss nehmen und Anpassungen verlangen. Unter diesem Aspekt sind diese Ausführungen zu verstehen.

1969 begannen die Bauarbeiten für die leistungsstärkste Stufe der Hotzenwaldgruppe, die 960-MW-Hornbergstufe mit dem Kavernenkraftwerk Wehr; 1975 sollen die erste



Bild 16 Felsausbruch der Kalotte für das Kavernenkraftwerk Wehr

und zweite Maschine in Betrieb gehen. Der Entwurf der Hornbergstufe ist im Aufbau dem der Unterstufe des Pumpspeicherwerkes Säckingen ähnlich. Dies ist vor allem durch die Wahl von Francisturbinen mit liegender Welle bedingt, die im Kavernenkraftwerk so tief unter dem Absenziel des Unterbeckens angeordnet werden, dass den Speicherpumpen das Wasser mit ausreichendem Druck zuläuft (Bild 15).

Die Aufteilung der Kraftwerkleistung auf vier Maschinensätze ergibt Einheitsgrößen, die nach den heutigen Erfahrungen in ihren technischen Problemen noch überschaubar und für die auftragsgemäße Inbetriebnahme im Jahr 1975 zu verwirklichen sind.

Das Oberbecken wird durch Aushub auf der Kuppe des 1035 m hohen Lang-Ecks und Einbau der ausgehobenen Massen in einem Ringdamm hergestellt und mit Asphaltbeton an der Oberfläche gedichtet. Das Unterbecken entsteht durch eine 40 m hohe Talsperre im Wehratal. Die Ausbruchmassen aus den Stollen und Kavernen werden zu einem Damm geschüttet, der wasserseitig mit Asphaltbeton gedichtet wird. Druckstollen, die in beiden Richtungen durchströmt werden, verbinden das Kavernenkraftwerk mit dem Ober- und dem Unterbecken.

Die jeweils rund 4 Millionen m<sup>3</sup> fassenden Becken ermöglichen täglich 7½ Benutzungsstunden im Turbinenbetrieb. Die Speicherpumpen benötigen etwa 8 Stunden, um die 4 Millionen m<sup>3</sup> Betriebswasser wieder in das Oberbecken zurückzubefördern.

#### 1. Vorarbeiten

Zur geologischen Beurteilung wurde das Gebirge um die Maschinenkaverne durch Sondierstollen und Kernbohrungen erkundet. Für die Bemessung der Kaverne und des

erforderlichen Ausbaues werden die felsmechanischen Kennwerte des Gebirges *in situ* und im Labor ermittelt. Durch Extensometer, die von einem Firststollen aus in kennzeichnenden Gebirgsbereichen angebracht werden, kann das Gebirgsverhalten bereits während des Ausbruches der Kaverne gemessen werden. Die Sicherheitsnachweise werden nach der Finit-Element-Methode berechnet. Die Sperrstelle und der Stauraum für das Unterbecken im Wehratal, das Wehrabecken, wurden zunächst geoelektrisch untersucht und dann abgebohrt. Abpressversuche erwiesen die Undurchlässigkeit des Stauraumes. Im Bereich des Oberbeckens, des Hornbergbeckens, lieferten ebenfalls Bohrungen und Sondierschächte die notwendigen Planungsunterlagen. Die bodenmechanischen Eigenschaften wurden in Laborversuchen und Grossversuchen an Ort und Stelle ermittelt.

Mit wesentlichen Beihilfen des Landes Baden-Württemberg wurde eine zentrale Wasserversorgungsanlage für die Gemeinde Hornberg gebaut, um einer Beeinträchtigung der Hausquellen durch den Stollenbau vorzubeugen, die schon früher in Trockenzeiten nicht mehr ausgereicht hatten. So wurden nördlich vom Kraftwerksbaugebiet neue Quellen gefasst, ein Pumpwerk und ein Hochbehälter errichtet und ein Leitungsnetz verlegt. Um die Versorgung der Textilindustrie in Wehr mit weichem Brauchwasser aus der Wehra nicht zu gefährden, wurden talaufwärts oberhalb des Stauraumendes eine Wasserfassung gebaut und eine 3 km lange Betonleitung mit 500 mm Durchmesser zu den Textilbetrieben verlegt.

Nach dem mit dem Landkreis Säckingen und der Straßenbauverwaltung des Landes aufgestellten Plan werden die Zufahrten für den schweren Verkehr zu den Kraftwerkbaustellen winterfest ausgebaut. Die Zufahrten für die voraussichtlich 360 Mp schweren Transformatoren und die

Maschinenteile mit aussergewöhnlichen Abmessungen und Gewichten wurden mit der Deutschen Bundesbahn vorbereitet.

Für die Unterbringung von jeweils 300 Arbeitern erschloss man in Wehr und in Hornberg das Gelände für zwei Wohnlager und stellte die notwendigen Versorgungseinrichtungen bereit.

Langjährige Beobachtungs- und Untersuchungsreihen über Menge und Güte des Grundwassers im Wehratal erbrachten die Bemessungsgrundlagen für die spätere Anreicherung des Grundwassers unterhalb der Wehrasperrre. Zur Sicherung der Baustromversorgung, von der unter anderem die Wasserhaltung auf den Untertagebaustellen abhängt, wurden bestehende 20-kV-Leitungen des öffentlichen Netzes zu einem Ring verbunden.

## 2. Baufortschritt

### 2.1 Kavernenkraftwerk Wehr

Der 1,2 km lange Zufahrtstollen mit ca. 40 m<sup>2</sup> Ausbruchfläche, der bergwärts 7% zur Maschinenkaverne fällt, wurde mit Hilfe eines vierarmigen hydraulischen Bohrwagens aufgefahren, Schieber- und Trafokaverne, Oberwasserverteilleitung sowie die Kalotte der Maschinenkaverne (Bild 16) sind ausgebrochen. Zur Zeit wird der Strossenabbau in der Maschinenkaverne durchgeführt. Durch den ehemaligen Sondierstollen, bereits 1961 erstellt, in dem später die Lenz- und Kühlwasserleitungen sowie Steuer- und Eigenbedarfskabel verlegt werden, wird auch Frischluft zur Klimaanlage geleitet. In der Maschinenkaverne sind vier Pumpspeichersätze mit liegender Welle 70 m unter dem Absenziel des Wehrabeckens — so hoch ist der erforderliche Pumpenzulaufdruck — vorgesehen. Die Synchronmaschinen werden wechselweise zur Stromerzeugung über eine Ueberholkupplung an einem Wellenende von einstufigen Francisturbinen angetrieben oder sie treiben beim Pumpbetrieb als Motoren die zweiflutigen zweistufigen Speicherpumpen an, die über einen hydraulischen Drehmomentenwandler angefahren werden. Diese Anordnung ermöglicht den Wechsel der Betriebsarten in kürzester Zeit bei optimalem Wirkungsgrad. Ober- und unterwasserseitig sind die Turbinen und Pumpen durch Kugelschieber

abzusperren. Die ober- und unterwasserseitige Verteilleitung sowie hochbeanspruchte Teile des Wasserschlusses erhalten eine Stahlpanzerung. Der 1,55 km lange Unterwasserstollen mit einem Durchmesser von 7 m kann durch eine Rollschütze im Auslaufbauwerk bei Strömung abgeschlossen werden. Das Auslaufbauwerk sowie 50 m des anschliessenden Stollens wurden bereits im Bau vorweggezogen, um die Schüttung für die neue Wehratalstrasse darüber aufbringen zu können. Vom Unterwasserstollen selbst sind ca. 400 m aufgefahren.

Je zwei Synchronmaschinen werden auf einen gemeinsamen Dreiphasentransformator geschaltet. Von den beiden Transformatoren führen 400-kV-Stromableitungen untertage zur Freileitung in die Schaltstation Kühmoos, wo von einer Warte alle vollautomatisierten Maschinen des Schluchsee- und des Hotzenwaldwerkes ferngesteuert und auf die europäischen Höchstspannungsnetze geschaltet werden. Diese Energieableitung 400 kV wird erstmals durch einen ca. 700 m langen Schrägstollen über SF<sub>6</sub>-Aluminiumschienen nach aussen bis zu den Hochspannungsmasten abgeleitet werden.

### 2.2 Hornbergbecken und Druckschacht

Der aus dem Oberbecken ausgehobene Gneis und Gneiszersatz, ca. 2,4 Mio m<sup>3</sup>, wird zu einem Ringdamm aufgeschüttet, der auf seiner Wasserseite ebenso wie die Beckensohle mit einem Asphaltbetonbelag gedichtet wird. Bild 17 zeigt den Bauzustand des Hornbergbeckens im Sommer 1971. In dem Einlaufturn ist eine Zylinderschütze montiert, die den rund 1400 m langen 32° geneigten gepanzerten Druckschacht, Durchmesser 5,50 m, verschließt. Die Schachtröhre wird zunächst mit einer Stollenbohrmaschine, Durchmesser 3,0 m, von unten nach oben gebohrt und mit demselben Antrieb von oben nach unten auf Durchmesser 6,40 m ausgeweitet. Die Schachtbohrmaschine, die das Bild 18 zeigt, steht auf ihrem Weg nach unten ca. 160 m vor Arbeitsende. Die Bohrmethode hat sich bewährt.

Die einbetonierte Schachtpanzierung ist durch Ringe gegen den Bergwasserdruck verstieft. Ein grosser Teil des Innendruckes, der am unteren Ende mit Druckstoss ca. 90 atü erreichen kann, wird vom Gebirge aufgenommen.

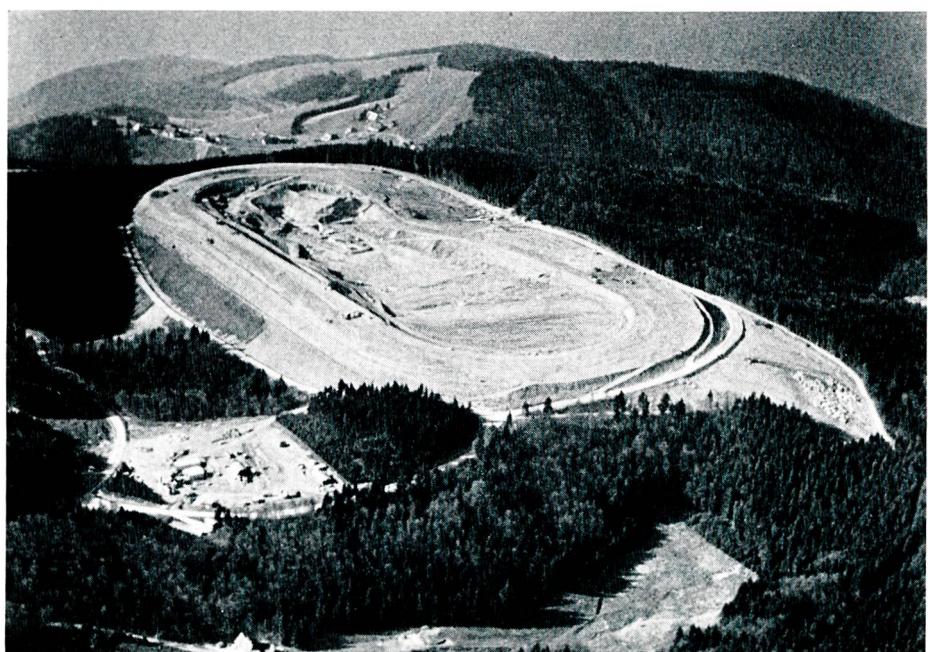


Bild 17  
Hornbergbecken, Bauzustand  
Frühjahr 1972

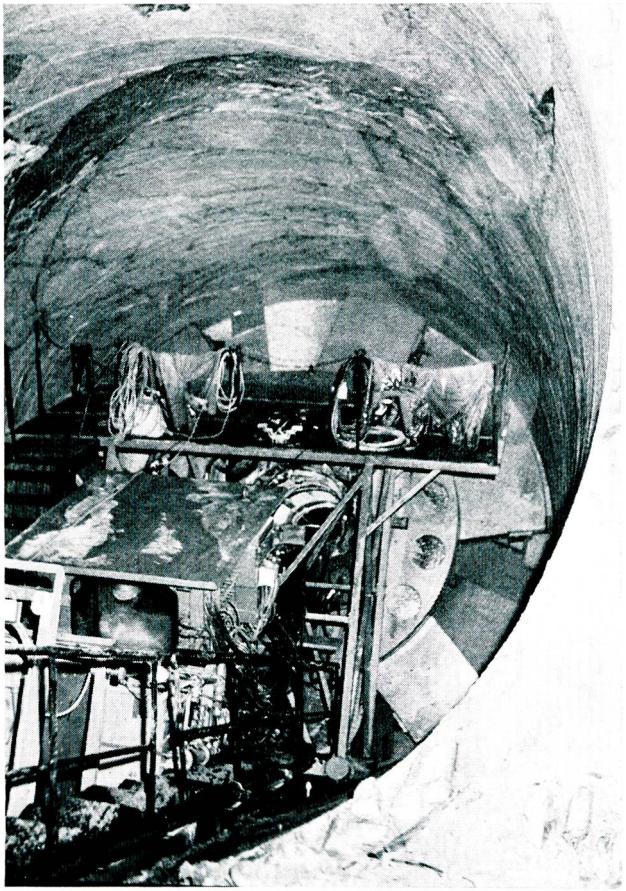


Bild 18 Stollenbohrmaschine, Durchmesser 6,40 m

Der Hauptstrang der gleichfalls einbetonierten Oberwasser-Verteilleitung verläuft waagrecht parallel zur Maschinenkaverne. Von ihm zweigen acht Stich-Leitungen, Durchmesser 2,5 m, zu den Turbinen und Pumpen ab.

### 2.3 Wehrabekken

Das felsige Ausbruchmaterial aus Stollen und Kaverne wird in der Talenge oberhalb der Stadt Wehr zu einem 40 m

hohen Damm aufgeschüttet und verdichtet. Diese Talsperre wird auf ihrer Wasserveite durch einen Asphaltbetonbelag gedichtet. Der Umleitungsstollen für die Wehra ist für ein grösstes angenommenes Hochwasser von  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  bemessen. Von den beiden Einlauföffnungen kann die obere durch eine Rechenreinigungsmaschine auch bei einem Katastrophenhochwasser von Geschwemmsel freigehalten werden. Vier Absperrorgane, davon zwei Kegelstrahlschieber NW 2800, sind so abgestuft, dass der jeweilige Zufluss auch bei verändertem Beckenstand gleichmässig abgegeben werden kann. Der Umleitungsstollen um die Sperrenbaustelle und dessen Einlauf- und Auslaufbauwerk wurden im Zuge der neuen Wehratalstrasse vorweg fertiggestellt, die Umleitung der Wehra wurde im Frühjahr 1972 durchgeführt.

Im Bereich des Wehrabeckens wird anstelle der schmalen und eng gewundenen Talstrasse eine neue Strasse mit dem Regelquerschnitt 10,5 m in gestreckter Linienführung gebaut. Für den neuen Strassenkörper wird vor die steilen Hänge eine Steinschüttung vorgebaut, die den täglichen raschen Wasserstandsänderungen im Wehrabecken auf Dauer schadlos widersteht. Enge Talwindungen werden mit Brücken überspannt. Ein schroffer Felsvorsprung wird mit einem 100 m langen Tunnel durchfahren. Die Strasse wurde im Sommer 1972 für den Verkehr freigegeben.

### 2.4 Betriebsgebäude

In dem bis über das Stauziel aufgefüllten Mühlegraben werden neben der Zufahrt zur Kaverne ein Betriebsgebäude und Wohnungen für Bereitschaftspersonal errichtet.

Der Baufortschritt und der Stand der Fertigung der maschinellen Einrichtungen lässt die planmässige Inbetriebnahme der Anlage im Frühjahr 1975 erwarten.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. E. h. E. Pfisterer  
Vorstandsmitglied der  
Schluchseewerk AG  
Rempartstr. 12–16  
D-7800 Freiburg i. B.

Bildernachweis:

Nrn. 1 bis 18 Schluchseewerk AG,  
Freiburg i. Br.

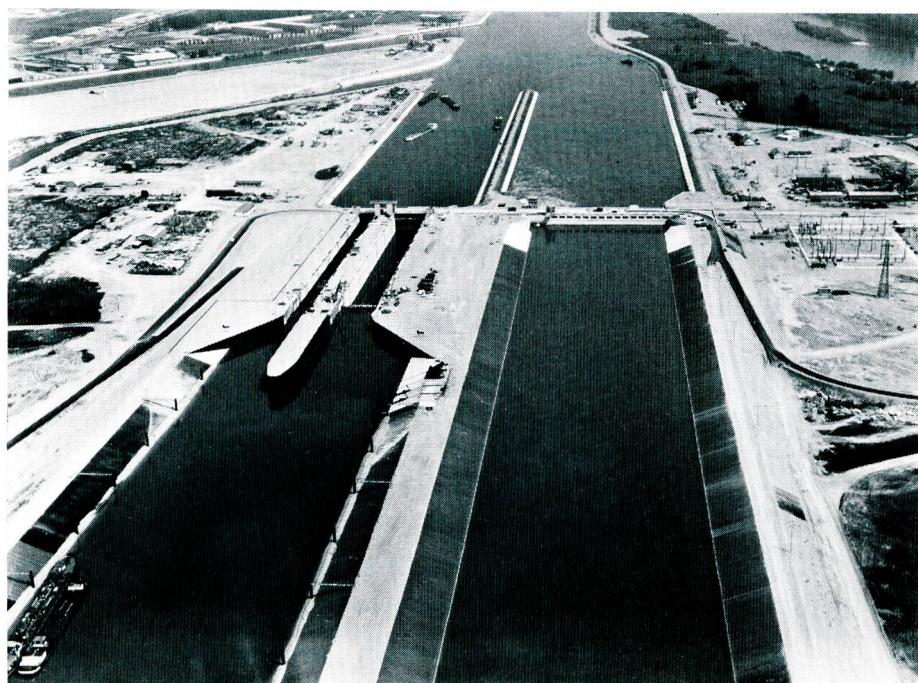


Figure 1  
Vue générale de l'usine hydro-électrique de Strasbourg sur le Rhin et des écluses de navigation