Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 90 (1998)
Heft: 7-8

Artikel: Erneuerung Kraftwerk Amsteg
Autor: Urech, Pierre-Alain / Fryberg, Stefan / Stöcklin, Jörg
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939401

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: 02.10.2025

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

1993–1998 ERNEUERUNG KRAFTWERK AMSTEG

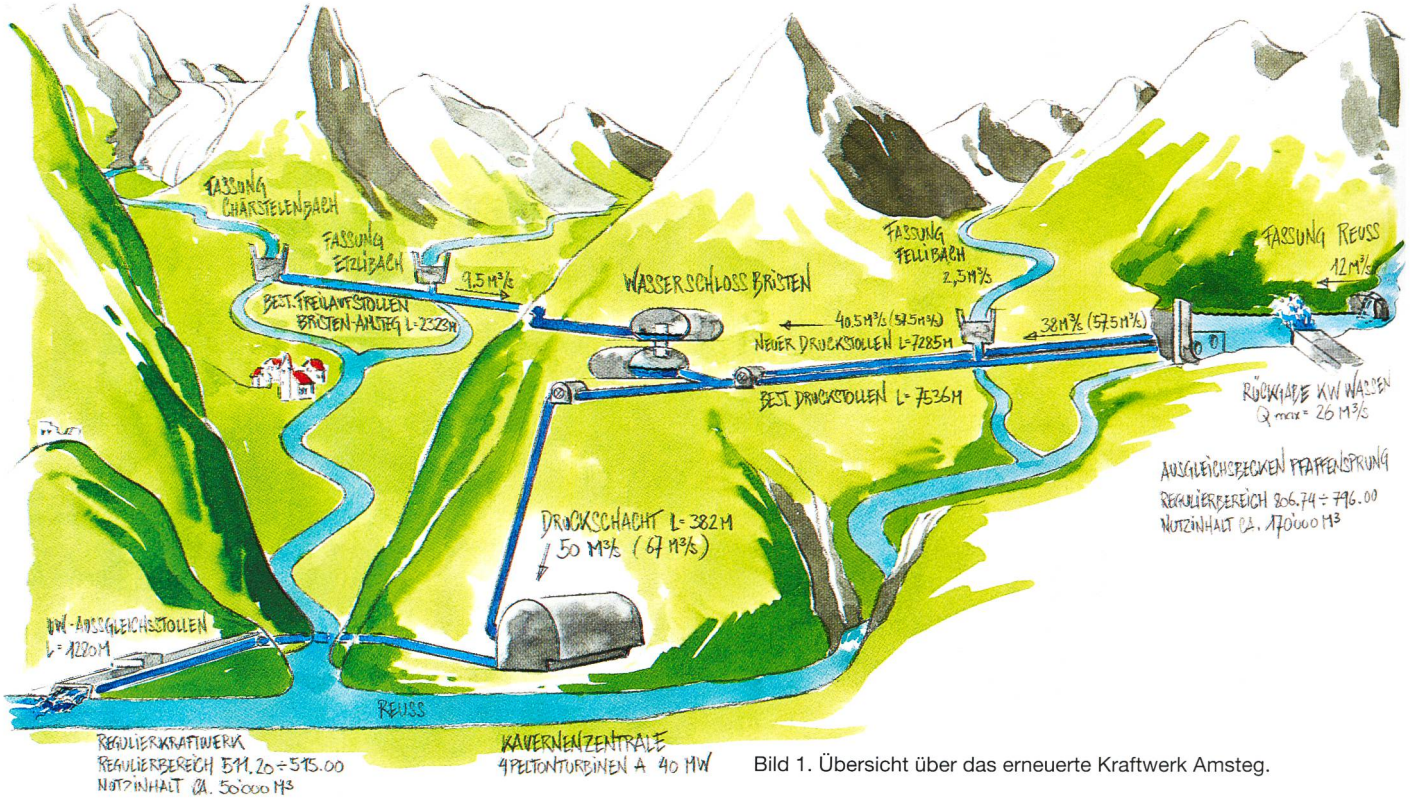


Bild 1. Übersicht über das erneuerte Kraftwerk Amsteg.

1993–1998
ERNEUERUNG
KRAFTWERK AMSTEG

Inhalt

	Seite
Pierre-Alain Urech: Vorwort	147
Stefan Fryberg: Zur Geschichte	148
Jörg Stöcklin und *Peter Püntener:* Entstehungsgeschichte des Kraftwerkes Neu-Amsteg	150
Werner Müller: Der Generalplaner	153
Andreas Dudàs: Bauliche Anlageteile einschliesslich Materialentsorgung	156
Hans-Rudolf Trösch und *Markus von Arx:* Elektromechanische Anlageteile	166
Ulrich Roth: Berücksichtigung der Umweltanliegen	170
Tobias Reinhard: Architektur und Gestaltung	174

Vorstehende Seite:
Kernabbau in der Kavernenzentrale Amsteg (Ausführung Herbst, Winter 1994) nach Verankerung der Kalotte und Fertigstellung des Gewölbebetons (Foto: *Rudolf Steiner,* Luzern).

Sonderdruck aus der Fachzeitschrift «Wasser, energie, luft – eau, énergie, air», 90. Jahrgang 1998, Ausgabe 7/8, Seiten145–176, aus Anlass des Einweihungsfestes des erneuerten Kraftwerkes Amsteg, Donnerstag, 17. September 1998.

1993–1998
ERNEUERUNG
KRAFTWERK AMSTEG

Vorwort

Pierre-Alain Urech

Das 1922 in Betrieb gesetzte Kraftwerk Amsteg war zu Beginn der SBB-Elektrifikation eine Pionieranlage und zugleich das erste «Gross-Kraftwerk» im Kanton Uri. Es hat seine grosse Bedeutung für das 16⅔-Hz-Bahnstromnetz bis in die Neuzeit behalten, auch wenn im Laufe der Zeit modernere und leistungsfähigere Kraft- und Umformerwerke in das Bahnstrom-Verbundnetz eingegliedert wurden, so unter anderen die Kraftwerke Göschenen und Wassen.

Die Erneuerung des Kraftwerks Amsteg wurde massgeblich beeinflusst durch die Studie «Untersuchung der Nutzung der urnerischen Gewässer» des Kantons Uri sowie die Zustimmung des Schweizervolkes 1987 zum Konzept «Bahn 2000». Für die Projektierung zeichnete die mit den Urner Wassernutzungsverhältnissen bestens vertraute Ingenieur-Unternehmung Bern (IUB) verantwortlich. Es war bald klar, dass die erforderliche Generatorleistung von 120 MV nur mit dem Neubau der Wasserführungsanlagen im Reusstal sowie mit einer neuen Zentrale erfüllbar war. Die installierte Generatorleistung (drei Bahnstrom-Maschinengruppen à 40 MV) wird erlauben, die regelmässig auftretenden Leistungsbedarfsspitzen der «Bahn 2000» mit dem Ausgleichsbecken Pfaffensprung optimal auszuregulieren. Das realisierte Anlagekonzept eignet sich aber auch ideal für die Kurzzeit-Ausregelung des verhältnismässig «unruhigen» Bahnstromnetzes. Zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Wasserrückgabe in die Reuss war zudem ein Unterwasser-Reservoirstollen mit einem Regulier-Kleinkraftwerk nötig.

Das neue Kraftwerk löste ein Investitionsvolumen von rund 460 Millionen Franken aus, mit einer jährlichen Energieproduktion von etwa 460 Millionen Kilowattstunden (früher rund 300 Mio kWh). Die Bedeutung der erneuerten Kraftwerkanlagen für die schweizerische Bahnstromversorgung wurde gesteigert durch die gleichzeitig eingerichtete neue Sektorleitstelle, welche sämtliche Bahnstromversorgungsanlagen entlang der Gotthardlinie von Basel bis Chiasso fernbedient.

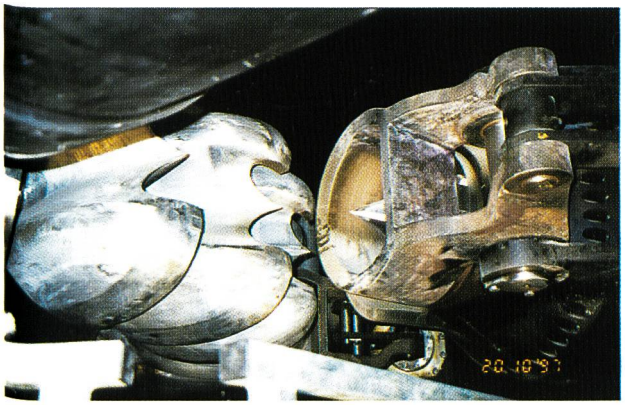


Bild 2. Montage des Turbinenrades in der Kavernenzentrale. Rechts Ablenker mit Düsen (Foto *P. Chirco* vom 20. Oktober 1997).

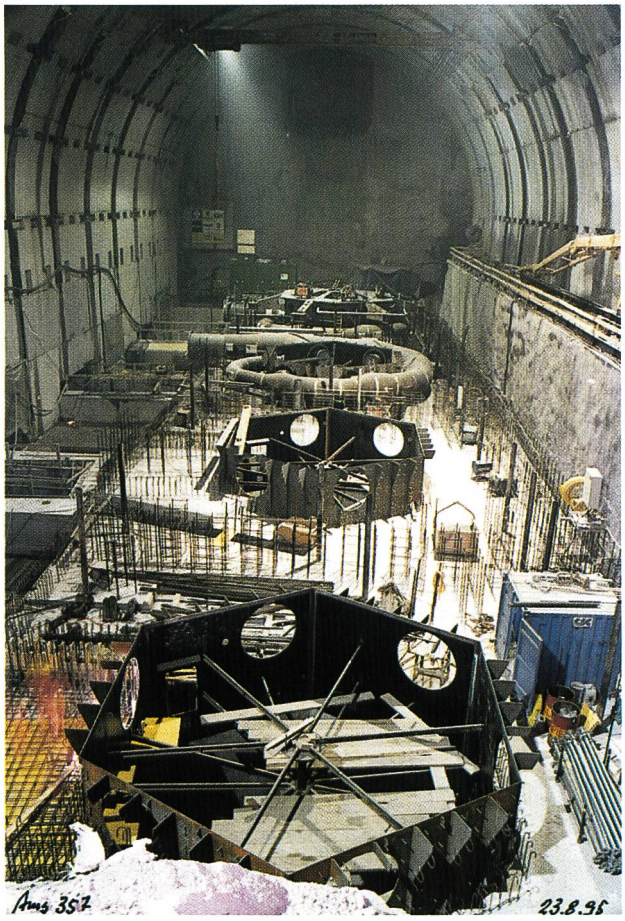


Bild 3. Die Kavernenzentrale Amsteg während des Baus. Bei der Maschinengruppe 1 (hinten) wird die Tragkonstruktion eingebaut. Bei der Gruppe 2 wurde die Ringleitung eingesetzt, und bei den Gruppen 3 und 4 erkennt man die Turbinenschachtpanzerungen (Foto *P. Mainardi* vom 23. August 1995).

Mit dem neuen Kraftwerk Amsteg haben die SBB ein neues Partnerschaftsmodell verwirklicht, indem sie mit dem konzedierenden Kanton eine privatwirtschaftlich organisierte Aktiengesellschaft zum Bau und Betrieb des neuen Kraftwerks gegründet haben. Wir dürfen heute mit Genugtuung feststellen, dass sich dieses Modell bestens bewährt. Der Bau brachte für die Urner Bauwirtschaft sehr starke Impulse. Die Vergebungen an einheimische Unternehmen betrugen über 150 Millionen Franken. Allen Beteiligten gebührt für ihren grossen Einsatz uneingeschränkter Dank!

Trotz dem gelungenen Werk drängen sich aus aktueller Sicht aber einige kritische Bemerkungen auf: Die europaweit eingeleitete Liberalisierung des Elektrizitätsmarktes und die gegenwärtigen Produktionsüberschüsse haben zu einem Preisverfall geführt, der Investitionen in kapitalintensive Wasserkraftwerke kaum mehr amortisieren lässt. Auch die heute gesetzlich zulässigen fiskalischen Belastungen der Wasserkraftwerk mindern ihre Konkurrenzfähigkeit auf dem Strommarkt wesentlich. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht dürfte das Kraftwerk Amsteg eines der letzten grösseren Wasserkraftwerke in unserem Land sein, die grundlegend erneuert werden.

Adresse des Verfassers: *Pierre-Alain Urech,* Generaldirektor SBB und Verwaltungsratspräsident Kraftwerk Amsteg AG, GD SBB, Departement Infrastruktur, Hochschulstrasse 6, CH-3030 Bern.

1993–1998
ERNEUERUNG
KRAFTWERK AMSTEG

Zur Geschichte

Stefan Fryberg

Zusammenfassung

Von 1918 bis 1922 wurde in Amsteg das damals grösste Wasserkraftwerk der Schweiz gebaut. Bauherr waren die SBB, die mit dem eigenen Kraftwerk elektrische Energie für die Gotthardbahn sicherstellen wollten.

Hinter dem Bahnhof von Flüelen steht seit 1947 etwas verloren ein Denkmal, das Oberingenieur *Emil Huber-Stockar,* den «Vorkämpfer und Schöpfer des elektrischen Betriebes der Schweizer Bahnen», ehrt. Mit zäher Energie plante und leitete Emil Huber-Stockar fast zwanzig Jahre lang die Elektrifizierung der Gotthardlinie. Und auch ihm verdankt zur Hauptsache Amsteg, dass auf seinem Grund und Boden von 1918 bis 1922 das bis heute wichtigste Wasserkraftwerk der SBB gebaut wurde.

Die Wasserrechtskonzession

1882 wurde nach zehnjähriger Bauzeit die Gotthardbahn in Betrieb genommen. Bereits wenige Jahre später tauchten schon die ersten konkreten Pläne auf, die Linie zu elektrifizieren. Anlass dazu war nicht nur der Wunsch, die Leistungsfähigkeit der Bahn, die den beständig wachsenden Personen- und Güterverkehr kaum mehr bewältigen konnte, massiv zu erhöhen. Ein wichtiger Grund waren auch die immer lauter werdenden Klagen des Zugpersonals über den stickigen Rauch und Qualm, die von den schweren Lokomotiven auf den grossen Steigungen und in den vielen Tunnels unaufhörlich ausgestossen wurden. Zwar schuf im 15 Kilometer langen Gotthardtunnel seit 1899 eine Ventilationsanlage, die von einer Dampflokomotive in Göschenen betrieben wurde, ein wenig Abhilfe gegen den ungesunden, russigen Qualm.

Schon 1905 nahm die Direktion der damals noch privaten Gotthardbahn mit der Urner Regierung Verhandlungen über die Wasserrechtskonzession der Reuss auf. Bereits zwei Jahre später war man sich einig: Am 23. Dezember 1907 erteilte der Urner Landrat der «Direktion der Gotthardbahn oder deren Rechtsnachfolgern die Konzession für die Ausnützung der Gesamtwasserkraft der Reuss von Andermatt bis Amsteg unter Mitverwertung der Wassermengen und Gefälle der Meienreuss, des Fellibaches und des Chärstelenbaches». Der Vertrag sah zudem ausdrücklich vor, dass an geeigneten Stellen im Reussgebiet Stauseen errichtet und Wasser aus dem Reussgebiet ins Tessin zum Ritomsee abgeleitet werden können.

Planungsarbeiten

1907 hatten die Schweizerischen Bundesbahnen eine besondere Direktion für den elektrischen Bahnbetrieb eingerichtet. Dieser von Emil Huber-Stockar geleitete Dienstzweig hatte die Aufgabe, die Frage der Elektrifizierung zu studieren sowie Projekte über die Nutzung geeigneter Wasserkraftwerke zu prüfen und die nötigen Wasserrechtskonzessionen zu erwerben.

Doch bis es zur Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen und dem Bau von Kraftwerken kam, sollten noch Jahre vergehen. Denn erst 1912 beschloss der Verwaltungsrat der SBB, als erste ihrer Strecken die 1909 verstaatlichte Gotthardlinie zwischen Erstfeld und Bellinzona zu elektrifizieren. Die Wahl fiel auf diesen tunnelreichen und steilen Abschnitt, weil hier von einem elektrischen Betrieb die grössten technischen und wirtschaftlichen Vorteile erwartet wurden.

Während anfänglich von industrieller und politischer Seite verlangt wurde, die Bundesbahnen sollten die elektrische Energie aus privaten und industriellen Kraftwerken beziehen, waren Generaldirektion und Verwaltungsrat der SBB schon recht früh der Ansicht, für die Erzeugung der Bahnenergie eigene Kraftwerke, nämlich Amsteg und Ritom, zu bauen und zu betreiben. Dabei spielten nicht nur wirtschaftliche Gründe eine Rolle. Ebenso massgebend war auch, dass man sich in der Frage der Systemwahl nicht

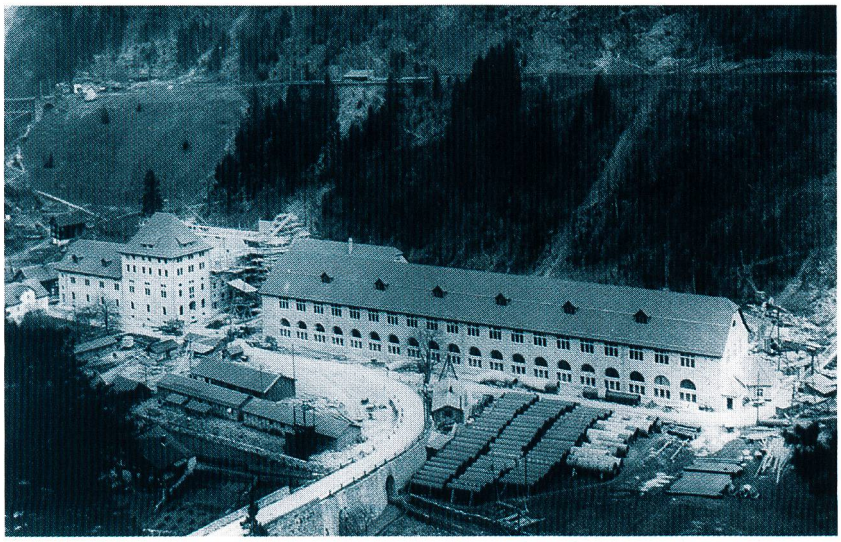


Bild 4, links. Das Kraftwerkgebäude während der Bauzeit (26. März 1921). Rechts neben der Plattibrücke sind die Rohrschüsse für die Druckleitung gelagert.

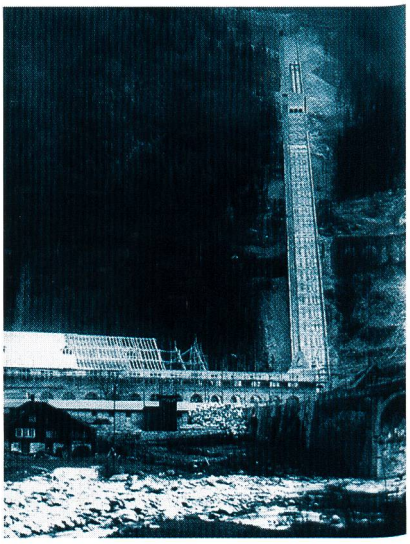


Bild 5, rechts. Das Druckleitungstrassee am 26. März 1921 mit dem Fixpunkt im oberen Drittel, von wo aus die Rohrschüsse nach oben zum Wasserschloss hin montiert wurden. Im unteren Teil wurde von unten nach oben bis zum Fixpunkt montiert.

für den in den bestehenden Wasserkraftwerken produzierten Gleichstrom entscheiden konnte, sondern für den seit Jahren am Lötschberg und anderen Bahnen mit gutem Erfolgt erprobten, leistungsfähigeren Einphasen-Wechselstrom mit 16⅔ Hertz und 15 000 Volt Fahrdrahtspannung.

Rückschläge

Am 13. November 1913 bewilligte der Verwaltungsrat der SBB einen ersten Kredit von 38,5 Millionen Franken. Schon im folgenden Jahr wurde mit der Ausarbeitung der Detailprojekte für die Kraftwerke Ritom und Amsteg sowie für die Übertragungsleitungen und die Unterwerke begonnen. Im Juli 1914 schliesslich war alles für die Ausschreibung bereit. Doch da brach im August unerwartet der Erste Weltkrieg aus, und so wie vieles andere wurde auch die Elektrifizierung der Gotthardlinie zurückgestellt. Erst zwei Jahre später, im Februar 1916, wurden die Projektierungsarbeiten wieder aufgenommen.

Der Bau

Für die Wiederaufnahme des Projekts sprach auch, dass die Kohle infolge des Kriegs massiv teurer und knapper geworden war. Wollte die Schweiz ihre Unabhängigkeit vom Ausland wahren, musste sie nach neuen Energiequellen Ausschau halten. Schon am 18. Oktober 1920 war die Strecke zwischen Erstfeld und Airolo betriebsbereit. Am 12. Dezember folgte die Südrampe von Airolo bis Biasca, und am 4. April 1921 war das ersehnte Ziel erreicht: Erstfeld–Bellinzona ohne Rauch und Qualm.

Für die Energieversorgung stand anfänglich erst das 1920 nach vierjähriger Bauzeit in Betrieb genommene Kraftwerk Ritom zur Verfügung. 1918 wurden die Bauarbeiten in Amsteg aufgenommen. Für vier Jahre verwandelte sich die abgeschiedene Gegend in eine gigantische Baustelle. Hunderte von Arbeitern strömten buchstäblich über Nacht in ein Dorf, das knapp über zweihundert Einwohner zählte. Rund die Hälfte der Arbeiter stammte aus dem Kanton Uri. Die auswärtigen Bauarbeiter jedoch wollten verpflegt und untergebracht werden – ein Problem, das die einzelnen Baufirmen stark forderte. Während die einen bei einheimischen Familien Kost und Logis fanden, mussten für andere regelrechte Barackenlager erstellt werden.

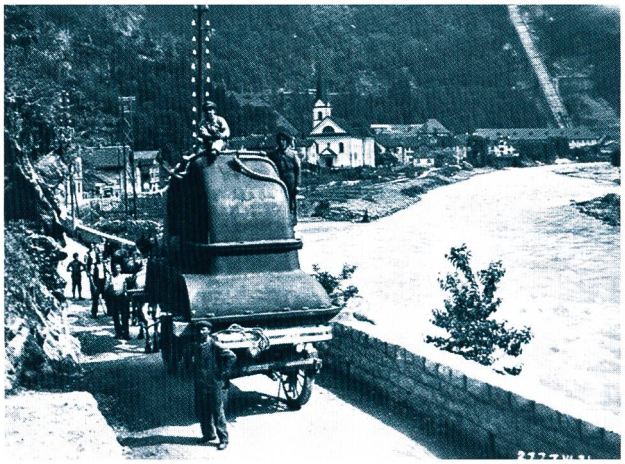


Bild 6. Transport eines Turbinengehäuses mit Fünfspänner reussaufwärts. Im Hintergrund die Heilig-Kreuz-Kirche Amsteg und die Kraftwerksgebäude.

Ein weiteres grosses Problem stellte der Transport des Materials dar. Damals wurden die schweren Maschinenteile vornehmlich mit der Bahn transportiert. Während bei den jetzigen Erweiterungsarbeiten eigens ein Werkgeleise von Erstfeld zur Baustelle errichtet wurde, mussten seinerzeit die tonnenschweren Turbinen und Anlageteile mit fünfspännigen Pferdefuhrwerken von der Bahnstation in die Zentrale transportiert werden. Aus Angst, die Kantonsstrasse würde den Transport nicht aushalten, musste sie an verschiedenen Stellen verstärkt werden. Die nicht unerheblichen Kosten trugen zu gleichen Teilen der Kanton Uri und die SBB.

Die Bauleitung lag in den Händen des Zürcher Ingenieurs *Hans Studer.* Für den mechanisch-elektrischen Teil zeichnete Ingenieur *G. Croce* von den SBB verantwortlich, und auch der Architekt der imposanten, schlossähnlichen Kraftwerkzentrale, *Thomas Nager,* war bei den SBB angestellt.

Kostenpunkt

Anfang Dezember 1922 nahm das Kraftwerk Amsteg seinen Betrieb auf. Während das Kraftwerk Ritom für rund 23 Millionen Franken gebaut worden war, betrugen in Amsteg die Baukosten mit 51 Millionen Franken fast doppelt soviel. Dieser für damalige Verhältnisse hohe Betrag kam in erster Linie deshalb zustande, weil die Anlage in der teuersten Zeit zwischen 1918 und 1922 erstellt worden war. Doch diese riesigen Investitionen haben sich zweifellos gelohnt. Denn über 75 Jahre ist das wichtigste SBB-Kraftwerk ohne nennenswerte Störungen in Betrieb gewesen. Während es anfänglich 270 Millionen Kilowattstunden pro Jahr produzierte, konnte dank gezielter Verbesserungen mit der Zeit die mittlere Jahresproduktion auf 306 Millionen Kilowattstunden erhöht werden.

Die Elektrifizierung der Bahnen

nahm in der Schweiz ihren Anfang bei den Privatunternehmungen. 1899 wurde auf der Burgdorf–Thun-Bahn der erste elektrische Betrieb eröffnet. Die zu Beginn unseres Jahrhunderts erfolgte Elektrifizierung der Linie Seebach–Wettingen war ein Versuchsbetrieb der Maschinenfabrik Oerlikon. Sie ging ebenso zu Lasten der Firma, wie jene des Simplontunnels im Jahre 1906, die von Brown, Boveri & Cie. finanziert wurde. Von 1911 bis 1913 wurde die Lötschberglinie elektrifiziert, und 1913 fuhr auch bereits die Rhätische Bahn im Unterengadin mit Strom.

Warum die Schweizerischen Bundesbahnen relativ spät elektrifiziert wurden, ist unschwer zu erklären. Zum einen war die Umstellung mit riesigen Kosten verbunden. Zum anderen war die Kohle bis zum Ausbruch des Ersten Weltkriegs billig und leicht zu beschaffen. Erst als dann während des Kriegs die Kohle immer knapper wurde und ihr Preis dementsprechend in die Höhe schnellte, wuchs der Druck, auch die Bundesbahnen zu elektrifizieren.

Doch der Ausbau ging anfänglich recht bescheiden voran. Eine Änderung trat erst ein, als sich 1923 die Elektrifizierung als geeignetes Mittel zur Bekämpfung der drohenden Arbeitslosigkeit anbot. Das Programm lief daraufhin auf Hochtouren, und bis Ende 1928 war bereits mehr als die Hälfte des Gesamtnetzes auf den elektrischen Betrieb umgestellt.

Adresse des Verfassers: *Stefan Fryberg,* Atelier für Grafik und Text, CH-6460 Altdorf.

1993–1998
ERNEUERUNG
KRAFTWERK AMSTEG

Entstehungsgeschichte des Kraftwerkes Neu-Amsteg

Jörg Stöcklin und Peter Püntener

Einleitung

Mit den 1920 bzw. 1922 in Betrieb genommenen Bahnkraftwerken Ritom und Amsteg haben die SBB die Elektrifizierung ihres Netzes, vorab auf der Gotthardstrecke eingeleitet und hernach bis 1960 auf dem gesamten Bahnnetz vollendet. Bereits 1928 waren 55 % des Netzes elektrifiziert, womit 80 % der Transportleistungen erbracht wurden.

Im Gleichschritt mit der dadurch erst möglichen markanten Leistungssteigerung des Bahnangebotes und der ebenso erfreulichen Entwicklung der Verkehrsnachfrage bedurfte es der Inbetriebsetzung weiterer bedeutender Bahnkraftwerke und eines landesweiten Übertragungsleitungsnetzes von mehr als 1600 km Länge.

In diesem Zusammenhang ist der Hinweis erforderlich, dass die Bahnen mit Einphasenwechselstrom 16⅔ Hz versorgt werden, dies im Gegensatz zur allgemeinen Elektrizitätsversorgung, welche mit Drehstrom 50 Hz betrieben wird. Entsprechend sind auch gesonderte Infrastrukturen des Versorgungsnetzes unumgänglich. Grund für diese Differenz zum Landesnetz war die zum Zeitpunkt des Variantenentscheides im Jahre 1913 weit fortgeschrittene technische Reife dieses elektrischen Traktionssystemes, welches übrigens auch in Deutschland und Österreich Anwendung findet.

Konzept der Bahnstromversorgung

Mit Rücksicht auf die Bedeutung einer zuverlässigen und ausreichenden Stromversorgung wurde schon im Gefolge des Elektrifikationsentscheides die Frage eingehend diskutiert, ob den Bahnen selbst oder den Elektrizitätswerken die Versorgungsaufgabe zugewiesen werden sollte. Da für einen Monopolkonsumenten latent ein Abhängigkeitsrisiko bestand, entschieden sich der Verwaltungsrat und das Parlament – gegen eine heftige Opposition – für die Variante Selbstversorgung mit Bahnstromproduktion in eigenen Wasserkraftwerken.

Lange Zeit waren die Wasserkraftwerke der SBB denn auch in der Lage, eine 100%ige Selbstversorgung zu leisten. Indes hatte der Wirtschaftsaufschwung der sechziger Jahre den Bedarf an Bahntransportleistungen und mithin auch den Energie- und Leistungsbedarf der Bahnstromversorgung in einem Masse anwachsen lassen, der nach neuen Lösungen rief. In der Schweiz waren zu jenem Zeitpunkt nur wenige wirtschaftlich vertretbare Wasserkraftwerke noch nicht realisiert (z. B. Emosson); daher mussten sich die SBB anderen Energiequellen zuwenden (Kernkraft), um künftigen Anforderungen an die Traktionsstromversorgung gewachsen zu sein. Damit verbunden war der Bau leistungsfähiger Frequenzumformeranlagen als Bindeglieder zwischen den beiden Stromsystemen Drehstrom 50 Hz und Einphasenwechselstrom 16⅔ Hz.

Organisation der Bahnstromversorgung

Die Direktion Energie (früher Kraftwerke) der Generaldirektion SBB ist verantwortlich für Bau, Betrieb und Unterhalt des hochspannungsseitigen Bahnstromnetzes zum Zweck einer zuverlässigen, ausreichenden und wirtschaftlichen Bahnstromversorgung für die SBB und weitere 24 schweizerische Privatbahnen. Das Netz umfasst im wesentlichen Kraftwerke, Netzleitstellen, Übertragungsleitungen und Unterwerke exkl. 15 kV Abgang und Fahrleitungen. Für letzteres sind die Baudienste zuständig.

Der hohe Grad der Technisierung erlaubt seit wenigen Jahren eine auf drei Sektorleitstellen konzentrierte Fernsteuerung aller Anlagen und damit eine personell äusserst effiziente Betriebsführung. Einer übergeordneten zentralen Leitstelle fällt sodann der wirtschaftliche Einsatz aller Betriebsmittel zu.

Innerhalb der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft gehört die Direktion Energie zu den 10 grossen Werken, die über 90 % der in der Schweiz benötigten elektrischen Energie bereitstellen.

Neue Anforderungen an die Bahnstromversorgung

Seit Bestehen der elektrischen Traktion war das Problem der Leistungserbringung – in viel höherem Masse als bei der Landesversorgung – stets eine vorrangige Aufgabe, welche mit einem hohen Anteil an Speicherkraftwerken lösbar war. Rund 20 % der auf den Triebfahrzeugen installierten Motorleistung müssen in den Kraftwerken als Generatorleistung zur Verfügung stehen, um jederzeit den erforderlichen Bedarf abdecken zu können.

Der Taktfahrplan mit halbstündlichen und stündlichen Ankunfts- und Abfahrtsintervallen innerhalb nur weniger Minuten sowie in ganz besonderem Masse die Traktion mit Hochleistungsmaschinen (Re 460) haben den Leistungsbedarf im Kurzzeitbereich eklatant anwachsen lassen. So sind hier Leistungshübe von gegen 200 MW keine Ausnahme. Aber auch auf der Energieseite wird für die künftigen Bahnangebote Bahn 2000 und AlpTransit mit höherem Verbrauch gerechnet werden müssen.

In Berücksichtigung der vorstehenden Erkenntnisse und der Tatsache, dass die bestehenden Wasserkraftwerke – viele davon noch mit Originalausrüstung – in die Jahre gekommen und damit ohnehin erneuerungsbedürftig sind, musste die Direktion Kraftwerke die anstehenden Probleme gesamtheitlich angehen. Dabei waren nebst den technischen Rahmenbedingungen auch jene rechtlich-politischer Natur in die Überlegungen miteinzubeziehen. Grund dafür ist die Tatsache, dass ab 2005 bis 2017 bei über 50 % der heutigen Wasserrechtskonzessionen die erste Verleihungsperiode abläuft und mithin eine neue Konzession zu erwerben sein wird, noch bevor ein Anlagenausbau überhaupt erst realisiert werden kann. Berücksichtigt man ferner noch den Umstand, dass Konzessionsverhandlungen einen Vorlauf von mindestens 10 Jahren beanspruchen, dann wird deutlich, welch lange Planungszeiträume für die Entscheidfindung herangezogen werden müssen. Auch wird klar, dass diejenigen, die den Kraftwerkbetreibern Vorgaben in Form langfristiger Prognosen (z. B. über den erwarteten Personen- und Güterverkehr) machen sollten, bald einmal an ihre Grenzen stossen.

Probleme mit dem bestehenden (alten) Kraftwerk Amsteg

Die bisher im Reusstal vorhandene Kraftwerkkette weist die Besonderheit auf, dass das oberste Kraftwerk Gösche-

nen die grösste Schluckfähigkeit und die unterliegenden Kraftwerke Wassen und Amsteg solche aufweisen, die deutlich geringer und zudem nach unten noch abnehmend sind. Das hatte letztlich für das Kraftwerk Amsteg zur Folge, dass dieses trotz Bestehen des Ausgleichsbeckens Pfaffensprung in den Sommermonaten als reines Laufkraftwerk betrieben werden musste, um nur halbwegs die oberliegenden Wasserdargebote verarbeiten zu können.

Sodann drängten die an ihr Lebensende gekommenen elektromechanischen Ausrüstungen und zum Teil grössere anstehende Unterhaltsarbeiten an baulichen Anlagen zum Handeln.

Der Einbezug aller zuvor beleuchteten kritischen Punkte führte schliesslich zu folgenden Planungsvorgaben:

- Beseitigung Engpasssituation von Amsteg als bisher schwächstes Glied in der Kraftwerkskette Göschenen–Wassen–Amsteg;
- Eingliederung des Projektes in das Ausbaukonzept der urnerischen Gewässer;
- möglichst kurzer Betriebsunterbruch bei der Umpolung des alten auf das neue Kraftwerk;
- möglichst hoher Leistungs- und Energiegewinn.

Mit Brief vom 21. Mai 1986 teilte die Generaldirektion SBB dem Kanton Uri mit, dass die sechs Maschinengruppen (Turbinen und Generatoren) praktisch noch im Originalzustand seien und nicht mehr die erforderliche Betriebssicherheit aufweisen. Vielmehr müsse damit gerechnet werden, dass irreparable Schäden an diesen Anlageteilen zum endgültigen Ausfall führen könnten. Die SBB sehen sich veranlasst, ab etwa 1988 die maschinellen Ausrüstungen des KW Amsteg integral zu erneuern. Die Generaldirektion ersuchte den Kanton, die Erneuerungsabsichten im Lichte der Vorstellungen des Kantons bezüglich des Weiterausbaus der urnerischen Wasserkräfte zu beurteilen.

Das Wasserkraft-Nutzungskonzept des Kantons Uri

Die Produktion von Elektrizität aus Wasserkraft hat im Kanton Uri einen grossen Stellenwert. Die Hauptnutzung erfolgt entlang der Reuss auf den drei Stufen Urserntal bzw. Göscheneralp–Göschenen, Göschenen–Wassen und Wassen–Amsteg. Das Potential kann allerdings in den vorhandenen Kraftwerken nicht optimal genutzt werden, weil das Schluckvermögen unterhalb von Göschenen zu gering ist und das Speichervolumen in der Göscheneralp nur für eine bescheidene Umlagerung des vorwiegend im Sommer anfallenden Wassers zur Winterproduktion ausreicht.

Der Kanton Uri beschränkte sich über Jahrzehnte auf das Erteilen von Konzessionen. Im Rahmen der Diskussionen um die Konzessionserteilung für das geplante Kraftwerk Göscheneralp (1954) fand die Forderung nach einer Beteiligung des Kantons Eingang in die Kantonsverfassung.

Eine aktive Energiepolitik legte sich Uri erst Anfang der 80er Jahre zu. Seit dem Jahre 1981 arbeitet der Kanton an einem Wasserkraft-Nutzungskonzept. Inzwischen liegen die Ergebnisse vor: Die Leistungsengpässe sollen beseitigt und die Speicherkapazität erhöht werden. Das bedingt eine Abstimmung der Leistungen der Kraftwerkkette Urserntal–Amsteg. Die Speicherkapazität kann durch eine Erhöhung des Staudammes in der Göscheneralp und den Bau eines neuen Kopfspeichers im Lucendrogebiet drastisch vergrössert werden.

Zum Zeitpunkt der Anfrage der Generaldirektion SBB bezüglich des Kraftwerkes Amsteg lag das Nutzungskonzept wohl erst in groben Zügen vor. Es genügte aber, um die SBB zu überzeugen, die baulichen Anlageteile des Kraftwerkes Amsteg auf eine gegenüber dem heutigen Wasserdargebot wesentlich grössere Schluckfähigkeit auszulegen. Mit Neu-Amsteg ist mittlerweilen bereits die erste Etappe eines zukunftsträchtigen Wasserkraft-Nutzungskonzeptes in die Tat umgesetzt worden.

Das Konzept des Kraftwerkes Neu-Amsteg

Die SBB beauftragten nun die Ingenieur-Unternehmung Bern AG (IUB), die bereits mit der Erarbeitung des Wasserkraftnutzungskonzeptes des Kantons Uri betraut war, das ganze Variantenspektrum auszuloten. Sie anerboten dem Kanton Uri eine aktive Rolle bei der Planung der Neuanlage. Von den zahlreichen Sanierungs- und Ausbauvarianten obsiegte schliesslich der damals als Variante 2.22 bezeichnete Neubau des Kraftwerkes. Die Generaldirektion SBB gab ihr am 7. Juni 1988 die Zustimmung. Neu-Amsteg soll künftig in der Lage sein, die Nachfrage nach kurzen, aber hohen Leistungsspitzen des Bahnbetriebes abzudecken. Aufgrund von Modell-Tagesganglinien wird das neue Kraftwerk nur in den Sommermonaten eine gewisse Grundlast aufweisen; in den übrigen Zeiten wird die Anlage ausschliesslich zur Spitzenabdeckung eingesetzt. Vorerst sollen drei Maschinen von total 120 MW Leistung (heute 56 MW) installiert werden; die baulichen Anlagen erlauben aber die nachträgliche Ausrüstung mit einer vierten Maschinengruppe. Vom alten Kraftwerk bleiben nur die Wasserfassungen im Pfaffensprung und im Maderanertal mit ihren Zuleitungen. Alles andere wird neu erstellt.

Die Aushandlung der Konzessionserweiterung

Die SBB und ihre Rechtsvorläuferin, die Gotthardbahn-Gesellschaft, verfügen seit 1875 über Wasserrechtskonzessionen des Kantons Uri. 1907 wurden die gesamten Wasserkräfte des Reussgebietes vom Gotthard bis Amsteg der Gotthardbahn konzediert. Die Konzession wurde aber erst ab dem Jahre 1922 mit der Betriebsaufnahme des Kraftwerkes Amsteg genutzt. Für den Bau des Kraftwerkes Göschenen mit Stauanlage in der Göscheneralp wurde 1954 eine neue Konzession für die Dauer von 90 Jahren erteilt.

Am 19. Juni 1989 ersuchte die Generaldirektion SBB den Kanton Uri, die Konzession neu auszuhandeln. Dazu wurden zwei Kommissionen eingesetzt: Auf der Stufe Verwaltung die sogenannte «Verwaltungsdelegation» und auf der Stufe Regierungsrat/Generaldirektion die «Verhandlungsdelegation». In einem manchmal zähen, manchmal lockeren «Pingpongspiel» konnten alle Probleme gelöst werden. Die Hauptverhandlungspunkte waren Umweltfragen und die Beteiligung des Kantons am neuen Werk. Bei der Umwelt standen drei Problemkreise im Vordergrund:

- Restwasser zwischen Pfaffensprung und Amsteg;
- Schwall in der Reuss zwischen Amsteg und See;
- Deponie des Ausbruchmaterials.

Der Landrat des Kantons Uri genehmigte die geänderte Konzession am 19. Februar 1992. Das (fakultative) Referendum wurde nicht ergriffen.

Parallel zu den Verhandlungen mit dem Kanton Uri lief das vom Bundesamt für Verkehr geführte eisenbahnrechtliche Plangenehmigungsverfahren. Die Planauflage geschah im Januar/Februar 1990. Bis zur Genehmigung verstrichen aber noch mehr als zwei Jahre; sie wurde am 24. April 1992 erteilt.

Die Restwasserregelung

Die schwierigste und komplizierteste Frage war das Restwasser. Einen Kompromiss zwischen Ökonomie und Ökologie zu finden war nicht einfach. Das Resultat ist die «dynamische Dotierung» der Reuss, eine unkonventionelle Lösung, die die natürlichen Schwankungen der Wassermenge nachempfindet. Das Festlegen des Restwassers komplizierte sich durch den Umstand, dass gleich drei Instanzen hier etwas zu sagen hatten: der Kanton Uri als Konzessionsgeber, das Bundesamt für Verkehr als Plangenehmigungsbehörde und das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft für die fischereirechtliche Bewilligung. Die SBB und der Kanton Uri waren sich längst handelseinig, bis auch noch der Bund seinen «Segen» dazu erteilte.

Die Schwallproblematik

Das Anfahren der Turbinen erzeugt jedesmal einen Wasserschwall in der Reuss, der angesichts des gegenüber heute viel grösseren Durchsatzes ökologisch nicht toleriert werden kann. Der Schwall galt eine Zeitlang als fast nicht lösbares Problem. Mit dem Bau eines Ausgleichsbeckens, mangels Platz im Freien in Form eines über 1 km langen Unterwasserstollens, konnte der «gordische Knoten» zerschnitten werden.

Mittlerweilen wird in einem Kleinkraftwerk selbst die geringe Höhendifferenz zwischen dem Wasserspiegel im Unterwasserstollen und der Reuss energetisch genutzt. Das gleiche geschieht für die Dotierwassermenge im Ausgleichsbecken Pfaffensprung.

Die KWA, ein Partnerwerk zwischen den SBB und dem Kanton Uri

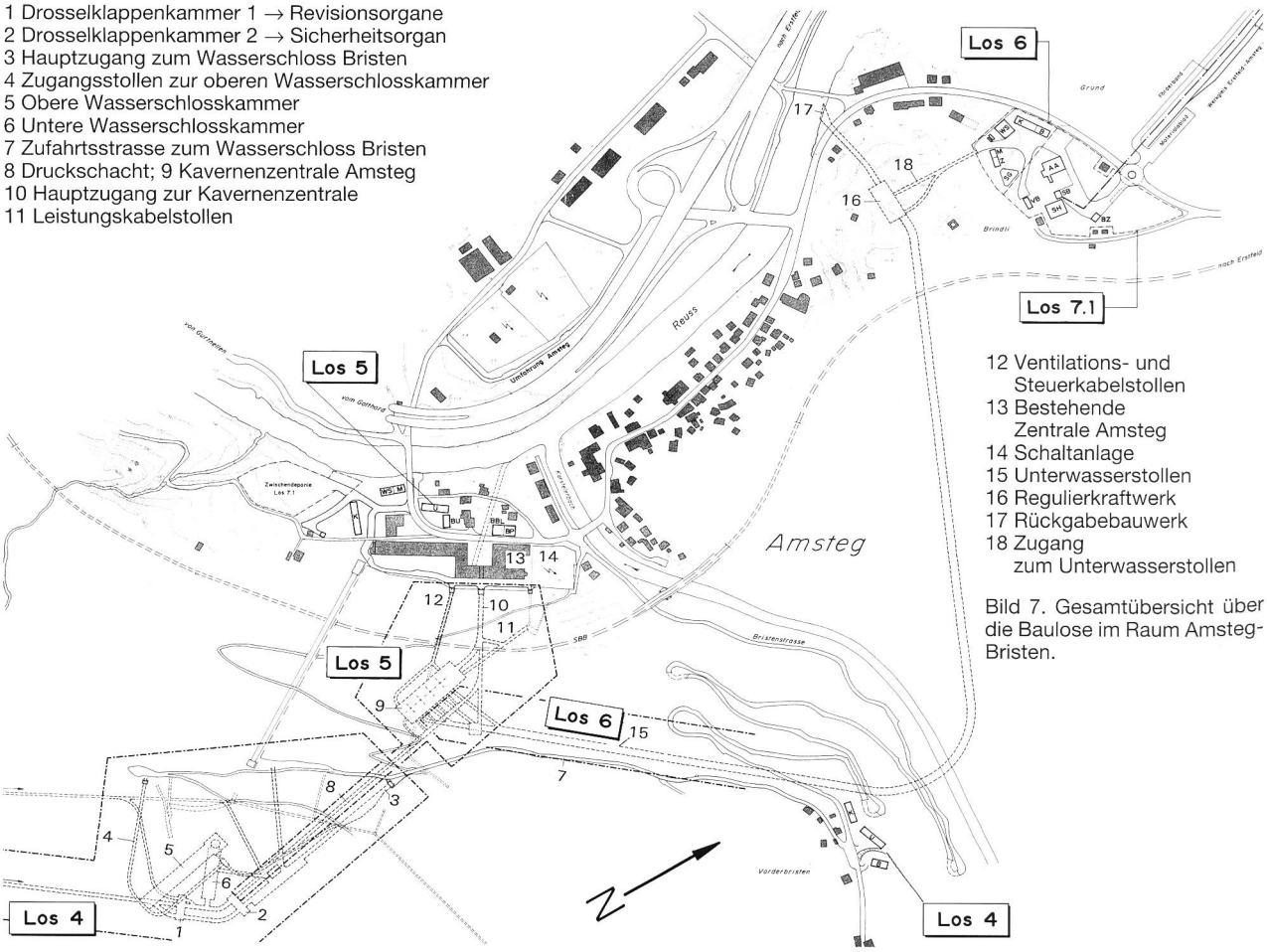
Die Kantonsverfassung verlangt, Wasserkräfte nur dann zur Nutzung zu verleihen, wenn der Kanton sich am Unternehmen des Beliehenen erheblich beteiligen kann. Dieser Verfassungsauftrag gilt selbstverständlich auch für die Konzessionserweiterung infolge des Neubaus des Kraftwerkes Amsteg.

Anfang 1990 lud die Generaldirektion den Kanton Uri ein, sich an einer zu gründenden Aktiengesellschaft zu beteiligen. Als Grund wird eine vom SBB-Infrastrukturbudget losgelöste Finanzierung angegeben. Im weiteren erachtete die Generaldirektion die Gründung einer AG als einen Schritt in die richtige Richtung im Zusammenhang mit den zukunftsweisenden Wassernutzungsabsichten des Kantons Uri, die von der Grösse und Komplexität des Vorhabens her eine entsprechende Trägerschaft erheischen. Die SBB übernahmen 90 % und der Kanton zusammen mit der Urner Kantonalbank 10 % des Aktienkapitals von 80 Millionen Franken. Die SBB konnten ihren Anteil durch Sacheinlagen und Sachübernahmen in die Gesellschaft einbringen.

Am 15. Juni 1992 wurde auf Schloss A Pro die Aktiengesellschaft feierlich gegründet. Damit war der Weg frei für den Neubau des Kraftwerkes Amsteg.

Adressen der Verfasser:
- *Jörg Stöcklin,* bis 30. November 1997 Direktor Energie der Generaldirektion SBB und Präsident Baukommission KWA, Donnerbühlweg 17, CH-3012 Bern;
- *Peter Püntener,* Kantonsingenieur Uri und Vizepräsident Baukommission KWA, Klausenstrasse 2, CH-6460 Altdorf.

1 Drosselklappenkammer 1 → Revisionsorgane
2 Drosselklappenkammer 2 → Sicherheitsorgan
3 Hauptzugang zum Wasserschloss Bristen
4 Zugangsstollen zur oberen Wasserschlosskammer
5 Obere Wasserschlosskammer
6 Untere Wasserschlosskammer
7 Zufahrtsstrasse zum Wasserschloss Bristen
8 Druckschacht; 9 Kavernenzentrale Amsteg
10 Hauptzugang zur Kavernenzentrale
11 Leistungskabelstollen



12 Ventilations- und Steuerkabelstollen
13 Bestehende Zentrale Amsteg
14 Schaltanlage
15 Unterwasserstollen
16 Regulierkraftwerk
17 Rückgabebauwerk
18 Zugang zum Unterwasserstollen

Bild 7. Gesamtübersicht über die Baulose im Raum Amsteg-Bristen.

1993–1998
ERNEUERUNG
KRAFTWERK AMSTEG

Der Generalplaner

Werner Müller

1. Einleitung

Die Projektierungsarbeiten und die Bauleitung für die Ausführung der Bauten wurden durch die IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern mit einem Generalplanervertrag abgewickelt. Die Leistungen umfassten alle Planungs- und Bauleitungsaufgaben im Rahmen der Ausführungsphase. Die Honorierung wurde für die Projektierung und die Bauleitung mit einer Globalen fixiert, während für die Beratungen Geologie, Umweltbegleitung, Vermessungen und verschiedene Spezialaufgaben ein Zeittarif zur Anwendung gelangte. Der Vertrag dauerte entsprechend der Bauzeit fast sechs Jahre. Die Vorausberechnung des Honorares war nicht einfach, und es musste eine rigorose Ausgabenkontrolle während der gesamten Bearbeitungszeit durchgeführt werden.

Ein Spezialfall lag vor, da die elektromechanische Projektierung durch die Organe des Bauherrn im Auftrage des Generalplaners bearbeitet wurde. Saubere Vertragsverhältnisse haben dazu geführt, dass dabei keine Probleme hinsichtlich der Zuständigkeiten auftraten. Der Abwicklung der Projektierungs- und Montageleitungsarbeiten war ein voller Erfolg beschieden. Alle Beteiligten haben sich positiv zu der für sie ungewohnten Situation bekannt.

Für die Projektführung wurde ein Projekthandbuch durch den Generalplaner erstellt und vom Bauherrn genehmigt.

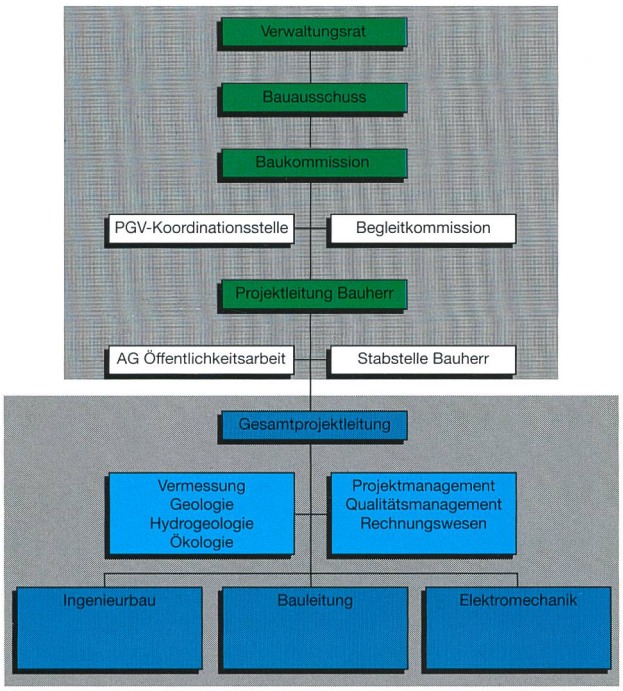


Bild 8. Organigramm für die Projektabwicklung.

Es gliedert sich in acht Teilbereiche:

1. Projektinformationen
2. Aufbauorganisation
3. Ablauforganisation
4. Informationssystem
5. Qualitätsmanagement
6. Terminmanagement
7. Kostenmanagement
8. Projektänderungswesen

Im folgenden soll auf einzelne Teilbereiche näher eingegangen werden, um über die gemachten Erfahrungen Bilanz zu ziehen.

2. Aufbauorganisation

Ziel der Aufbauorganisation war, die Entscheidungswege und -träger auf ein vertretbares Minimum zu reduzieren. Der Bauherr hat sich, um diesen Umständen Rechnung zu tragen, eine verfeinerte Unterteilung der Entscheidungskompetenz gegeben. Dies vor allem, um die Entscheide für die übergeordneten Organe vorzubereiten. Die Praxis hat gezeigt, dass diese Organe selten in Anspruch genommen werden mussten. Die Baukommission hat 95 % aller Entscheide in eigener Kompetenz getroffen. Alle Anträge wurden durch den Gesamtprojektleiter in den Sitzungen der Baukommission vertreten. Der Verwaltungsrat wurde durch Beizug des Gesamtprojektleiters an die Sitzungen stets über die Geschehnisse orientiert, und Anträge der Baukommission konnten direkt und kompetent vertreten werden. Die so gewährte Direktinformation hat sich bestens bewährt.

3. Informationssystem

Auf der Stufe Gesamtprojekt sind folgende Mittel eingesetzt worden:

Protokolle:	Baukommissionssitzung Gesamtprojektleitungssitzung Projektsitzungen Bausitzungen
Aktennotizen:	Alle übrigen Besprechungen und Telefonate usw.
Dokumente:	Wochenrapport der Bauleitung pro Baulos Baujournal der Bauleitungen Standbericht des Gesamtprojektleiters
Ablagesystem:	Sämtliche Dokumente (Briefe, Protokolle, Berichte usw.) wurden nach einer bestimmten Systematik erfasst und gekennzeichnet. Als Grundlage dazu wurden die Baulose und die Art der Dokumente verwendet. Verknüpft wurde dabei der Baukontenplan (BKP), der eigens für dieses Bauwerk konzipiert wurde.

Um die Information der Öffentlichkeit sicherzustellen, sind einige «Tage der offenen Türe» durchgeführt und eine Informationsbroschüre, die neunmal erschienen ist, aufgelegt worden. Eine Begleitkommission als Stabstelle der Baukommission hat die Interessen der Bevölkerung und der Behörden während der Bauarbeiten wahrgenommen. Dazu wurden gemeinsame Sitzungen in regelmässigen Abständen abgehalten.

Den Beschwerden der Bevölkerung wurde ein besonderes Augenmerk geschenkt. Die Behandlung der bei einer der beiden Anlaufstellen eingegangenen Beschwerden wickelte sich gemäss Organigramm Bild 8 ab.

Insbesondere waren es Lärm- und Staubimmissionen während der Ausbrucharbeiten, die behandelt werden mussten. Dabei erwiesen sich die Sprenggase als besonders hartnäckig, da sie sich bodennah und unkontrollierbar ausbreiteten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es enorm wichtig ist, die Bevölkerung in das Informationskonzept einzubeziehen und auch zu betreuen.

4. Kostenmanagement

Für das Kostenmanagement sind folgende Ziele definiert worden:

1. Gewährleisten des Einhaltens der Kostenziele
2. Sicherstellung der Projektfinanzierung mit optimalem Cash-Management
3. Ordnungsgemässe, revisionsfähige Projektbuchhaltung
4. Vertragskonforme Erfüllung der Verpflichtungen gegenüber Unternehmer und Lieferanten

Mit einem Vergebungsablauf und einer klaren Kompetenzordnung konnten die Verträge rechtzeitig und zügig erstellt werden. Die Organisation des Rechnungswesens mit einer klaren Vorgabe über die Rechnungserstellung, welche jedem Vertrag verbindlich beigelegt wurde, konnte eine straffe Kontrolle der Kredite und der entsprechenden Rechnungen gewährleisten.

Die Überwachung der Kosten wurde mit Hilfe des Programmes VIAG Bauad 2000 durchgeführt. Eine halbjährliche Kostenendprognose garantierte ein rechtzeitiges Erkennen allfälliger Abweichungen. Die Teuerung zwischen dem Kostenvoranschlag und der Vergabe wurde mit einem Index auf Basis des Kostenvoranschlages berücksichtigt. Nach der Vergabe sind die Teuerungen mit Gleitpreisformeln und dem Objekt- und Produktionskostenindex erfasst worden.

Der monatliche Ausdruck beinhaltete die folgenden Rubriken:

Kostenvoranschlag revidiert:	ursprünglicher Kostenvoranschlag ± Mutationen
Bestellungen:	sämtliche Vertragsbeträge
Zahlungen:	erfolgte Zahlungen nach Akkord, Teuerung, Regie und Honorare getrennt
Endprognose:	erwarteter Endkostenbetrag
Differenz Kostenvoranschlag-Prognose:	Abweichungen zwischen Kostenvoranschlag und Endkostenprognose

Der ursprüngliche Kostenvoranschlag konnte nicht verändert werden. Unter dem revidierten Kostenvoranschlag sind die vom Verwaltungsrat und der Baukommission genehmigten Mutationen und die Mutation infolge der Teuerung zwischen dem Kostenvoranschlag und der Vergabe zu verstehen.

Mit einem Finanzierungsplan und dem Cash-Management wurde sichergestellt, dass die Anleihen und die Zahlungen optimal an die Bedürfnisse angepasst werden konnten. Der vom Gesamtplaner erstellte Zahlungsplan berücksichtigte die für jeden Vertrag zu erwartenden Zahlungsschritte. Er wurde jährlich überholt und diente als Grundlage für die Anleihensplanung. Die Anleihen wurden durch eine eigens dafür eingesetzte Finanzkommission, die dem Verwaltungsrat unterstand, beantragt und plaziert.

Das Cash-Management sorgte für eine rationale und optimierte Bereitstellung der flüssigen Mittel und für die

Anlaufstelle 1: **Anlaufstelle 2:**

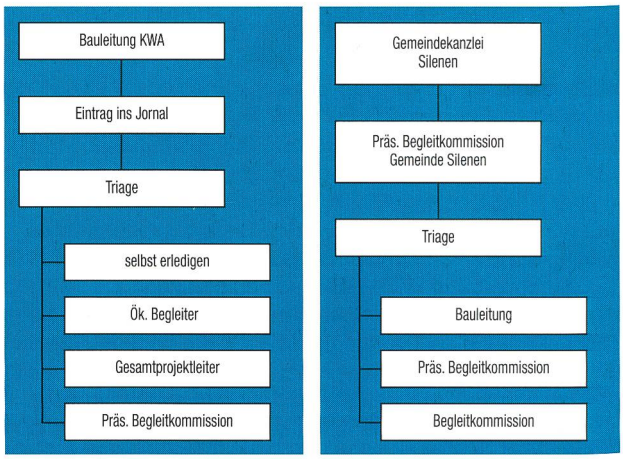


Bild 9. Anlaufstellen für die Behandlung von Beschwerden der Bevölkerung.

Bewirtschaftung der freien Mittel. Dazu wurden alle Rechnungen zentral erfasst und mit dem Datum des Einganges registriert. Der Zahlungstermin war vertraglich für alle Beteiligten auf 60 Tage befristet. Bei Einhaltung des Termins wurden 2% Skonto bei den Rechnungen in Abzug gebracht. Der federführenden Bank wurde wöchentlich eine Liste mit den terminierten Beträgen übermittelt. Der Rechnungslauf wurde so koordiniert, dass die Rechnungen rechtzeitig bei der Bank eintrafen, um die Zahlungstermine exakt einhalten zu können. Für die Projektleitung bedeutete dieses Vorgehen eine zusätzliche Kontrolle. Traf eine Rechnung gemäss Zahlungsliste bei der Bank nicht ein, erstattete die Bank Meldung an das Rechnungswesen, welches seinerseits die Projektleitung orientierte. Mit ganz wenigen Ausnahmen wurden die Zahlungstermine eingehalten.

5. Qualitätsmanagement

Zu Projektbeginn 1992 war das heutige Projekt-Qualitätsmanagement, PQM, im Sinn des Merkblatts 2007 unbekannt. Weder die IUB noch irgendeiner der späteren ARGE-Partner auf Unternehmerseite waren zu diesem Zeitpunkt zertifiziert. In beschränktem Umfang flossen auf verschiedenen Ebenen lediglich Querinformationen aus der etwas früheren Bearbeitung der Q-Pläne im Projekt Cleuson-Dixence ein.

Ziel war von Anfang an – vermutlich als Novum in der Schweiz – die Vorgaben an Q-Pläne der Unternehmer der Hauptbaulose als Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen zu formulieren. Zu diesem Zweck wurde ein Dokument verfasst, das als Q-Rahmenplan bezeichnet wurde, nach heutiger Nomenklatur hingegen einem Q-Lenkungsplan entsprach, und folgende Kapitel enthielt:

1. Ziele und Begriffe
2. Organisation
3. Informationsaustausch
4. Sicherheitsmassnahmen
5. Beschaffung
6. Verfahrensbeherrschung
7. Rückverfolgbarkeit
8. Überwachung von Prüfmitteln
9. Audits und Änderungen der Q-Pläne

A. Anhang mit Gliederungsvorgabe für die Q-Pläne in 10 Punkten (in Korrelation zu den 20 Normkapiteln der ISO 9001)

Der Q-Rahmenplan enthielt keine detaillierten Prüfanforderungen – diese waren herkömmlich in den Besonderen

Bild 10. Die Baustellen im Bereich Grund von Norden aus gesehen. Links Verladeeinrichtung mit Baupiste, Kiesaufbereitungs- und Betonanlage. Zugang zum Unterwasserstollen in Bildmitte. Im Hintergrund rechts die alte Druckleitung und die Kraftwerkanlage (Foto *Heinz Baumann, Altdorf*).

Bestimmungen vorgegeben –, sondern wollte in einem umfassenderen Sinne der Qualitätslenkung auf Auftragnehmerseite und der Zusammenarbeit der Baupartner dienen. Bezeichnend dafür war die Vision, neben der Linienorganisation Projektverfasser-Bauleitung-Bauführer eine parallele QM-Organisation über alle Stufen vorzusehen.

In gleicher Zeit entstand ein Q-Plan der Projektierung, in dem detailliert die Schnittstellen intern wie extern (zu KW SBB, Architekt, HKL-Spezialist) geregelt, Vorgaben zum zeitlichen Vorlauf der Projektierung, zur Dokumentenlenkung und zum Ausmass dokumentierter Selbstprüfungen (Checklisten) gemacht wurden. Dieses Pilotprojekt trug als Erfahrung wesentlich zur späteren Zertifizierung der IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern im Jahr 1995 bei.

Die Umsetzung des Q-Rahmenplans führte anfangs zu Diskussionen, ob vor der Prüfplanung auf Unternehmerseite zuerst der Kontrollplan (gemäss SIA 160) des Projektverfassers als Gerüst vorliegen müsse. Schliesslich gelang es den Unternehmungen der drei Hauptbaulose jedoch gut, die 10 Punkte des Q-Rahmenplans in adäquate Q-Pläne umzusetzen.

Neben rein beschreibenden Teilen (Aufbauorganisation, Dokumentenlenkung, interne Audits usw.) bestand das Herzstück aus praktisch gestalteten Doppelblättern für alle wesentlichen Arbeitsgattungen. Deren erste Seite diente der Arbeitsvorbereitung, die zweite Seite der Prüfplanung, unterteilt nach Melde- und Haltepunkten. Besondere Bedeutung kam dem Betonierantrag zu, in dem alle Vorbereitungsarbeiten (Ableitung des Bergwassers, Einmessung der Schalung usw.) nachgewiesen und freigegeben wurden.

Beide Dokumententypen – der Q-Plan der Projektierung wie auch Beispiele der Q-Pläne der Unternehmungen – fanden Eingang in die Schulungsunterlagen des TFB Wildegg, was für ihre richtungweisende Gestaltung spricht. Parallel wurde die Bauleitung geschult und 1995 durch die neutrale Zertifizierungsstelle auditiert. Ausser der Bauleitung (im Rahmen der Zertifizierung der IUB) wurde die Materialaufbereitungsanlage unter Führung der Meynadier AG zertifiziert; im weiteren Verlauf erwarben noch andere Unternehmungen das ISO-Zertifikat.

In der Umsetzung der Q-Pläne machte sich die erst allmähliche Entwicklung der QM-Philosophie insofern nachteilig bemerkbar, als manche Aspekte nur langsam durchsetzbar waren. Vermutlich hätte durch eine häufigere Auditierung seitens des Gesamtleiters und konsequentere Verfolgung der Korrekturmassnahmen ein schnellerer Fortschritt bewirkt werden können. Im problematischsten Baulos wurde immerhin als Neuerung erreicht, dass der Auditor des Projektverfassers mit dem Berater und Auditor der ARGE gemeinsame Audits durchführen und dadurch zur atmosphärischen Bereinigung zwischen Bauführung und Bauleitung beitragen konnte.

Die vorbeugende Wirkung der Q-Massnahmen lässt sich schwer ermessen. Ehrlicherweise muss jedoch gesagt werden, dass dort, wo es trotzdem zu Problemen und Konflikten kam, die herkömmliche Bauleitung mit quartalsweisen Sachstandberichten, Termin- und Kostenverfolgung, Nachtragsofferten und Abmahnungen den effektiveren Part spielte; die jährlichen Q-Berichte dienten eher der Gesamtrückschau als der unmittelbaren Konfliktbewältigung. Um eine proaktivere Wirkung entfalten zu können, wäre eine engere Integration des Qualitätsmanagements in die übrigen Führungsbereiche nötig. Dies ist eine Frage der investierten Zeit, vor allem aber des QM-Bewusstseins bei allen Baupartnern, das in den zurückliegenden sechs Jahren grosse Fortschritte gemacht hat.

6. Schlussbemerkungen

Die Abwicklung der Arbeiten aus der Sicht des Generalplaners hat sich bestens bewährt. Insbesondere die kurze und personell restriktive Verbindung mit dem Bauherrn in der Baukommission erlaubte eine straffe und geordnete Projektführung. Alle technischen Entscheide wurden in der Gesamtprojektleitersitzung verabschiedet. Die Finanzkompetenz des Gesamtprojektleiters betrug 100 000 Franken. Die einzelnen Mitglieder der Baukommission und der Projektleitung des Bauherrn hatten keine Finanzkompetenzen. Somit lag die Verantwortung für alle Finanzgeschäfte in den Händen des Gesamtprojektleiters. Eine offene und zielgerichtete Information der Baukommission begünstigte den Aufbau eines Vertrauensverhältnisses, als unabdingbare Voraussetzung zur Abwicklung dieses anspruchsvollen Bauwerkes.

Adresse des Verfassers: *Werner Müller,* IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern, Thunstrasse 2, CH-3000 Bern.

1993–1998
ERNEUERUNG
KRAFTWERK AMSTEG

Bauliche Anlageteile
einschliesslich Materialentsorgung

Andreas Dudàs

1. Überblick

Im Jahre 1988 wurde die IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern von den Schweizerischen Bundesbahnen beauftragt, eine mögliche Erweiterung des Kraftwerkes Amsteg zu untersuchen. Eine Vorstudie ergab, dass das Triebwassersystem der bestehenden Anlage aus dem Jahre 1922, insbesondere das Wasserschloss, dem neuen Betriebskonzept mit hohen und kurzen Leistungsspitzen nicht mehr genügt. Aufgrund dieser Umstände beschlossen die SBB, das gesamte Triebwassersystem, bestehend aus den nachfolgend beschriebenen Anlageteilen, neu zu bauen:

- Fassung Reuss;
- Dotierkraftwerk in Kavernenbauweise in der Reussfassung Pfaffensprung;
- neuer Druckstollen von 7,3 km Länge;
- 1-Kammer-Differential-Wasserschloss mit insgesamt 20000 m³ Inhalt;
- Druckschacht;
- tiefer liegende Kavernenzentrale zur Gewinnung von Fallhöhe;
- Unterwasserstollen mit einer Länge von 1300 m als Ausgleichsvolumen;
- Regulierkraftwerk in Kavernenbauweise als Rückgabestellglied des Unterwassers in die Reuss.

Das Bauvolumen wurde in sieben Baulose aufgeteilt (Bild 7):

Baulos 1: Vorbereitungsarbeiten
Baulos 2: Anlagen Pfaffensprung (Staubecken, Fassung, Dotierkraftwerk)
Baulos 3: Umbau Fassung Fellibach
Baulos 4: Druckstollen und Wasserschloss
Baulos 5: Kavernenzentrale und Druckschacht
Baulos 6: Unterwasserstollen und Regulierkraftwerk
Baulos 7: Materialaufbereitung und -entsorgung

Das gewählte Ausbaukonzept erlaubte es, die Neuanlage unabhängig von der in Betrieb stehenden Anlage zu bauen. Für den Zusammenschluss von neuem und altem Druckstollen (er wird ins neue Anlagekonzept integriert) sowie für die Sanierungsarbeiten im Staubecken Pfaffensprung war ein Betriebsunterbruch von wenigen Wochen notwendig.

Rund 95% der neuen Anlageteile kommen völlig unter Tage zu liegen, wodurch der Entsorgung der grossen Mengen an Ausbruchmaterial besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden musste.

Die Bauarbeiten für die Erneuerung des Kraftwerkes Amsteg begannen im Frühjahr 1992. Nach einer Gesamtbau- und Montagezeit von sechs Jahren wurden die neuen Maschineneinheiten der Kavernenzentrale sowie Dotier- und Regulierkraftwerk im Sommer 1998 dem Betrieb übergeben. Die totalen Investitionskosten betrugen rund 474 Mio Franken.

2. Die einzelnen Baulose

2.1 Baulos 2 (Anlagen Pfaffensprung)

2.1.1 Fassung Reuss

Hydraulische Modellversuche

Die hydraulischen Formen und Dimensionen einzelner Bauwerksteile für die neue Reussfassung wurden sowohl auf der Basis theoretischer Überlegungen als auch aufgrund praktischer Erfahrungen festgelegt. Im Hinblick auf eine möglichst geschiebefreie Entnahme des Reusswassers wurde eine Umlenkfassung konzipiert, für deren einwandfreie Funktionstüchtigkeit jedoch eine Reihe ausgiebiger Modellversuche an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich notwendig waren.

Der Auslegung der Fassung und den entsprechenden Modellversuchen wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Optimierung einer geschiebefreien Wasserentnahme, insbesondere bei der Ausbaugrösse von 12 m³/s;
- Überprüfung der Strömungsverhältnisse im Oberwasser bis zu Hochwasserabflüssen von 550 m³/s;
- Prüfung und Verbesserung des Spülsystems der Fassung;
- Aufteilung des anfallenden Geschiebes auf Restwasser und Triebwasser bei kleinen geschiebeführenden Abflüssen;
- Anpassung der Fassung an das verbesserte Spülsystem: Erstellen eines Spülkonzeptes zur Verbesserung des Spülsystems.

Bild 11. Das neue Einlaufbauwerk Pfaffensprung, rechts, mit Wehrschwellen zur Geschieberückhaltung.

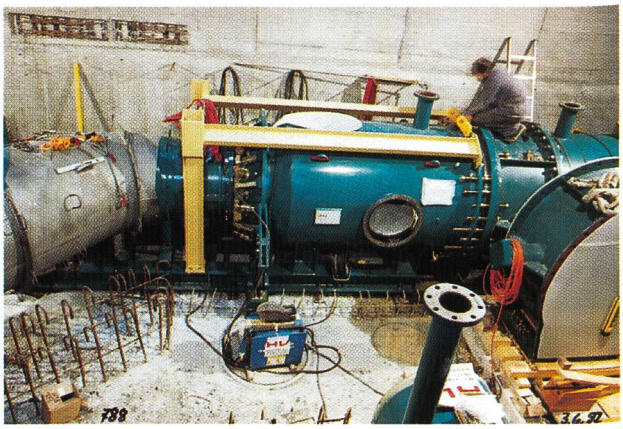
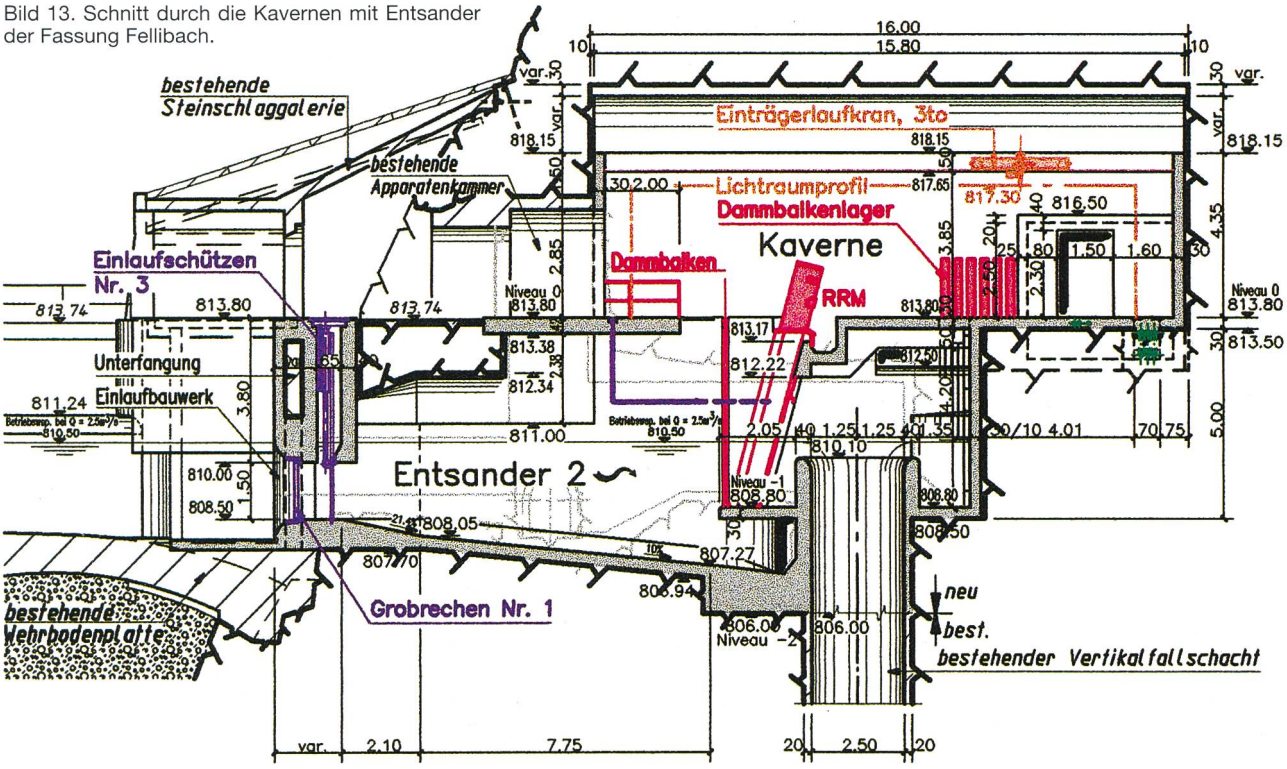


Bild 12. Die Rohrturbine des Dotierkraftwerks Pfaffensprung während der Montage (Foto *P. Mainardi* vom 3. Juni 1997).

Bild 13. Schnitt durch die Kavernen mit Entsander der Fassung Fellibach.



Basierend auf den Ergebnissen der Modellversuche wurde die Fassung derart ausgelegt, dass einerseits bei kleineren bis mittleren Wassermengen eine gute Umlenkwirkung vorhanden ist, andererseits bei extremen Hochwassermengen über 300 m³/s das Abflussverhalten der Reuss durch die Fassung nicht gestört ist. Zwei Buhnen in der Reuss bewirken, bei Abflussmengen bis zu 25 m³/s, jederzeit günstige Zuflussverhältnisse zum Fassungsbauwerk. An ihrer Unterseite mussten diese mit einem Blocksatz mit 3 t schweren Blöcken gegen Auskolkung geschützt werden. Die Modellversuche zeigten, dass bei Hochwasserabflüssen Blöcke mit einem Stückgewicht bis zu 12 t bewegt werden können. Dies bedingte, dass alle Blöcke einbetoniert wurden.

Die Ergebnisse aus den Versuchen ergaben weiter, dass bis zu einem Gesamtabfluss in der Reuss von 200 m³/s die Wassermengen vollständig durch den bestehenden Umleitstollen abgeführt werden. Wird dieser Grenzwert überschritten, so überströmt das überschüssige Wasser das Leitwehr und gelangt samt einem Teil des Geschiebes und des Geschwemmsels in das Ausgleichsbecken des Pfaffensprunges.

Für die Fassung wurde ein theoretisches Spülkonzept entwickelt, welches jedoch in der Praxis aufgrund verschiedener Erfahrungswerte optimiert werden muss.

2.1.2 Ausgleichsbecken Pfaffensprung

Das Stauvolumen des Staubeckens mit rund 160 000 m³ ist eher bescheiden und dient in erster Linie zur kurzfristigen Abdeckung der Leistungsspitzen. Mit diesem Volumen könnte die Kraftwerksanlage während rund 40 Minuten mit der Maximalleistung von 160 MW betrieben werden. Beachtet man das Normal-Stauziel von 806,74 m ü. M. und den minimal zulässigen Wasserspiegel, bei welchem ein Anfahren des Kraftwerkes noch möglich ist, so verbleiben knapp 100 000 m³ Volumen, mit welchem während rund 15 Minuten mit der maximalen Wassermenge von 67 m³/s turbiniert werden kann.

Bauliche Massnahmen im Becken

Im Verlaufe der letzten 70 Jahre hat die Rollierung der Böschungen grösseren Schaden genommen. Ausserdem zeigte sich, dass das linke Seeufer bei einer schnellen Absenkung des Wasserspiegels instabil würde. In Anbetracht des neuen Betriebskonzeptes mit den kurzen und hohen Leistungsspitzen, welche häufigere und schnellere Seespiegelschwankungen mit sich bringen, war es klar, dass die bestehende Verkleidung des Beckens ersetzt bzw. verstärkt werden musste.

Am rechten Ufer wurde die alte Rollierung vollständig entfernt und durch einen 1 m dicken Blockwurf bis an die neue Zufahrtsstrasse ersetzt. Zusätzlich wurde grossflächig ein Geotextil verlegt, um in Zukunft ein Auswaschen der Feinstanteile zu verhindern. Als Schüttmaterial für die neue Rollierung wurden Ausbruchmaterial des Dotierkraftwerkes, aufbereitetes Aushubmaterial aus dem Bekken und Blöcke aus dem Kernabbau der Kavernenzentrale verwendet.

2.1.3 Dotierkraftwerk

Die Dotierwassermengen wurden aufgrund der Bestimmungen des revidierten Gewässerschutzgesetzes Artikel 31 festgelegt, wobei der Kanton sein Recht auf Erhöhung der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 33 wahrgenommen hat. Das Restwasser beträgt im Jahresmittel ungefähr 6 m³/s. Während in den Monaten November bis April eine konstante Dotierwassermenge von 1,2 m³/s abgegeben wird, muss in den Monaten Mai bis September eine dynamische Dotierung in Abhängigkeit der natürlichen Pegelganglinie in der Reuss vorgenommen werden. Im Normalfall müssen die Restwassermengen alle 30 Minuten in Abstimmung des in Andermatt erfassten Referenzpegels angepasst werden.

Das bei der Staumauer Pfaffensprung vorhandene natürliche Gefälle veranlasste den Bauherrn, ein Dotierkraftwerk zu erstellen. Bis zu einer Wassermenge von 4 m³/s wird das Restwasser über die Dotierturbine geleitet. Bei einem Aus-

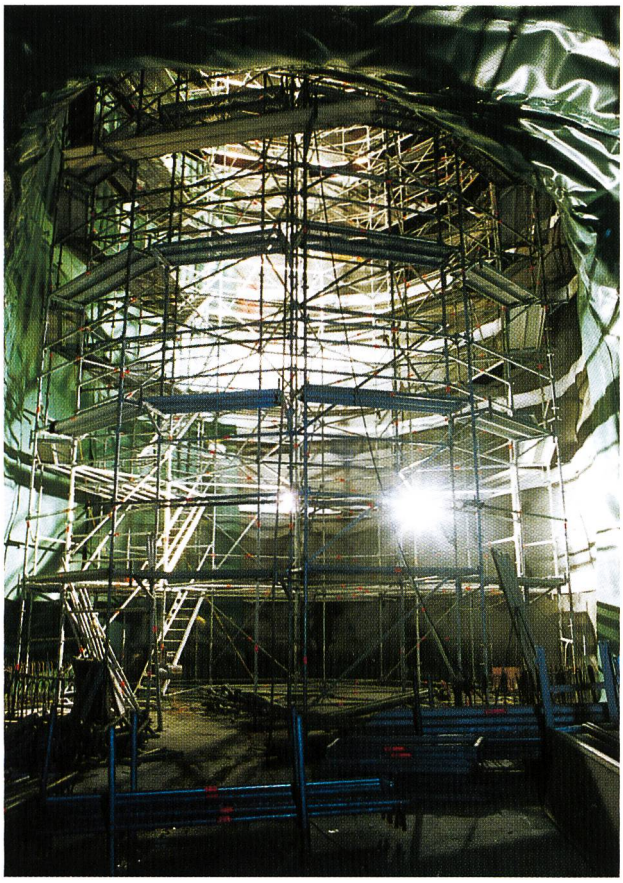


Bild 14. Gerüst für die Isolation des Wasserschlossdruckschachtes, der die untere mit der oberen Wasserschlosskammer verbindet. Der Schacht ist 25 m hoch und hat einen Ausbruchdurchmesser von 11 m (Foto *P. Mainardi* vom 3. Juni 1996).

Bild 15. Betonschalung im neuen Druckstollen. Die Betonieretappen waren 48 m lang; der Betonierfortschritt ging mit dem Wasserlauf (Foto *J. Dittli* vom 4. Februar 1997).

fall oder der Revision der Turbine ist die Dotierung über einen Bypass sichergestellt. Die Differenzwassermengen werden über den Umleitstollen abgegeben.

Der Einlauf für das Dotierkraftwerk befindet sich unmittelbar neben dem Einlauf für den neuen Druckstollen. Das Wasser wird durch einen Anschluss an den bestehenden Grundablassstollen der Staumauer zurückgegeben. Der Zugang zur rund 20 m tief gelegenen Dotierkaverne erfolgt durch einen Verbindungsgang zum bestehenden Grundablassschützenschacht, welcher mittels Lift erschlossen ist.

Unter Ausnützung eines maximalen Gefälles von 23 m beträgt die Ausbauleistung der S-Turbine 716 kW. Die Anlage wird als reines Laufkraftwerk betrieben, wobei die jährliche Energieproduktion 3,7 GWh beträgt. Das Dotierkraftwerk ist für den unbemannten Betrieb konzipiert und wird von der Leitstelle der SBB im Kraftwerk Amsteg überwacht. Der Synchrongenerator ist im Betrieb mit dem EW Altdorf parallel geschaltet. Infolge grosser Feuchtigkeit in der Kaverne sind alle elektromechanischen Steuereinrichtungen nicht unter Tage, sondern direkt über der Kaverne in einem separaten Gebäude angeordnet.

2.2 Baulos 3 (Umbau Fassung Fellibach)

Die bestehende Fassung Fellibach hat keinen Entsander und wird nur während der Wintermonate betrieben. Auf eine Nutzung der Zuflüsse im Sommer wurde bis anhin verzichtet. Im Zuge der Erneuerung des Kraftwerkes Amsteg wurde die Gelegenheit genutzt, eine Entsanderanlage einzubauen, um so auch die Sommerzuflüsse zu nutzen. Mit dem Ausbau der Fassung können neu während des ganzen Jahres Wassermengen bis zu 2,5 m^3/s genutzt werden, was die Energieproduktion um 10 GWh erhöht.

Die neue Fassung ist als Umlenkfassung konzipiert. Während das alte Wehr bestehen bleibt, kommen Entsanderbecken, Rechen, Reinigungsanlage, Trafos und Einlaufschütze in eine Kaverne zu liegen. Das Wasser wird über den bestehenden Fallschacht mit einer Tiefe von 27 m in den alten Druckstollen eingeleitet. Somit waren die baulichen Abmessungen vorgegeben, und wegen der beschränkten Platzverhältnisse war es notwendig, den Entsander in zwei Kammern aufzuteilen.

Die alte Fassung war nur über einen schmalen Fussweg erreichbar; ein befahrbarer Zugangsstollen erschliesst nun die neue Fassung.

2.3 Baulos 4 (Druckstollen und Wasserschloss)

2.3.1 Druckstollen

Vom Ausgleichsbecken Pfaffensprung verläuft der neue Druckstollen in der rechten Talflanke des Bristenstockmassivs, bergseits des bestehenden Druckstollens bis zum neuen Wasserschloss. Die gesamte Länge beträgt 7284 m,

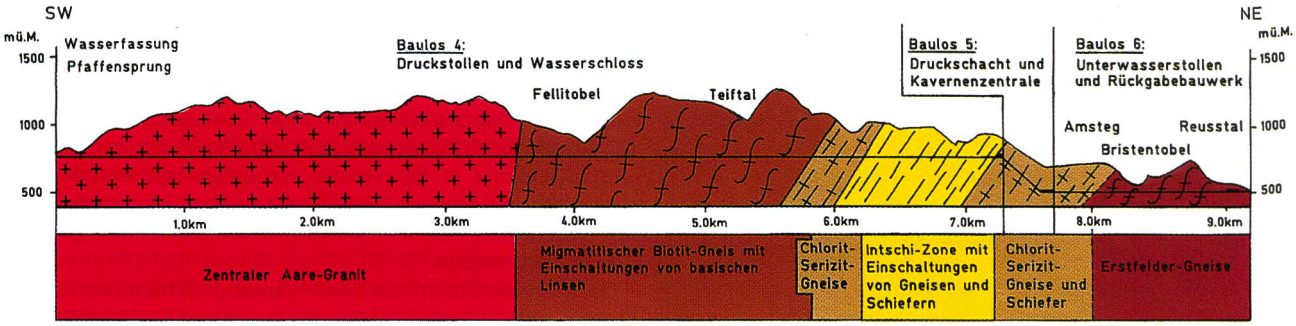


Bild 16. Geologisches Profil mit neuen Druckstollen, Druckschacht, Kavernenzentrale und Unterwasserstollen (Geologische Aufnahmen Dr. *T. R. Schneider*).

der lichte Querschnitt rund 15 m² bei einem Innendurchmesser von 4,4 m. Der neue Stollen ist auf eine Ausbauwassermenge von 50 m³/s ausgelegt und weist ein konstantes Gefälle von 2 % auf.

Geologie

Der Druckstollen kommt in seiner nördlichen Hälfte in die altkristallinen Gneise des Aaremassivs und die darin eingefalteten Gesteine der Intschi-Zone zu liegen. Während der eine Bereich insbesondere von Chlorit-Serizit-Gneisen dominiert wird, ist die Intschi-Zone vor allem durch pyritführende Schiefer charakterisiert. Da der Druckstollen im vordersten Abschnitt die Intschi-Zone mit geotechnisch sehr ungünstigen Serizit-Phylliten und karbonischen Tonschiefern durchfährt, wurde in der Ausschreibung vorgegeben, dass diese Zone beim mechanischen Vortrieb im Durchlaufbetrieb zu durchörtern sei, um ein Festklemmen des Bohrkopfes zu verhindern. Südlich der Chlorit-Serizit-Zone folgen heterogene Biotit-Gneise, innerhalb welcher auch mit Amphibolit-Komplexen gerechnet werden musste.

Ein besonderes Augenmerk in den Ausschreibungsunterlagen und bei der Wahl der Sicherungsmittel musste jedoch auf die bereits beim Bau des alten Stollens bemerkten Bergschlagerscheinungen, insbesondere im zentralen Aaregranit, gelegt werden.

Bergwasser

Die Ausschreibung des Neubauprojektes Druckstollen sagte einen geringen Wasserandrang voraus, was sich generell bestätigt hat. Quellen von Zonen mit konzentrierter Anzahl ergaben nur gerade während der ersten paar Stunden nach ihrem «Anschnitt» erhöhte Schüttungen und scheinen mehrheitlich an Klüfte gebunden zu sein sowie mit lithologischen Übergängen zusammenzuhängen (Änderung der Gesteinsstruktur und -konsistenz).

Verkleidung

Dank weitreichender Erfahrungen, welche während des Baus und Betriebes des bestehenden Druckstollens gewonnen wurden, konnten für den Verkleidungstyp des neuen Stollens die entsprechenden Anforderungen abgeleitet werden.

Bereits kurz nach Inbetriebnahme des bestehenden Druckstollens Amsteg im Jahre 1923 wurde eine Untersuchung bezüglich Rissbildung in der Verkleidung und der daraus resultierenden, hohen Wasserverluste angeordnet. Weitere im Verlauf der Jahrzehnte angeordnete Wasserabpress- sowie Injektionsversuche im Rahmen des Variantenstudiums für die Verkleidung der neuen unteren Wasserschlosskammer liessen auf eine hohe Durchlässigkeit innerhalb der Intschi-Zone schliessen. Im weiteren war klar, dass das sehr weiche Wasser zur Karbonatlösung neigt und die Verkleidung des bestehenden Triebwassersystems in den letzten Jahrzehnten buchstäblich zersetzt wurde. Angesichts der eher geringen Betriebsdrücke von etwa 3 bar und der oben beschriebenen Randbedingungen lauteten die zwei wichtigsten Anforderungen für die Betonverkleidung:

- möglichst dichte Verkleidung mit minimalster Wasserdurchlässigkeit zur Verhinderung des Auswaschens des Zementes;
- zusätzliche Abdichtungsmassnahmen im Bereich der rund 1000 m langen Intschi-Zone.

Für den Stollen wurde eine 30 cm starke unbewehrte Ortsbetonverkleidung gewählt. Dank ausgedehnter, vorgängig durchgeführter Betonvorversuche konnte unter Beigabe von Mikrosilikat und hydraulischem Kalk ein Beton mit grosser Wasserdichtigkeit erzielt werden. In der Intschi-Zone wurde eine 3 mm dicke MP-Folie zur vollflächigen Abdichtung eingesetzt. Vorfabrizierte Sohltübbinge, welche in die definitive Verkleidung integriert wurden, sorgten für eine gute Gleislage für die Schotterzüge und eine saubere Wasserhaltung.

Bild 17. Schweissarbeiten im Druckschachtfuss (Foto *P. Mainardi* vom 23. August 1995).

Bauablauf

Der Druckstollen wurde mechanisch vom Wasserschloss her ohne Zwischenangriff aufgefahren. Da von Anfang an klar war, dass der Druckstollen auf dem kritischen Weg des Gesamtbauprogrammes liegen würde, wurden in einer ersten Phase möglichst schnell der Hauptzugangsstollen, die Installationskaverne, die Startröhre für die Tunnelbohrmaschine (TBM) sowie der Schutterschacht zum Unterwasserstollen für die Entsorgung des Fräsmaterials ausgebrochen.

Wegen der sehr engen Platzverhältnisse mussten sämtliche Installationen unter Tage in einer Installationskaverne mit über 120 m² Ausbruchquerschnitt angeordnet werden. In dieser wurden auch die Brecheranlage für das konventionelle Ausbruchmaterial des Wasserschlossbereiches, eine vollautomatische Betonanlage mit entsprechenden Silos für Zement und Betonzuschlagsstoffe sowie der Bahnhof für den Materialumschlag aus dem Fräsbetrieb untergebracht.

Um in der durch Serizit-Phyllite charakterisierten Intschi-Zone ein Festklemmen des Bohrkopfes zu verhindern, wurde dieser rund 1000 m lange Tunnelabschnitt im Durchlaufbetrieb durchörtert. Zudem war hier ein erhöhter Sicherungsaufwand nötig, so dass der Bohrdurchmesser von 5,08 m auf 5,20 m vergrössert wurde. Glücklicherweise waren während des Vortriebes bedeutend kleinere Konvergenzen als prognostiziert zu verzeichnen.

Um bestmöglich mit den variierenden geologischen Verhältnissen entlang des Stollens fertigzuwerden und im harten und sehr abrasiven Granit hohe Schneidleistungen zu erreichen, hat die ausführende ARGE die neuste Genera-

tion einer offenen Hartgesteins-TBM, Typ Jarva Mk 15 von Robbins erworben. In Spitzenzeiten wurden maximale Vortriebsleistungen von 270 m, im Durchschnitt etwa 90 m pro Woche erzielt.

Gemäss Ausschreibung wurde der Bohrkopf der TBM sehr kurz gehalten. Der Stützmitteleinbau konnte bereits 2,7 m hinter der Ortsbrust zwischen dem Staubschild und der vorderen Gripperebene erfolgen. Dort wurde die TBM mit einem Ringerektor zum Versetzen von Stahlbögen ausgerüstet. Im selben Bereich konnte mit zwei hydraulischen Ankerbohrlaffeten gearbeitet werden. Der Nachläufer erreichte die beachtliche Länge von über 200 m.

Im zentralen Aaregranit trat trotz den geringen Überlagerungen von maximal 500 m in kleinem Masse Bergschlag auf. Dieses Phänomen wurde bereits beim 1920 konventionell ausgebrochenen Druckstollen der bestehenden Anlage beobachtet. An einzelnen Stellen wurden schalenartige Ablösungen beobachtet, die einen grösseren Sicherungsaufwand notwendig machten. Nach Beruhigung der beobachteten Phänomene war eine nachträgliche Felsreinigung und erneute Sicherung der entsprechenden Zonen nötig.

2.3.2 Wasserschloss

Disposition und hydraulische Untersuchungen

Erste hydraulische Untersuchungen im Jahre 1990 haben gezeigt, dass die bestehende Wasserschlossanlage dem neuen Betriebskonzept und den grösseren Nutzwassermengen nicht genügt und somit eine neue Wasserschlossanlage konzipiert werden muss. Der Entwurf der Wasserschlossanlage gestaltete sich aufgrund verschiedenster Randbedingungen als äusserst komplexe Aufgabe.

Da der bestehende Druckstollen aus dem Jahre 1922 weiter in Betrieb bleiben soll, war damit der minimal mögliche Wasserspiegel in der unteren Wasserschlosskammer festgelegt.

Rund 20 % des Wasserbedarfs für das neue Kraftwerk werden durch Zuflüsse aus dem Maderanertal gedeckt. Diese werden in einem Freispiegelstollen, dem sogenannten Bristenstollen, dem Wasserschloss zugeführt. Der Bristenstollen wird mit einem neuen Verbindungsstollen an die obere neue Wasserschlosskammer angeschlossen. Um bei einem allfälligen Aufschwung im Wasserschloss einen Rückstau in den Freispiegelstollen und somit ein Überfluten der Fassungen zu verhindern, musste der maximal zulässige Wasserspiegel im Wasserschloss auf 812 m ü. M. begrenzt werden.

Die untere und die obere Kammer des Differentialwasserschlosses werden über einen 20 m hohen Schacht mit 10 m Durchmesser miteinander verbunden. Das Volumen der unteren Kammer und der Einbau einer Drossel ergaben sich vor allem aus der Bedingung, dass bei Ruhewasserspiegel alle vier Turbinen innerhalb von 30 Sekunden angefahren werden können. Die Drossel in Form vertikaler Drosselstäbe aus Stahlprofilen erzeugt beim Ein- wie auch beim Ausströmen des Wassers in der unteren Kammer Verluste verschiedener Grössen.

Eine Überfalltulpe am oberen Ende des vertikalen Schachtes auf Kote 815 m ü. M. erlaubt beim Aufschwung einen freien Überfall der Wassermassen in die obere Kammer. Da die Sohlkote des Bristenstollens rund 10 m tiefer liegt, ist der Vertikalschacht unterhalb dieser Kote als Wirbelfallschacht ausgebildet. Somit ist sowohl ein einwandfreies (d. h. ohne Mitreissen grösserer Luftmassen) Einleiten der Zuflüsse aus dem Freispiegelstollen als auch eine schnelle Entleerung der oberen Kammer möglich. Um jedoch bei einem Aufschwung im Wasserschlossschacht zu garantieren, dass die Wassermassen via Überfalltulpe und nicht durch tiefer gelegene Einlauföffnung des Bristenstollens in die obere Kammer geleitet werden, wird der Einlauf im unteren Teil des Schachtes mit einem selbsttätigen Regulierorgan ausgestattet. Die Steuerung des letzteren erfolgt durch Wasserspiegeldifferenzen in der oberen Kammer bzw. im Wasserschlossschacht. Beim Aufschwung wird die Klappe verschlossen, sobald der Wasserspiegel im Schacht höher als derjenige in der oberen Kammer liegt. In diesem Fall strömen die Zuflüsse aus dem Freispiegelstollen automatisch in die obere Kammer. Beim Abschwung öffnet die Klappe, sobald der Wasserspiegel im Schacht tiefer als jener in der oberen Kammer liegt.

Da die Segmentschütze völlig unabhängig von jeglicher ölhydraulischen oder elektrischen Steuerung ist und nur über den Differenzwasserdruck gesteuert wird, ist die Betriebssicherheit in allen Fällen garantiert.

Um das komplexe Layout der Wasserschlossanlage möglichst naturgetreu zu prüfen und zu optimieren, wurde die Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Zürich mit Modellversuchen beauftragt. In einer ersten Phase wurden die untere Kammer und die Drosselstäbe optimiert. Hier zeigte sich, dass – gestützt auf Erfahrungen ähnlicher bereits ausgeführter Kraftwerke – die für die Drosselkoeffizienten getroffenen Annahmen ungenügend waren. Eine genauere Untersuchung und Optimierung am Modell erwies sich als zweckmässig. In einer zweiten Phase wurden am Gesamtmodell verschiedene Lastfälle des Kraftwerkes Amsteg simuliert, die Lage und Grösse des Regulierorganes sowie die optimale Ausbildung des Wirbelfallschachtes untersucht. Einmal mehr zeigte sich, dass Modellversuche ein unumgängliches Instrument zur optimalen Lösungsfindung hydraulisch komplexer Problemstellungen sind.

Verkleidung

Da insbesondere im Normalbetrieb die untere Kammer ständig höheren Betriebsdrücken unterliegt und die obere Kammer nur im Extremfall, also beispielsweise bei einer Notabschaltung, teilweise mit Wasser gefüllt wird, unterscheiden sich die Verkleidungskonzepte der beiden Kammern grundsätzlich voneinander.

Die Verkleidung der unteren Kammer musste nebst den Anforderungen an erhöhte Dichtigkeit (Wasserverluste und Gefahr der Karbonatlösung) einem allfälligen Aussenwasserdruck, bedingt durch Wasserverluste aus der oberen Kammer, standhalten. Vorgängig durchgeführte Wasserabpress- und Injektionsversuche zeigten, dass das umliegende Gebirge extrem zerklüftet und ein Injektionsschirm als Abdichtungsmassnahme unzweckmässig ist. Somit wurde auf dieselbe Lösung wie beim Druckstollen zurückgegriffen, d. h. Wahl einer Betonverkleidung mit vollflächiger Abdichtung mittels Folie. Um der Gefahr eines zusätzlichen Aussenwasserdruckes auf die Verkleidung entgegenzutreten, wurde um die untere Kammer ein separater Drainagestollen ausgebrochen.

Die obere Kammer wird nur mit einer armierten Spritzbetonverkleidung versehen.

Bauablauf

Sämtliche Anlageteile im Bereich der Wasserschlossanlage wurden konventionell ausgebrochen. Vorerst wurde das Ausbruchmaterial in einen Vorbrecher gegeben und über das entlang der Druckleitung erstellte Schrägförderband ins Baulos 5 transportiert. Nach beendigtem Ausbruch der unteren Kammer und des Schachtes konnte das Ausbruchmaterial via Wasserschlossschacht und separat erstelltem Schutterschacht direkt abtransportiert werden.

2.4 Baulos 5 (Kavernenzentrale und Druckschacht)

2.4.1 Druckschacht

Der Druckschacht bildet mit einer Länge von 382 m und einer Neigung von 85 % das Verbindungsstück zwischen Druckstollen und Verteilleitung und überwindet eine Höhendifferenz von 247 m. Der bezüglich Reibungsverlusten und Erstellungskosten optimierte Innendurchmesser beträgt 3,6 m.

Wegen des kleinen Innenwasserdruckes von maximal 35 bar wurden im Vorprojekt Alternativen zur gepanzerten Innenverkleidung untersucht. Im Vordergrund standen dabei eine Folienverkleidung analog Druckstollen und unterer Wasserschlosskammer. Nähere Abklärungen mit Vertretern der Tiroler Kraftwerke, welche diese Methode schon mehrmals in Druckstollen mit ähnlichen Druckverhältnissen wie beim Druckschacht Amsteg angewendet hatten, vermochten jedoch den Bauherrn nicht davon abzubringen, die bewährte Methode der Stahlinnenpanzerung anzuwenden.

Wegen des geringen Innendruckes war schliesslich der Aussenwasserdruck, welcher auf den maximalen Wasserspiegel in der oberen Wasserschlosskammer festgelegt wurde, für die Bemessung der Stahlpanzerung massgebend. Somit ergaben sich am Fuss des Druckschachtes mit der gewählten Stahlqualität P 355 NL 1 Stahlstärken von maximal 33 mm; am Schachtkopf konnte diese auf die für den Transport massgebende Stärke von 16 mm beschränkt werden. Als zusätzliche Beulsicherheit wurden die einzelnen Rohrschüsse mit je einer Querrippe in Form eines UNP-Profils 120 verstärkt. Die Verteilleitung sowie der Bereich des Druckstollens bis zum Einlauf in die untere Wasserschlosskammer wurden ebenfalls gepanzert. Insbesondere bei der Panzerung des Druckstollens zeigte sich, dass bei 5,1 m Durchmesser eine Stahlstärke von nur 16 mm das untere Limit darstellt.

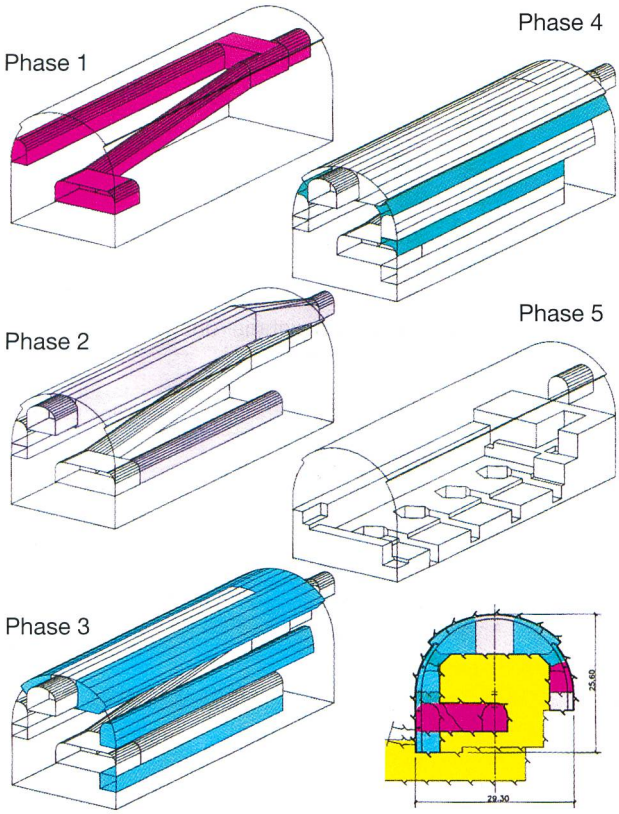


Bild 18. Ausbruchphasen für die Kavernenzentrale Amsteg.

Bild 19. Montage der Startröhre für die Druckschachtfräse. Der Schacht ist 382 m lang und hat ein Gefälle von 85 %. Vom Fuss wurde der Schacht mit 3,8 m Durchmesser Richtung Wasserschloss gefräst. Nachher wurde der Schacht in Gegenrichtung auf 4,2 m aufgeweitet (Foto *P. Mainardi* vom 23. August 1995).

Die Länge der einzelnen Rohrschüsse musste wegen der engen Kehrtunnels der Bristenstrasse auf 6 m beschränkt werden.

Bauvorgang

Der Druckschacht wurde vom Druckschachtfuss als Ausgangspunkt mechanisch aufgefahren.

Da die Panzerung mit Innendurchmesser von 3,6 m zusätzlich mit Aussteifungsringen versehen war, blieb stellenweise nur 15 cm Raum zwischen Panzerung und theoretischem Ausbruchrand. Deshalb wurde in den Ausschreibungsunterlagen eine Bohrgenauigkeit mit einer maximalen Abweichung von 5 cm aus der Sollachse verlangt. Die ausführende Unternehmung wählte einen Bauvorgang, bei welchem der Druckschacht in einer ersten Phase von unten nach oben mit einer Pilotbohrung von 3,8 m Durchmesser aufgefahren wurde. Nach dem Durchschlag auf dem Niveau der Drosselklappenkammer wurde der Bohrkopf der TBM auf den definitiven Durchmesser von 4,2 m umgebaut und die Maschine zurückgezogen. Die Abweichungen betrugen dank dieser Bauweise im Mittel nur gerade 3 cm.

Abgesehen von einem grösseren Wassereinbruch mit einer maximalen Schüttung von 350 l/min im oberen Drittel des Schachtes traten keine besonderen Schwierigkeiten auf. Die geologischen Verhältnisse stellten sich während des Vortriebes als so günstig heraus, dass nach wenigen Metern in Absprache mit der Suva die Sicherung auf wenige GFK-Anker reduziert werden konnte. Dadurch konnte die Bauzeit dieses Losabschnittes erheblich verkürzt werden.

Bezüglich der Wahl eines geeigneten Betons für die Hinterfüllung der Panzerrohre mussten verschiedene erschwerende Randbedingungen berücksichtigt werden. Einerseits konnte der Fliessbeton nur beschränkt und ohne Gewähr auf Erfolg mittels an der Innenseite der Panzerung befestigten Vibratoren verdichtet werden. Andererseits musste der Pumpbeton über Distanzen von beinahe 500 m und Höhendifferenzen von 250 m gefördert werden. Gebrochene Zuschlagstoffe und das Fehlen genügender Mehlkornanteile erschwerten die Aufgaben zusätzlich und machten ausgiebige Betonvorversuche mit verschiedenen Rezepten notwendig. Letztendlich wurden mit einem Fliessbeton der Festigkeit B30/20, einem Grösstkorn von 16 mm, maximalem W/Z-Wert von 0,55 und der Beigabe von hydraulischem Kalk und Mikrosilikat die hohen Anforderungen erfüllt.

2.4.2 Kavernenzentrale

Allgemeine Überlegungen

Der Einbau vertikalachsiger Peltonturbinen, mit der Forderung nach möglichst stabiler Fundation auf Fels, günstige geologische Verhältnisse sowie die beschränkten Platzverhältnisse für Baustelleninstallationen führten zum Bau einer Kaverne anstelle einer traditionellen Lösung mit freistehender Zentrale. Die Realisierung einer einzigen Kaverne statt getrennter Kavernen für Kugelschieber, Transformatoren und Turbinen ergab eine äusserst kompakte und wirtschaftliche Lösung. Daraus resultierten aussergewöhnliche Querschnittsabmessungen. Die optimale Lage der Kavernenachse bezüglich des Trennflächengefüges und ein schonender Bauvorgang im Teilausbruchsverfahren, abgestützt auf felsstatische Berechnungen, ermöglichten einen sicheren und wirtschaftlichen Ausbruch der Kaverne.

Layout

Die Kavernenzentrale wird durch einen 130 m langen Hauptzugangsstollen auf Maschinensaalniveau erschlossen. Zwei weitere Stollen versorgen die Zentrale mit Frischluft und Trinkwasser und führen die Hochspannungskabel der Freiluftschaltanlage zu. Diese drei Zugangsstollen ermöglichten während der Ausbrucharbeiten ein hohes Mass an Flexibilität für die Erschliessung der Vortriebsbaustellen.

Räume, welche einer Maschinengruppe zugeordnet werden können, sind für alle vier Gruppen untereinander gleich angeordnet. Die Kavernenzentrale weist insgesamt sechs Geschosse auf. Die vertikale Erschliessung erfolgt über drei Treppenhäuser und drei Schächte für Leitungs- und Kabeltrassees.

Die Kugelschieber befinden sich in einer separaten Kammer, welche durch eine 1 m dicke Betonmauer von den anderen Räumlichkeiten abgetrennt ist. Die Zugänge sind durch Panzertore verschlossen, und im Extremfall eines Rohrbruches werden die Wassermassen über Klapproste in den Unterwasserkanal entlastet.

Obwohl die Maschinenfundamente auf massivem Fels fundiert sind, waren bezüglich des dynamischen Verhaltens besondere Untersuchungen notwendig. Detaillierte Finite-Elemente-Berechnungen mit dem Programm Fenas zeigten, dass die Eigenfrequenz bei 53 Hz über der Erregerfrequenz von 33⅓ Hz lag. Dennoch wurde zwecks Mobilisierung zusätzlicher Masse jeder Maschinenblock mit je 1000 t Vorspannkraft in den Untergrund verankert.

Geologie

Sämtliche neuen Anlageteile liegen im mittleren bis nördlichen Teil des Aaremassivs. Die Kavernenzentrale selbst ist vollständig im Chlorit-Serizit-Gneis/Schiefer. Im Rahmen einer im Jahre 1961 durchgeführten Ausbaustudie wurde ein 130 m langer Sondierstollen ausgebrochen, welcher die geplante Kaverne im südlichen Teil durchquert und somit für die Planung und Ausführung wertvolle Aufschlüsse liefern konnte. Der Chlorit-Serizit-Gneis stellt ein recht standfestes Gebirge dar, und Störungen, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Standsicherheit der Kavernenzentrale ausüben könnten, wurden keine beobachtet.

Sechs Monate für 25 m Zugangsstollen

Im Portalbereich der Zugangsstollen musste eine Lockergesteinszone von 25 m Mächtigkeit durchörtert werden. Die Lockergesteinsstrecke besteht vorwiegend aus grobblockigem Schutt- bzw. Ausbruchmaterial, welches vom Bau der bestehenden Gotthardeisenbahnlinie stammt. Feinanteile sind kaum vorhanden, zudem befindet sich die Neigung des Hanges an der Stabilitätsgrenze. Da die Gotthardlinie der SBB teilweise auf dieser Schüttung verläuft, musste der Ausbruch der Stollen im Lockergestein möglichst schonend erfolgen. Nach ausgiebigen Variantenstudien stand als Baumethode ein Vortrieb im Schutz eines Rohrschirmes im Vordergrund. Der Querschnitt des Hauptzugangsstollens wurde in Kalotte und Strosse unterteilt, wobei die Sicherung der Ortsbrust mittels Rohrinjektionsankern, Spritzbeton und Stützkeil zwingend erforderlich war. Der Vortrieb in Abschnitten von 1 m erfolgte im Schutz von 18 Schirmrohren. Die Sicherung des Ausbruchquerschnittes geschah mit Gitterbogen, Baustahlgitter und Spritzbeton. Zur Erreichung möglichst geringer First- und Gesamtsetzungen wurde der Kalottenfuss verbreitert und ein sofortiger, 20 cm starker, bewehrter Sohlschluss ausgeführt. Nach beendeten Ausbrucharbeiten in der Kalotte wurde die Strosse nachgezogen. Dabei wurde das Gebirge maximal 1,5 m geöffnet und ebenfalls ein sofortiger Sohlschluss ausgeführt. Die Ulmensicherung erfolgte analog zu den Sicherungsarbeiten in der Kalotte. Nachdem die Lockergesteinsstrecke über die ganze Länge aufgefahren und gesichert war, wurde eine 35 cm starke, bewehrte Innenschale aus Ortsbeton eingezogen. Besondere Mühe bereiteten mehrere Kubikmeter grosse Blöcke, die von Hand abgebaut werden mussten. Sprengarbeiten waren nicht erlaubt, da der erschütterungsempfindliche Batterieraum der bestehenden Zentrale nur wenige Meter von der Baustelle entfernt war.

Verkleidungskonzept

In der Kalotte wurde als Vortriebssicherung eine systematische Sicherung mit vollvermörtelten Ankern und netzarmiertem Spritzbeton von 15 cm Stärke verwendet. In den Paramenten wurde aufgrund der Stabilitätsberechnungen ebenfalls eine systematische Sicherung mit 4 m langen Swellex-Ankern und Stahlfaserspritzbeton von 15 cm Stärke gewählt. Die Ausbruchränder des Kerns wurden provisorisch mit GFK-Ankern und Spritzbeton gesichert.

Die definitive Verkleidung ist für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren ausgelegt und hat den Innenraum selbst bei Erdbeben vor grösseren Niederbrüchen zu schützen.

Die Kavernenränder wurden mit Gewölberingen aus unarmiertem Ortsbeton von 4,5 m Breite verkleidet. Die Stärke der Verkleidung beträgt im First 0,7 m und im Paramentbereich 1 m. Die einzelnen Gewölberinge werden durch eine bis zum Fels durchgehende Ringfuge von 1 m Breite voneinander getrennt. Dadurch kann anfallendes Gebirgswasser gesammelt und über ein Leitungssystem am Paramentfuss geführt werden.

Kavernenausbruch
Der Hohlraum wurde derart ausgebrochen, dass die Spannungsumlagerungen unter bester Nutzung der mechanischen Eigenschaften des Gebirges mit möglichst geringen Formänderungen verbunden waren. Dadurch konnten eine Entfestigung des Gebirgskörpers verhindert und ein wirtschaftlicher Ausbau gewählt werden.

Je nach geologischen Verhältnissen können mehrfache Spannungsumlagerungen, bedingt durch einen Bauvorgang mit Teilausbrüchen, zu einer zunehmenden Entfestigung führen. So zeigte sich beim Bau anderer Kavernen, dass das angeblich schonende Teilausbruchsverfahren durch die vielen Spannungsumlagerungen zum Öffnen verkitteter Klüfte führte und die Zeitspanne zwischen Ausbruch und kraftschlüssigem Hinterbetonieren zu lange war, um einen formstabilen Ausbau zu gewährleisten. Entgegen den felsmechanischen Randbedingungen ist der Bauunternehmer bestrebt, mit leistungsfähigem Vortriebsinventar möglichst grossräumig auszubrechen. Ein Verkürzen der Bauzeit durch den optimierten Einsatz von Installationen und Personal kommt schliesslich auch dem Bauherrn zugute.

Abgestützt auf detaillierte felsmechanische Berechnungen mit dem Finite-Elemente-Programm «Trimas» erfolgte der Ausbruch durch ringförmiges Aufschlitzen von Paramentstollen mit sofortiger Verkleidung sowie dem gleichzeitigen Aufweiten und Einziehen des Gewölbebetons im Kalottenbereich.

Der Ausbruch der Kaverne begann mit der Erschliessung des Paramentbereiches über den Hauptzugangsstollen. Entlang der Kavernenachse wurde ein Erschliessungsstollen mit einem Gefälle von 15 % bis zum südlichen Ende der Kaverne vorgetrieben. Danach wurde auf tiefstem Niveau, entlang der rechten Kavernenwand, ein Paramentstollen ausgebrochen.

Ein weiterer Paramentstollen wurde auf Niveau der späteren Maschinenhalle entlang der linken Kavernenlängswand gesprengt.

Das Aufschlitzen der Paramentstollen mit nachfolgender Verkleidung mit Ortsbeton erfolgte von unten nach oben. Das anfallende Ausbruchsmaterial wurde liegen gelassen und diente als Arbeitsplanum von Bohr- und Schuttergeräten sowie der Schalung für die jeweils nachfolgende Aufweitungsetappe. Der Abtransport des gesprengten Materials erfolgte später zusammen mit dem grossflächigen Abbau des Kerns.

Parallel zum Ausbruch im Paramentbereich wurde vom Leistungskabelstollen im Firstbereich der Kaverne ein Stollen mit einem Querschnitt von etwa 45 m^2 bis ans südliche Ende der Kaverne vorgetrieben. In einem nächsten Schritt wurde die Kalotte wechselseitig aufgeweitet, systematisch gesichert und ringweise mit Ortsbeton verkleidet. Um in der kritischen Ausbruchsphase, dem Schulterdurchbruch und anschliessendem Ringschluss, eine globale Tragwirkung des Betongewölbes zu erreichen, wurde der Fuss des Kalottengewölbes verbreitert und mit insgesamt 64 Vorspannankern von je 1000 kN Gebrauchslast verankert. Zudem wurde die Schulterpartie auf eine Länge von maximal 10 m geöffnet.

Nach Abschluss der Ausbrucharbeiten im Parament- und Kalottenbereich wurde grossflächig der Kern abgebaut mit Leistungen bis zu 550 m^3/Woche. Mit einer Höhe und Breite von über 30 m und einer Länge von 90 m betrug das Ausbruchvolumen rund 58 000 m^3.

Nach nur elf Monaten war die Kavernenzentrale Amsteg komplett ausgebrochen und verkleidet, so dass der Rohbau in Angriff genommen werden konnte.

Deformationsmessungen
In der Kalotte wurden zwei Messquerschnitte mit je einem Gleitmikrometer im First von 20 m Länge und je zwei 3fach-Extensometer im Kämpferbereich eingerichtet. Im rechten Parament wurden zusätzlich zwei 3fach-Extensometer installiert. Um eine möglichst ungestörte Nullmessung vornehmen zu können, wurden beim Auffahren der Kalotte vom Firststollen aus im Bereich der gewählten Messquerschnitte vor Beginn der Kalottenausweitung zwei seitliche Kammern ausgebrochen und die Instrumente versetzt. Die in den Extenso- und Gleitmikrometern durchgeführten Messungen wurden mit Konvergenzmessungen kontrolliert. Das Messkonzept diente insbesondere dazu, die für die Gewölbeverkleidung getroffenen Berechnungsannahmen zu überprüfen und die Felssicherung allenfalls anzupassen. Die gemessenen Deformationen betrugen im Maximum 5 mm, wobei der Hauptanteil während des Schulterdurchbruches zu verzeichnen war.

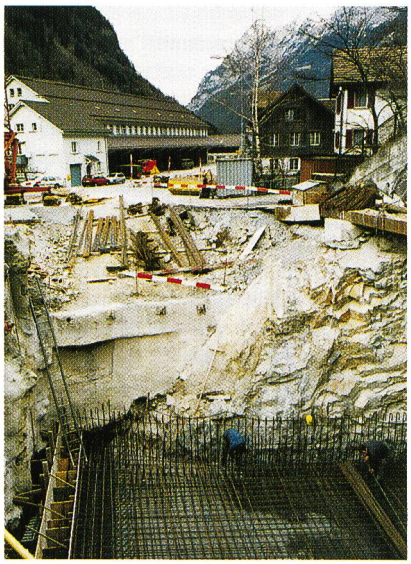
Wichtige Erfahrungen während des Baus
Gemäss den Ausschreibungsunterlagen hatten der Ausbruch und die Gewölbeverkleidung so zu erfolgen, dass Abschnitte von maximal 20 m unverkleidet blieben. Aufgrund der günstigen geotechnischen Verhältnisse wurde jedoch beschlossen, die Kalotte auf die halbe Kavernenlänge mit sukzessivem Einbringen der systematischen Sicherung aufzuweiten, bevor mit der Ortsbetonverkleidung begonnen wurde. Dadurch konnte das Abklingen von Setzungen abgewartet werden, was mit grossem Erfolg zur Reduktion von Rissen im First des Gewölbebetons geführt hat. Mitunter entscheidend für diesen Erfolg war auch das fristgerechte Ausschalen des jungen Betons. Zu lange Einschalfristen können zu entsprechender Verformungsbehinderung und somit zur Förderung der Rissebildung führen.

Wie Erfahrungen von bestehenden Anlageteilen beim Kraftwerk Amsteg, insbesondere im Druckstollen, belegen, führt das im vorliegenden Falle sehr weiche Bergwasser im Laufe der Zeit zur Betonentfestigung, so dass der Betonqualität hinsichtlich Rissefreiheit und Dichtigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden musste.

Auch die Ausbruchquerschnitte der Paramentstollen konnten weitgehend auf die Bedürfnisse des Unternehmers und die minimal erforderlichen Platzverhältnisse für das Versetzen der Anker abgestimmt werden. Die Breite der Paramentstollen musste zudem an die statischen Anforderungen der Abspriessung für die Schalung angepasst werden. Bei Betonieretappen von über 6 m Höhe durfte der enorme Schalungsdruck nur am gegenüberliegenden Kern abgestützt werden, eine Rückverankerung am definitiven Ausbruchrand war nicht zulässig.

Abgestimmt auf die Brecheranlage der Materialaufbereitungsanlage hatte der Kernabbau derart zu erfolgen, dass die Blöcke eine maximale Kantenlänge von 80 cm aufwiesen. Die Vorteile des grossräumigen Kernabbaus zeigten sich nicht nur in den Vortriebsleistungen, sondern auch bei der vielseitigen Verwendung der gewonnenen Blöcke als Wasserbausteine für die Sanierungsarbeiten des Ausgleichsbeckens Pfaffensprung.

Zwei voneinander unabhängige Vortriebsbaustellen im Kalotten- und Paramentbereich sowie die Optimierung der Ausbruchquerschnitte bezüglich der geologischen Verhältnisse führten zu einer sicheren und wirtschaftlichen Realisierung der Kaverne.



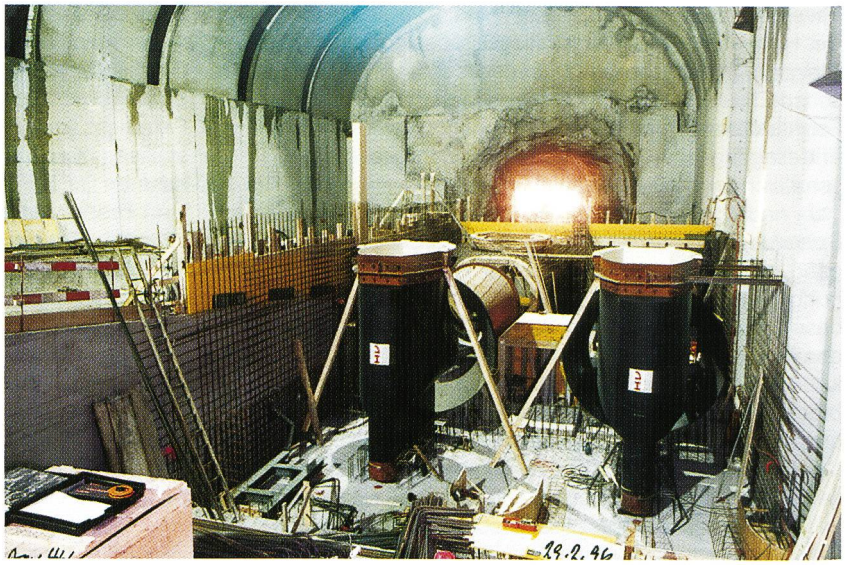


Bild 20, links. Blick von Süden in das Rückgabebauwerk. Nach Fertigstellung führt die zeitweise umgeleitete Kantonsstrasse wieder über das Bauwerk (Foto *P. Mainardi* vom 10. Januar 1996).

Bild 21, rechts. Regulierkaverne mit Turbinenschachtpanzerung und Saugrohrvorrichtung für die zwei Rohrturbinen. Blick Richtung Unterwasserstollen (Foto *P. Mainardi* vom 29. Januar 1996).

2.5 Baulos 6 (Unterwasserstollen und Regulierkraftwerk)

2.5.1 Unterwasserstollen

Die Linienführung des Unterwasserstollens (Speichervolumen 50000 m³) wurde so gewählt, dass bei der Unterquerung des Chärstelenbaches eine minimale Felsüberdeckung von rund 30 m vorhanden bleibt. Durch die Länge des Stollens von 1300 m und das geforderte Speichervolumen ergab sich der notwendige Querschnitt von 55 m². Auf den obersten 300 m durchfährt der Stollen Chlorit-Serizit-Gneise und Schiefer, anschliessend geht er in Erstfelder Gneise über. Der Stollen wurde vollständig konventionell im Vollquerschnitt aufgefahren, entgegen der Submissionsunterlagen, wo noch ein Kalottenvortrieb mit anschliessendem Strossenabbau vorgesehen war.

Das Normalprofil weist einen beinahe halbkreisförmigen Querschnitt auf. Die Auskleidung des Gewölbes und der Seitenwände erfolgte mit einer 30 cm starken Ortsbetonschale. Im Unterwasserstollen selbst wurden keine erhöhten Anforderungen an die Dichtigkeit der Auskleidung gestellt, so dass lokal vereinzelte Wasserverluste möglich sind. Deshalb kann sich, durch die grossen und raschen Wasserspiegelschwankungen im Stollen, ein Aussenwasserdruck aufbauen, welcher vor allem in der Sohlplatte mit einer Spannweite von 10 m zu erhöhten Beanspruchungen führen kann. Demzufolge wurde ein Sohlgewölbe von 40 cm Stärke vorgesehen.

Aufgrund ausgedehnter Vorversuche war bekannt, dass sich das Ausbruchmaterial des Unterwasserstollens, welcher auf den ersten 700 m Erstfelder Gneise durchfährt, besonders gut für die Aufbereitung zu Betonzuschlagstoffen eignet. Aus diesem Grund wurde der konventionelle Vortrieb des Unterwasserstollens frühzeitig in Angriff genommen, um rechtzeitig einen genügenden Vorrat an Zuschlagstoffen bereitstellen zu können.

2.5.2 Regulierkraftwerk

Am Ende des Unterwasserstollens befindet sich eine Regulierkaverne für die dosierte Rückgabe des turbinierten Wassers. Dank der gewählten Linienführung des Stollens kann zusätzlich ein Gefälle von rund 4,5 m genutzt werden. Die Regulierkaverne beinhaltet ein komplettes Kleinkraftwerk mit den entsprechenden Notentlastungsorganen.

Regulierkonzept

Anzahl und Art der Regulierorgane bestimmen die Höhenlage der Turbinenachse in der Kavernenzentrale Amsteg. Für mehrere mögliche Betriebs- und Regulierfälle wurden eingehende hydraulische Berechnungen durchgeführt, aufgrund derer eine Optimierung bezüglich Einbaukote für die Turbinen in der Hauptkaverne, Betriebssicherheit und entsprechende Wahl der Regulierorgane möglich war. Auch bei Versagen sämtlicher Entlastungsorgane muss ein uneingeschränkter Turbinierbetrieb möglich sein.

Aus diesen Überlegungen ergaben sich folgende Elemente für die Regulierung:

- Im Normalfall Regulierung über zwei Kegelradrohrturbinen oder mit einer Segmentschütze;
- bei deren Ausfall Regulierung über eine absenkbare Klappe und einen festen seitlichen Überfall von 27 m Länge.

Die Ausbauwassermenge ist durch die maximal zulässige Rückgabemenge im Sommer auf 50 m³/s beschränkt. Bei einer maximalen Fallhöhe von 4,5 m beträgt die Ausbauleistung somit 1,6 MW. Basierend auf Modelltagesganglinien wurde für das Regulierkraftwerk eine jährliche Energieproduktion von 6,5 GWh errechnet. Gemäss Auflagen des Gewässerschutzes bzw. der Plangenehmigungsverfügung wurden für verschiedene Perioden des Jahres unterschiedliche Rückgabemengen vorgeschrieben. So dürfen die maximalen Wassermengen von 50 m³/s nur während der Sommermonate turbiniert werden. In der Übergangszeit und im Winter betragen die Rückgabewassermengen lediglich 35 bzw. 25 m³/s.

Layout

Der eigentliche Maschinensaal ist in einen Turbinen- und einen Elektroteil aufgegliedert. Die Turbinen sind in einem 5 m tiefen Schacht untergebracht. Dieser ist über eine Leiter von einer Plattform aus erreichbar. Auf dieser Plattform befinden sich Trafos und die aufgesetzten Generatoren.

Da ohnehin eine Regulierkaverne mit den entsprechenden Entlastungsorganen hätte angeordnet werden müssen, stehen die zusätzlichen Kosten für Bau und Elektromechanik des Kleinkraftwerkes günstig zum Energiegestehungspreis der Anlage.

Der Bauvorgang und das Verkleidungskonzept erfolgen nach dem gleichen Prinzip wie bei der grossen Maschinen-

kaverne. Der Ausbruchquerschnitt beträgt 300 m² und das Ausbruchvolumen 30 000 m³.

3. Materialentsorgung

3.1 Allgemeine Überlegungen und Konzept

Umweltschutzgründe, strenge Auflagen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung sowie die beschränkten Platzverhältnisse im engen Reusstal forderten spezielle Lösungen bezüglich der Materialbewirtschaftung. Bei der Erneuerung des Kraftwerkes Amsteg fielen rund 1,2 Mio t Ausbruchmaterial an, wovon rund 200 000 t zu Betonzuschlagstoffen aufbereitet wurden. Da die einzelnen Baulose zeitlich gestaffelt zur Ausführung gelangten, somit also auch der Anfall an Ausbruchmaterial bzw. der Bedarf an gebrochenen Zuschlagstoffen verschieden war, waren vorgängig eine genaue Materialbilanz und eine Analyse bezüglich der Verwendbarkeit verschiedener Gesteinssorten erstellt worden.

Die Gesteine der Intschi-Zone (vorderer Bereich des Druckstollens) schieden aufgrund ihrer zu starken Tektonisierung und des hohen Glimmeranteils sowie der kleinräumigen Wechsellagerung für die Weiterverwendung a priori aus. Dagegen eignen sich der Aaregranit sowie die Chlorit-Serizit-Gneise des Altkristallins. Vor Baubeginn ergaben Untersuchungen und Vorversuche, dass das Ausbruchmaterial des konventionell aufgefahrenen Unterwasserstollens, welcher grösstenteils in Gneiszonen (sog. Erstfelder Gneise) verläuft, sich bestens für die Weiterverwendung von Betonzuschlagstoffen eignet. Zudem wurden an bestehenden Bauwerken, welche mit gebrochenen Zuschlagstoffen erstellt wurden, Bohrkerne entnommen, um Analysen bezüglich Alkali-Aggregat-Reaktion durchzuführen.

3.2 Materialaufbereitungsanlage

In einem separaten Baulos (Los 7.1), im Bereich des Portals des Unterwasserstollens angeordnet, wurden eine Materialaufbereitungsanlage und ein Betonwerk erstellt, welche die Baustelle der Kraftwerkszentrale des Unterwasserstollens und Regulierkraftwerkes mit Beton versorgten. Das aus den Baulosen anfallende, vorwiegend gesprengte Ausbruchmaterial wurde entweder via Unterwasserstollen oder die separat erstellte Umfahrungsstrasse in die Materialaufbereitungsanlage gebracht. Weiter verwendbares Material wurde in die entsprechenden Fraktionen gebrochen und gemäss verschiedenen Rezepten zu Beton weiterverarbeitet.

Spezielle Lösungen für die Materialentsorgung forderte das rund 300 m höher gelegene Baulos 4 des Wasserschlosses und Druckstollens. Hier wurden wegen der beschränkten Zugänglichkeit über die vorhandenen Zufahrtsstrassen und des Verbotes für Lkw-Transporte aus lufthygienischen Gründen die gesprengten Komponenten mit einem reversiblen Schrägförderband zu Tal gefördert und über eine eigens angelegte Umfahrungsstrasse von Amsteg mit Lkws zur Aufbereitungsanlage transportiert. Die entsprechenden Zuschlagstoffe wurden mit dem gleichen Förderband bergwärts gefördert und in einer loseigenen, separaten Betonanlage verarbeitet. Bis zum heutigen Tag wurden mit dem Förderband rund 260 000 t ohne nennenswerte Zwischenfälle befördert.

Ein zweiter Entsorgungsweg wurde mit einem separaten, im Raise-Drill-Verfahren aufgefahrenen Schrägschacht mit 1,83 m Innendurchmesser und einer Neigung von etwa 45 Grad geschaffen, der das Baulos 4 mit dem Unterwasserstollen verband. Das von der TBM produzierte Fräsgut wurde in Zügen aus dem Druckstollen transportiert und auf einer Rotationskippe in den Schacht gekippt. Am Fuss des Schutterschachtes wurde das Material auf Dumper verladen und durch den Unterwasserstollen in die Aufbereitungsanlage gebracht.

Bild 22. Zugunsten der Umwelt wurde das Ausbruchmaterial mit Förderbändern vom Brindli über die Kantonsstrasse zur Verladestation im Grund gebracht. Mit Blockzügen von 1000 t fuhr das Material auf dem Werkgleise nach Erstfeld und weiter. Mit diesem Werkgleise konnten die Lastwagentransporte minimiert werden (Foto *P. Mainardi* vom 24. Juni 1994).

Trotz der nahegelegenen Gotthard-Autobahn waren für den Abtransport des nicht für Betonzuschlagstoffe geeigneten Materials (rund 900 000 t) aus ökologischen Gründen keine Lkw-Transporte erlaubt. Deshalb wurden ab dem Bahnhof Erstfeld ein separates Werkgleis von rund 5 km Länge und ein Verladebahnhof in unmittelbarer Nähe des Betonwerkes erstellt. In Spitzenzeiten wurden auf diese Art und Weise täglich rund 3000 t Material abtransportiert.

4. Besonderheiten der Betontechnologie

Aufgrund der Beobachtungen bei der bestehenden Wasserkraftanlage Amsteg und einiger zusätzlicher Untersuchungen wurde festgestellt, dass das Berg- wie auch Betriebswasser sehr weich ist und daher zur Karbonatlösung neigt. Insbesondere der Verkleidungsbeton des bestehenden über 70jährigen Druckstollens zeigt über weite Teile Anzeichen völliger Entfestigung.

Somit musste für das ganze Kraftwerk der Grundsatz befolgt werden, dass wasserführende Stollen, Kammern und Schächte wegen des weichen Betriebswassers mit möglichst dichtem Spritzbeton bzw. Beton ausgekleidet werden. Der Mangel an Mehlkorn der aufbereiteten Zuschlagstoffe, insbesondere jene, welche mit dem Steilförderband ins Baulos 4 transportiert werden mussten, brachte bezüglich der oben genannten Forderung nach hoher Dichte weitere Erschwernisse. Somit waren ausgedehnte Betonvorversuche notwendig. Mit der Beigabe von hydraulischem Kalk, welcher in Amsteg erstmals in grossem Stil angewendet wurde, sowie Microsilika wurden schliesslich hervorragende Resultate und die hohen Anforderungen erreicht.

Weitere Spezialbetone wie der Massenbeton für die Maschinenfundamente mit möglichst geringer Abbindewärme oder Fliessbeton für den Druckschacht mit Pumpdistanzen von über 500 m führten dazu, dass bis heute in Amsteg über 30 verschiedene Betonrezepturen zertifiziert und erfolgreich angewendet wurden.

Adresse des Verfassers: *Andreas Dudàs,* dipl. Bauingenieur ETH, Projektleiter Ingenieurbau KW Amsteg, Abteilungsleiter Wasserbau IUB Ingenieurunternehmung AG Bern, Thunstrasse 2, CH-3000 Bern.

Elektromechanische Anlageteile

Hans-Rudolf Trösch und Markus von Arx

1. Kavernenzentrale

1.1 Mechanische Ausrüstung

Die Kavernenzentrale ist für vier Maschinengruppen dimensioniert. In einer ersten Phase wurden drei identische vertikalachsige Peltonturbinen installiert, jeweils starr gekuppelt mit einem Synchrongenerator. Die Zentrale kann zu einem späteren Zeitpunkt mit einer weiteren Maschinengruppe ergänzt werden (Bild 23).

Abhängig vom Seestand Pfaffensprung und der Betriebsart der drei Maschinen bewegt sich die Nettofallhöhe zwischen 260 m (Vollast bei Endausbau, d.h. vier Maschinen) und 288 m. Jede Turbine ist für eine Nennwassermenge von 16,7 m³/s ausgelegt und produziert bei einer Nettofallhöhe von 286,50 m eine Leistung von 42,4 MW. Vom Turbinenlieferanten wird bei dieser Last und Fallhöhe ein Wirkungsgrad von 90,4 % garantiert. Im Teillastbereich (bei gleicher Nettofallhöhe) erreicht der Wirkungsgrad Werte bis 91,5 %. Obige Werte werden noch anlässlich von thermodynamischen Wirkungsgradmessungen verifiziert.

Bei der Auslegung der Maschinensätze wurde eine Drehzahl von 333⅓ U/min gewählt. Die einbetonierte Ringleitung mit einer Breite von etwa 12 m (Bild 3), mit fünf Abzweigstücken und sechs Austrittsflanschen für die sechs Einlaufdüsen hat einen Eintrittsdurchmesser von 1600 mm sowie Austrittsdurchmesser von je 790 mm und wurde in fünf Teilstücken (Bild 23) angeliefert. Nach den Schweissarbeiten wurde die Ringleitung einer Druckprüfung unterzogen. Für Inspektionen und kleinere Instandhaltungsarbeiten ist im Bereich der Schieberkammer ein Mannloch vorhanden.

Das Turbinengehäuse (Bild 24) ist mit der Schachtpanzerung kombiniert und umfasst nebst dem Gehäuse des unteren Führungslagers (das obere, kombinierte Trag- und Führungslager gehört zum Lieferumfang des Generators) auch die je sechs Abstützungen für den Generatorstator und die Rotorhebezylinder. Im Turbinenschacht ist unterhalb von Laufrad und Düsen ein demontierbarer Inspektionssteg installiert, welcher via Panzertür von der Schieberkammer her betreten werden kann. Das Peltonlaufrad aus rostfreiem Stahlguss (Bild 26) umfasst 19 Becher und weist einen Aussendurchmesser von 2,00 m sowie ein Gewicht von 8 t auf. Die Verbindung zur Generatorwelle erfolgt mittels hochfester Verschraubungen (Reibschlusskupplung). Jede Turbine ist mit einer von der Bypassleitung des Kugelschiebers gespiesenen Bremsdüse ausgerüstet.

Die Servomotoren der sechs Einlaufdüsen sowie der sechs (zwecks Vermeidung von unzulässigem Drehzahlanstieg bei Lastabwurf der Maschinengruppe) vorhandenen Strahlablenker werden durch die Turbinen-Druckölversorgungsanlage (Betriebsöldruck: 50 bar) gespiesen, wobei das Schliessen der Düsen und Ablenker bei Ausfall des Steueröldrucks durch Federn gewährleistet wird. Die Ansteuerung (Start, Lastverteilung auf die Düsen, Lastregulierung, Abstellen) der jeweils sechs Einlaufdüsen erfolgt über den der Maschinenleittechnik untergeordneten elektronischen digitalen Regler.

Bergseitig jeder Ringleitung ist das Abschlussorgan, ein Kugelschieber (Bild 28) mit Innendurchmesser 1600 mm, Konstruktionsdruck 36 bar und Nennwassermenge 16,7 m³/s angeordnet. Der Antrieb umfasst einen doppeltwirkenden Servomotor (schliessen mittels Wasser ab Druckschacht, öffnen mittels Steueröl von der Turbinen-Druckölversorgungsanlage). Der mit Wasser ab dem Druckschacht gespiesene Schliesszylinder gewährleistet ein sicheres Schliessen, auch bei Ausfall sämtlicher Hilfsbetriebe bzw. des Steueröldrucks. Die Betriebs- und Revisionsdichtungen werden mittels Wasserdruck, das Füllventil der Bypassleitung mittels Öldruck gesteuert.

Das zur Kühlung von Generatoren, Maschinenlager, Blocktransformatoren, Diesel-Notstromgruppe und Klimaanlage erforderliche Wasser wird mittels Pumpen vom Unterwasserstollen in das im obersten Bereich der Kaverne liegende Reservoir gespiesen, von wo es über die entsprechenden Wärmetauscher in den Unterwasserstollen zurückgeleitet wird (offenes System). Bei Ausfall der Pumpen kann zusätzlich via Druckreduzierventil ab dem Druckschacht Kühlwasser ins Reservoir geleitet werden.

Bei den Generatoren sind Luft/Wasser-Kühler für die Wärmerückgewinnung installiert; die Abwärme wird der Klimaanlage der Kavernenzentrale sowie hauptsächlich

Bild 23. Teilstück der Ringleitung am Kranhaken.

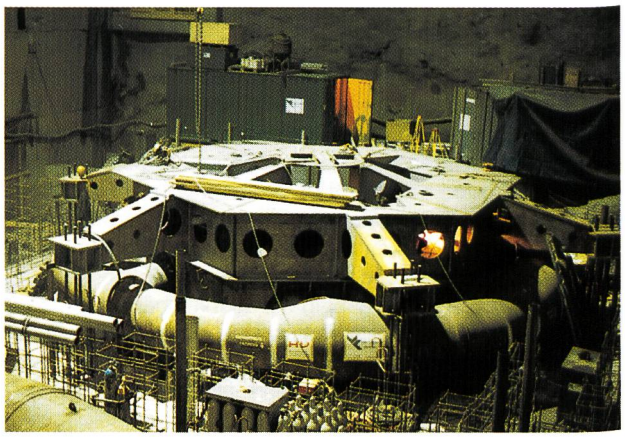


Bild 24. Tragstern der Maschinengruppe 1 mit Ringleitung und Betonarmierung.

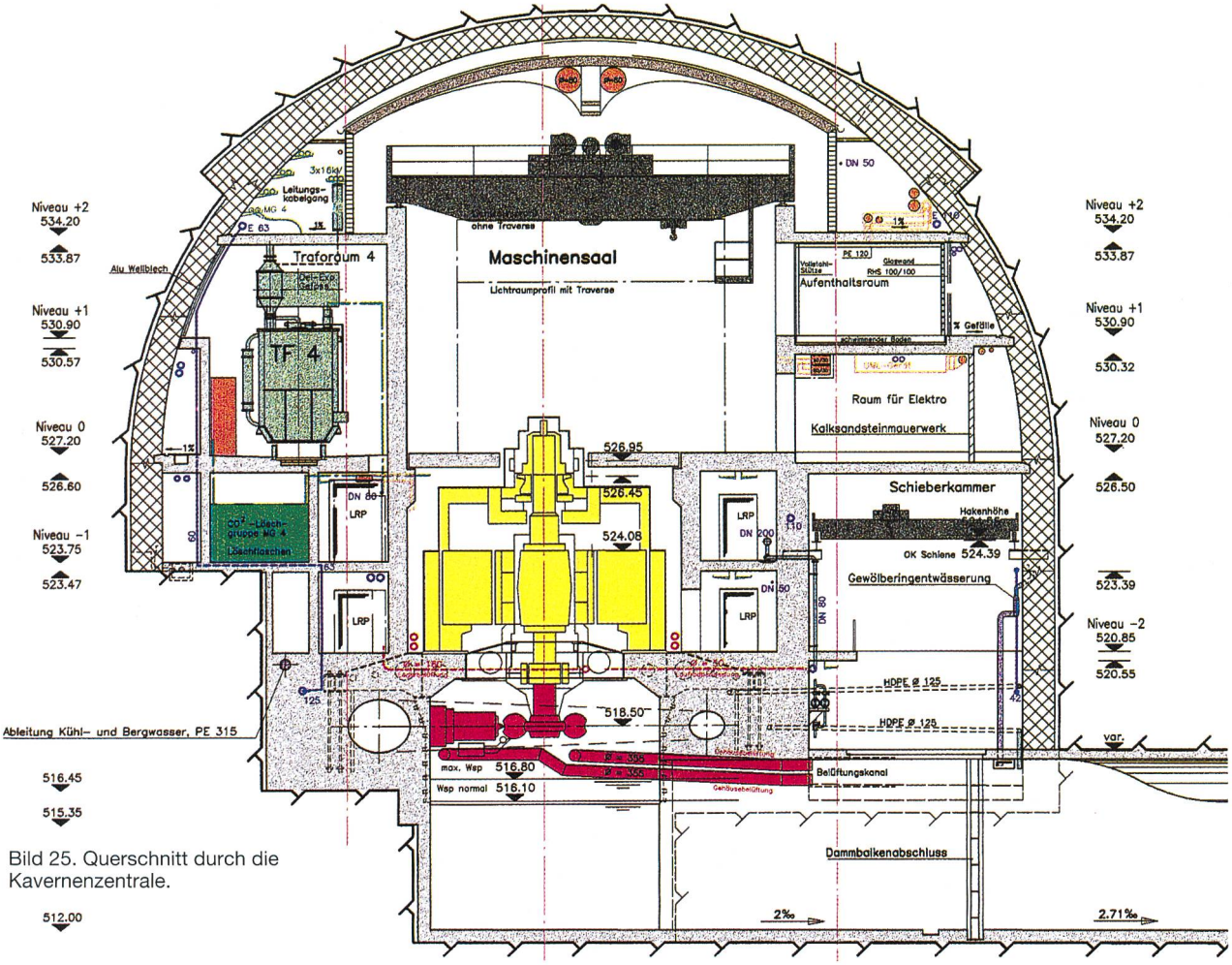


Bild 25. Querschnitt durch die Kavernenzentrale.

dem Speicher im Betriebsgebäude zugeführt. Sowohl dieses Gebäude als auch die Dienstwohnhäuser werden mit der Generatorabwärme beheizt.

Für die Montage- und Instandhaltungsarbeiten befinden sich im Maschinensaal zwei Brückenkrane mit einer Tragfähigkeit von je 100 t (Hilfshubwerk 5 t). Die 100-t-Haupthubwerke sind mit frequenzregulierten Kurzschlussläufermotoren ausgerüstet; dies ermöglicht ruck- und schlupffreies Fahren in allen Geschwindigkeitsbereichen. Für das Heben der schwersten Anlageteile (Rotoren, Blocktransformatoren) können beide Krane elektrisch und mechanisch gekoppelt und mit einer gemeinsamen Lasttraverse ausgerüstet werden. Die Steuerung erfolgt ab Kabine oder per Funk.

Der Wasserschlossbereich umfasst folgende Anlageteile: Der bestehende und der neue Druckstollen sind talseitig je mit einer Drosselklappe versehen; nach den Klappen werden beide Stollen zusammengeführt und das Wasser über eine weitere Drosselklappe (Notabschlussorgan) mit einem Innendurchmesser von 3,60 m in den Druckschacht geleitet. Alle drei Drosselklappen sind mit Schliessgewichten und ölhydraulischen Steuerungen für die Öffnungsbewegung ausgerüstet. Für Instandhaltungsarbeiten ist oberhalb des Druckschachts eine Seilwinde positioniert, mit welcher im Bedarfsfalle (Inspektionen, Korrosionsschutzarbeiten) ein Wartungswagen in den Schacht eingeführt werden kann.

1.2 Elektrische Ausrüstung

Jede Maschinengruppe umfasst einen mit dem Turbinenlaufrad mittels Reibschlusskupplung verbundenen 16⅔-Hz-Synchrongeneratoren mit einer Leistung von 50 MVA, einer Klemmenspannung von 11 kV und einem Nennleistungsfaktor von 0,8. Die Lagerung des Rotors wird durch ein obenliegendes kombiniertes Trag- und Führungslager und ein untenliegendes Führungslager gewährleistet, wobei die Abstützung des oberen Lagers via Stator auf das Turbinengehäuse erfolgt.

Der Rotor umfasst das Mittelstück (Bild 29) mit den für die Nenndrehzahl von 333⅓ U/min erforderlichen sechs Polen sowie die beiden angeflanschten Wellenenden AS- und NS-seitig. Die statische Erregungseinrichtung ist über den Stromrichtertransformator direkt an die Generatorklemmen angeschlossen. Die Generatorableitung ist grösstenteils mit blanken Kupferschienen ausgeführt, ausser der vollisolierten Verbindung zu dem sich auf Maschinensaalniveau befindenden 50-MVA-Blocktransformatoren 11/132 kV. Mittels Polymerkabel mit vernetzter Leiterisolation (XLPE) und Kupferwellmantel wird die erzeugte Energie durch den Leistungskabelstollen in die etwa 300 m entfernte Freiluftschaltanlage eingespiesen. Der Leistungsschalter und die oberspannungsseitigen Wandler sind in dieser Schaltanlage installiert.

Für die Eigenbedarfsversorgung des Kraftwerkbereichs sind je eine 50-Hz-Trafostation im Bereich des Betriebsgebäudes, in der Kavernenzentrale und im Wasserschloss vorhanden. Gespiesen werden diese Anlagen durch zwei unabhängige 15-kV-Einspeisungen ab dem örtlichen 50-Hz-Netz (EW Altdorf). Zusätzlich ist im Bereich des Leistungskabelstollens eine Diesel-Notstromgruppe mit einer Leistung von 1000 kVA installiert. Bei Ausfall aller drei oben erwähnten Speisemöglichkeiten kann noch ab den Maschinen des Regulierkraftwerks via 15-kV-Kabel durch den Unterwasserstollen Energie bezogen werden. Eine

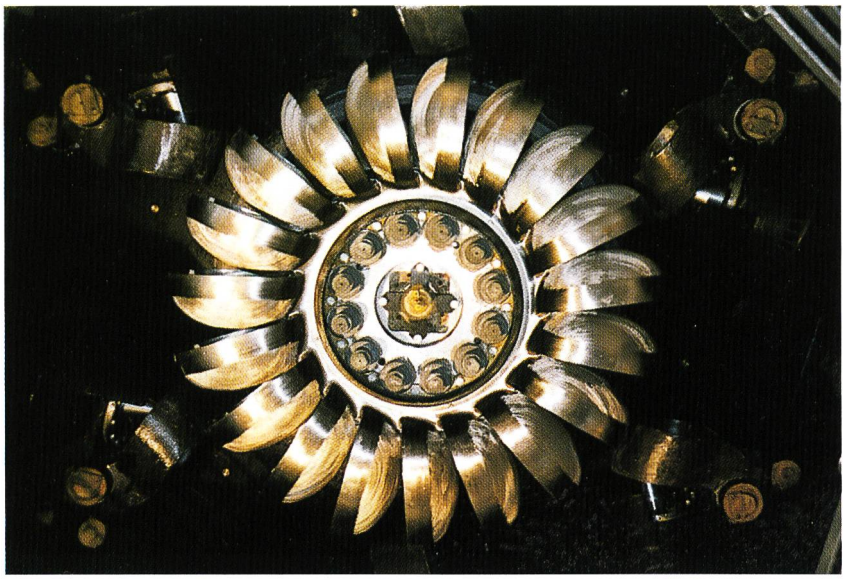


Bild 26. Das montierte Peltonturbinenrad.

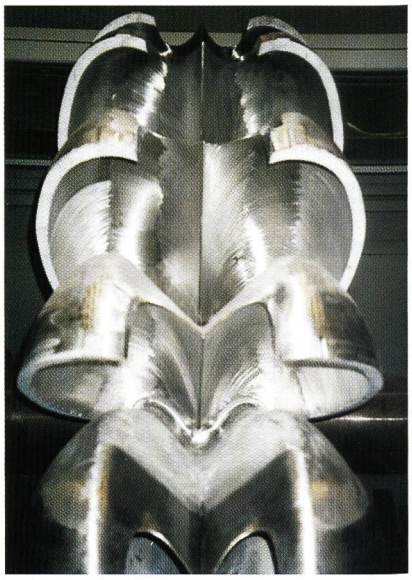


Bild 27. Turbinenschaufeln (Foto *J. von Arx*)

Gaslöschanlage für alle Generatoren und eine zweite für alle Blocktransformatoren mit Bereichsventilen werden entweder automatisch bei Ansprechen der Brandmelder oder ab Handtaster ausgelöst. Die gesamte turbinierte Wassermenge wird mittels im Druckschacht installierter Ultraschallmesssonden erfasst.

2. Regulierkraftwerk (Unterwasserstollen)

Die Rückgabewassermenge der drei (später vier) 50-MVA-Maschinen muss kontinuierlich in die Reuss abgegeben werden können. Energiewirtschaftliche Überlegungen führten zum Entscheid, in der für die Regulierung ohnehin nötigen Kaverne am Ende des unterirdischen etwa 1300 m langen Unterwasserstollens zusätzlich zwei Kegelrad-Rohrturbinen-Gruppen einzubauen, mit welchen die grosse Rückgabewassermenge und das vorhandene Restgefälle genutzt werden können.

2.1 Mechanische Ausrüstung

In der Regulierkaverne sind nebeneinander die zwei Kegelrad-Rohrturbinen-Gruppen, das Regulierwehr (Segmentschütze) sowie der Not-Überlauf angeordnet. Sowohl Turbinenlaufrad als auch Leitapparat sind mit regulierbaren Schaufeln ausgerüstet. Die Energieübertragung von der Turbine auf den Generator erfolgt über ein Kegelradgetriebe mit generatorseitiger elastischer Kupplung. Die beiden Turbinen sind je für eine Nennwassermenge von 25 m^3/s und Nennfallhöhe von 4,30 m ausgelegt. Die Nennleistung einer Turbine beträgt 934 kW, die Nenndrehzahl 195,7 U/min und der Laufraddurchmesser 1,90 m. Die Steuerung der Turbinen und der Regulierschütze erfolgt ölhydraulisch.

2.2 Elektrische Ausrüstung

Jeweils oberhalb der Kegelrad-Rohrturbine ist vertikal angeordnet ein 1150-kVA-/50-Hz-Synchrongenerator mit Wechselstrom-Erregermaschine und rotierenden Dioden montiert. Die Nenndrehzahl der Generatoren beträgt 750 U/min. Jede Maschinengruppe umfasst auch einen Blocktransformator 400 V/15 000 V. Die Maschinen können entweder im Inselbetrieb oder parallel mit dem örtlichen 50-Hz-Netz (EW Altdorf) betrieben werden. Notfalls kann auch der Eigenbedarf der Kavernenzentrale ab diesen Maschinen gespiesen werden. Steuerung, Schutz und Messeinrichtungen sind in einem separaten Raum untergebracht; im Regelfall wird die Anlage jedoch ab Kommandoraum des Kraftwerkes Amsteg ferngesteuert.

3. Dotierkraftwerk (Pfaffensprung)

Die Konzessionsbestimmungen legen fest, dass vom November bis April – unabhängig von der hydrologischen Situation – der Reuss unterhalb der Fassung konstant 1,2 m^3/s zugeführt werden müssen. In den Monaten Mai bis Oktober wird dynamisch, das heisst in Abhängigkeit der in Andermatt gemessenen zufliessenden Reusswassermenge, dotiert. Die Dotierwassermenge wird einem sogenannten Dotierkraftwerk zugeleitet zur Erzeugung von 50-Hz-Energie.

3.1 Mechanische Ausrüstung

Das Dotierkraftwerk ist in einer Kaverne von 15 m Länge und 7 m Breite am Fuss der Staumauer, neben dem Grundablass, untergebracht.

Eine doppelregulierte S-Kaplanrohrturbine, direkt gekuppelt mit dem Generator, ist für eine Dotierwassermenge von 1,2 bis 4 m^3/s ausgelegt. Die technischen Daten: Laufraddurchmesser 800 mm, Nettofallhöhe 19,5 m, Nenndrehzahl 750 U/min, Turbinennennleistung 720 kW. Bei Revision der Turbine können über den parallel installierten Bypass und Druckvernichter 1,2 m^3/s der Reuss zugeführt werden.

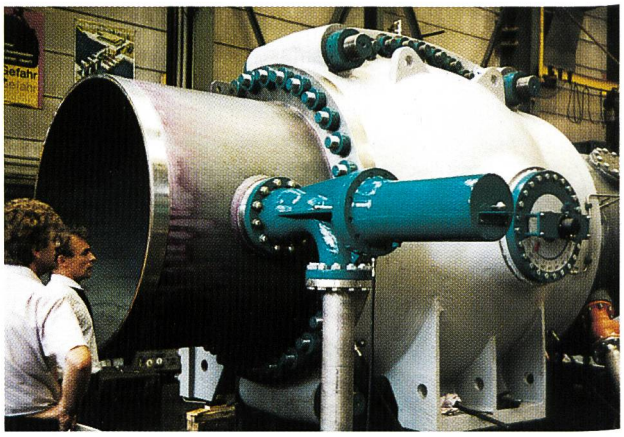


Bild 28. Kugelschieber (Werkfoto).

3.2 Elektrische Ausrüstung

Der direkt gekuppelte Synchrongenerator ist für 1000 kVA und einen Leistungsfaktor von 0,8 ausgelegt. Infolge grosser Feuchtigkeit und beschränkter Platzverhältnisse in der Kaverne sind der Maschinentransformator 0,4/15 kV sowie die Mittelspannungsanlage mit der EWA-Netzeinspeisung in einem separaten Gebäude über der Kaverne untergebracht. In einem speziellen Raum im gleichen Gebäude sind die Leittechnik für die Vorortbedienung, die Schutzeinrichtungen sowie der Turbinenregler der Dotiergruppe installiert. Das Dotierkraftwerk ist für den unbemannten Betrieb konzipiert und wird demzufolge in der Regel von der Leitstelle im Kraftwerk Amsteg aus gesteuert und überwacht.

4. Leittechnik

4.1 Maschinenleittechnik

Die leittechnischen Einrichtungen sind nach dem neuesten Stand der Technik ausgeführt. Die identischen Maschinensteuerungen der drei 50-MVA-Maschinengruppen der Kavernenzentrale sind wie folgt aufgebaut: Pro Gruppe haben fünf Vorortbedienstellen für einzelne Maschinenkomponenten in der Steuerhierarchie die höchste Priorität. Sie kommen bei Servicearbeiten und als Notbedienungen zum Einsatz. Alle Schutz- und Regeleinrichtungen sind mit dem Maschinenleitstand in Steuerräumen auf Höhe des Maschinensaalbodens untergebracht. Von hier aus wird die Gruppe nach Servicearbeiten oder technisch bedingter Schritt-für-Schritt-Steuerung betrieben. Der Maschinenleitstand ist zu 100 % redundant vorhanden. Die nächste Steuerstelle ist der Maschinenleitstand in der Sektorwarte im Betriebsgebäude. Im Normalfall wird das Kraftwerk von der im gleichen Raum installierten Sektorleitstelle aus geführt. Ein eingebauter Werkregler funktioniert als Bindeglied zwischen der zentralen Leitstelle in Zollikofen, deren ausgegebenen Leistungssollwerten und den drei Maschinengruppen. Alle Schutz- und Regeleinrichtungen, Bedienstellen und Leitstände sind untereinander mit einem Lichtwellenleiter-Bus-System verbunden.

4.2 Hydroleitsystem

Unter den Begriff Hydroleitsystem fallen alle Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen in den verschiedenen Aussenstationen (Wasserfassungen, Kleinkraftwerke) sowie die Fernwirktechnik und die Leitstelle in der Sektorwarte im Betriebsgebäude Amsteg. Die Hydroleitstelle führt keine eigentlichen Regelaufgaben aus. Steuer- und Regeleinrichtungen sind dezentrale, autonom arbeitende Systeme, welche vor Ort oder über die Fernwirkausrüstung von der Leitstelle aus bedient werden können. Speziell anspruchsvolle Regelaufgaben übernehmen der Dotierregler für die Dotierung der Reuss beim Pfaffensprung und der Abflussregler im Rückgabebauwerk des Unterwasserstollens. Die Betriebsmesswerte und alle gemäss Konzessionsauflagen einzuhaltenden Messwerte werden vom Erfassungsort in die Leitstelle nach Amsteg übertragen. Je nach Wichtigkeit sind die Werte gespeichert und in dieser Periode jederzeit abrufbar. Alle Aussenanlagen sind über Lichtwellenleiter für schnelle Datenübertragungen mit dem Leitsystem verbunden.

4.3 Gebäudeleitsystem

Der Einsatz eines Leitsystems im Kraftwerk Amsteg ist vor allem durch den Umstand gegeben, dass mehrere betriebstechnische Anlagen mit verschiedenen gegenseitigen Abhängigkeiten zu einem System vernetzt sind. Es sind dies die folgenden Anlagen in sechs verschiedenen Gebäuden: Heizung, Abwärmeverwertung, Lüftung/Klima, Sanitär, Kleinkraftwerke, Notstrom-Dieselgruppe, 50-Hz-Mittelspannungsanlagen, Niederspannungs-Hausinstallationen und Brandmeldeanlage.

Das Leitsystem mit seinen Visualisierungsmöglichkeiten bietet eine sehr gute Übersicht über all die vorerwähnten Anlagen. Es erlaubt eine rasche gezielte Reaktion auf Störungen. Das Steuern von Anlageteilen ist sowohl von der Zentrale in der Sektorwarte als auch vor Ort möglich. Die Verbindung vom Gebäudeleitsystem mit der Maschinen- und Hydroleittechnik wurde von allem Anfang an als nicht zweckmässig und betriebssicher angesehen. Auch dieses Leitsystem benützt als Kommunikationsweg ausschliesslich Lichtwellenleiterverbindungen.

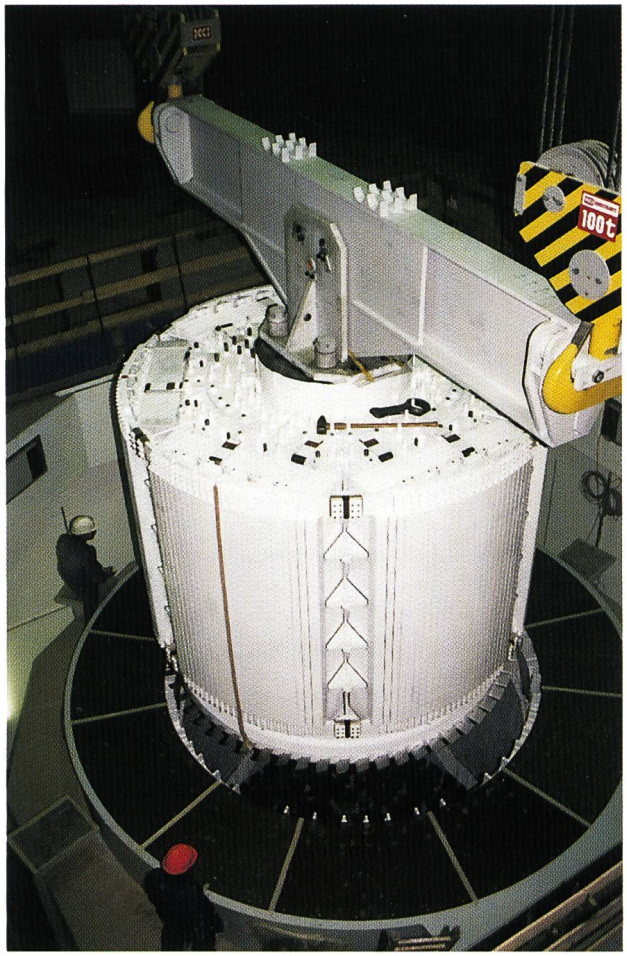


Bild 29. Einfahren des kompletten Rotors der Maschinengruppe 1.

Adressen der Verfasser:
- *Hans-Rudolf Trösch,* Elektroingenieur HTL, Projektleiter Elektromechanik KW Amsteg, Sektionschef Energieerzeugung, Direktion Energie SBB, Postfach, CH-3052 Zollikofen;
- *von Arx Markus*, Elektroingenieur HTL, Montage- und Inbetriebsetzungsleiter KW Amsteg, Sachbearbeiter Sektion Energieerzeugung, Direktion Energie SBB, Postfach, CH-3052 Zollikofen.

Berücksichtigung der Umweltanliegen

Ulrich Roth

Allgemeines

Im Zusammenhang mit der Erneuerung des Kraftwerks Amsteg war den Verantwortlichen bereits zu Beginn klar, dass die umfangreichen Bauarbeiten, die dafür notwendigen Transporte und die weiteren damit verbundenen Aktivitäten zu spürbaren Auswirkungen auf die Nachbarschaft und auf die natürliche Umwelt führen würden.

Deshalb wurde von Anfang an der Umweltauswirkung grosses Gewicht beigemessen. Bereits in der Planungsphase versuchte man mit einer projektbegleitenden Umweltverträglichkeitsuntersuchung die technisch-betrieblichen Interessen mit denjenigen der Umwelt zu optimieren. Die Vorschläge wurden denn auch direkt bzw. im Rahmen des eisenbahnrechtlichen Plangenehmigungsverfahrens in die Projektierung integriert. Dadurch sollte erreicht werden, dass sowohl der Bauvorgang als auch der spätere Betrieb des Kraftwerks Amsteg mit grösstmöglicher Rücksichtnahme auf die betroffene Bevölkerung und ihre Umwelt realisiert werden konnten. Die Prüfbehörde – das Bundesamt für Verkehr – stellte in der Plangenehmigungsverfügung vom 24. April 1992 denn auch fest, dass «das Projekt unter Berücksichtigung der einzelnen Auflagen und Vorschriften der Umweltschutzgesetzgebung entspricht und demzufolge umweltverträglich im Sinne des eidgenössischen Umweltschutzgesetzes ist».

So wurde z.B. ein 1286 m langer, 50000 m³ Wasser fassender Unterwasserstollen erstellt, damit die durch den zukünftigen Betrieb des Kraftwerks – infolge des auf einen fahrplanbedingten Stundentakt ausgerichteten Strombedarfs – in der Reuss zu erwartenden Schwallwellen vor ihrer Rückgabe gedämpft werden können. Die gemäss Gewässerschutzgesetzgebung verlangten Restwasserabflüsse in der Ausleitungsstrecke zwischen Pfaffensprung und der Wasserrückgabe unterhalb Amsteg werden im Interesse einer genügenden Wasserführung der Reuss grosszügig gehandhabt und jahreszeitlich dynamisch abgestuft. Damit kann einerseits im Winter eine Verbesserung gegenüber dem heutigen Zustand erreicht und andererseits vermieden werden, dass ein ganzjährig monotones Abflussregime entsteht.

Bild 30. Für Kies- und Ausbruchtransporte wurden primär Förderbänder und die Bahn eingesetzt. Um die Nachbarn vor Lärm zu schützen, wurde die Kiesaufbereitung im Brindli verschalt.

Aber auch der Minimierung der negativen Auswirkungen während der Bauphase wurde grosses Gewicht beigemessen. So wählte die Bauherrschaft aus verschiedenen Varianten zum Abtransport des Ausbruchmaterials die kostenmässig aufwendigste, aber umweltmässig optimale: Bahntransport auf einem eigens für diesen Zweck – aber auch im Blick auf die kommenden Bauaktivitäten durch AlpTransit – erstellten Werkgeleise zwischen Erstfeld und Amsteg. Die dadurch entstandenen Eingriffe in den landwirtschaftlichen Boden und das Landschaftsbild können nach Abschluss der Bauarbeiten wieder in die ursprüngliche Ausgangslage zurückversetzt werden. Dafür dienen beispielsweise die Sicherstellung des heutigen Zustandes (wie Bodenaufbau, Vegetation), eine einwandfreie Humusdeponierung oder die grösstmögliche Erhaltung einer betroffenen Hecke durch lokale Verschiebung.

Damit auch der Lastwagentransport – und somit die Lärm- und Luftimmissionen – auf den Baustellen selbst minimiert werden konnten, wurden elektrisch betriebene Förderanlagen eingesetzt und das Bauprogramm so festgelegt, dass möglichst viele Transporte unterirdisch durch den zuerst in Angriff genommenen Unterwasserstollen ausgeführt werden konnten. Mit der Gratisabgabe von elektrischer Energie durch die Bauherrschaft an die Unternehmungen in Millionenhöhe wurde zudem ein finanzieller Anreiz geschaffen, damit möglichst wenig Luftimmissionen durch Verbrennungsmotoren erzeugt werden sollten. Mit Submissionsauflagen an die Unternehmungen und periodischen Messungen (z.B. Gewässerschutz, Grundwasser, Lärm und Luft) zur Überwachung der Umweltqualität konnten sich abzeichnende Probleme frühzeitig erkannt und mittels geeigneter Massnahmen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachstellen des Kantons jeweils rechtzeitig gelöst werden. Dank Meldungen und Reklamationen aus der Bevölkerung wurden im weiteren Schwachstellen geortet und zusammen mit dem Verursacher raschestmöglich behoben.

Gewässerschutz

Bei den Baustellen traten verschiedenenorts Gewässerschutzprobleme auf, die im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben gelöst werden mussten. Als wesentlichste Randbedingungen waren zu beachten, dass

- die Abwässer so behandelt werden müssen, dass sie den rechtlich festgelegten Bedingungen für die Rückgabe in die Oberflächengewässer oder ins Grundwasser entsprechen (Einleitungsbedingungen);
- ein möglichst grosser Anteil des überschüssigen Wassers durch Versickerung dem Grundwasser zugeleitet werden soll.

Die Einhaltung dieser Bedingungen in einem bezüglich Gewässerschutz sehr sensiblen Gebiet führte dazu, dass mit geschlossenen Kreisläufen ein möglichst grosser Anteil des Brauchwassers mehrfach verwendet werden konnte und für die Kontrolle der Rückgabe aufwendige Überwachungseinrichtungen und permanente bzw. periodische Messungen nötig waren.

In Absprache mit der Abteilung Gewässerschutz des kantonalen Amtes für Umweltschutz konnten die Konzepte

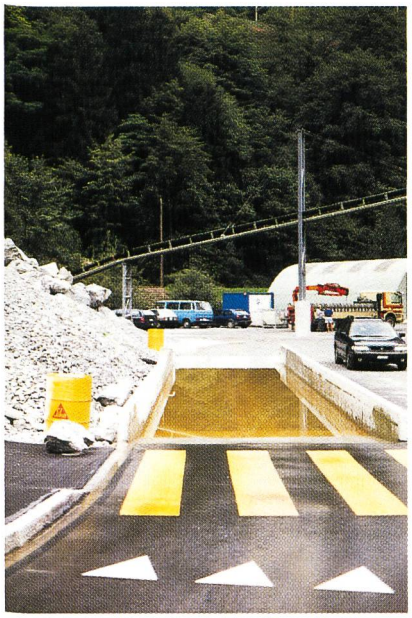


Bild 31. Im Brindli wurde eine Lastwagen-Waschanlage installiert.

Bild 32. Ein Lastwagen durchfährt die Waschanlage.

Bild 33. Die Luftqualität wurde kontinuierlich überwacht (Foto *H. Baumann,* Altdorf).

stufenweise verfeinert und ihre Wirkungen immer wieder überprüft werden. Dabei ergaben sich anfänglich infolge unterschiedlicher Auslegungen der damals noch neuen, verschärften Gewässerschutzvorschriften des Bundes zahlreiche Diskussionen über die Art und Weise der Gewässerbehandlung.

Einige spezifische Probleme wurden erstmals in diesem Ausmass erkannt und benötigten zur Lösung besondere Abklärungen. So wurde festgestellt, dass das Bergwasser aus gesprengten Stollen durch die Sprenggase mit Nitrat und Nitrit kontaminiert wird. Dieses Wasser durfte deshalb wegen des zu hohen Nitratgehaltes einerseits nicht mehr ins Grundwasser versickert und andererseits wegen des zu hohen Nitritgehaltes (Fischgift) nicht mehr unbehandelt ins Oberflächengewässer abgeleitet werden. Dieses Problem wurde dank der intensiven messtechnischen Endkontrollen und Überwachung des Grundwassers durch die Kraftwerk Amsteg AG entdeckt und konnte rechtzeitig in Zusammenarbeit mit der kantonalen Fachstelle einer technischen Lösung in Form einer Denitrifikationsanlage zugeführt werden.

Für die Neutralisation der Abwässer aus dem Baulos 4 (Wasserschloss und Druckstollen) wurde eine neuartige Lösung gewählt. Anstelle der traditionellen Neutralisation mit Säure wurde aus Sicherheitsgründen (gefährlicher Transport auf der Bristenstrasse, Risiken eines Standortes im bewaldeten Hang) eine bezüglich Umweltauswirkungen problemlose Kohlensäureanlage (CO_2) installiert, welche sich bis Bauende bestens bewährt hat.

Ein spezielles Problem stellte die Überwachung der Einleitungsbedingungen für Feststoffe im Unterwasserkanal, vor allem von Feinstoffen aus dem Berginnern herrührend, dar. Die zur Steuerung der Flockungsanlage installierte automatische Trübungsmessung erwies sich aus verschiedenen Gründen als zuwenig zuverlässig, so dass sich eine manuelle Überwachung aufdrängte. Die grossen Mengen an verwendetem Flockungsmaterial mussten anschliessend als Schlamm weiterbehandelt und gesondert deponiert werden.

Die regelmässige Überwachung und Kontrolle der Massnahmen wurde bis zum Schluss der Bauaktivitäten regelmässig und routinegemäss durchgeführt. Für die Gewässerschutzmassnahmen wurden mehrere Millionen Franken investiert. Diese Investitionen haben sich gelohnt, konnten doch grössere und kostspielige Beeinträchtigungen des Oberflächen- und des Grundwassers und damit negative Auswirkungen auf die nachhaltige Sicherung der Wasserqualität vermieden werden.

Zur Beweissicherung von allfällig durch den Stollenbau gefährdeten Quellen wurde ein umfangreiches Messnetz aufgebaut und regelmässig beobachtet. Zumindest in einem Fall hat sich dies bewährt, konnten doch bei einem festgestellten Rückgang der Schüttungsmenge relativ rasch vorsorgliche Massnahmen ergriffen und eine längerfristige Sanierung vorbereitet werden.

Luftreinhaltung

Im Rahmen der Planung wurden vor Baubeginn im Sinne der Vorsorge zahlreiche Massnahmen ins Projekt integriert (z. B. Abtransport des Ausbruchmaterials mit Förderbändern und Bahn anstelle von Lastwagen, Vorziehen des Unterwasserstollens zur Benützung als Verkehrsweg an-

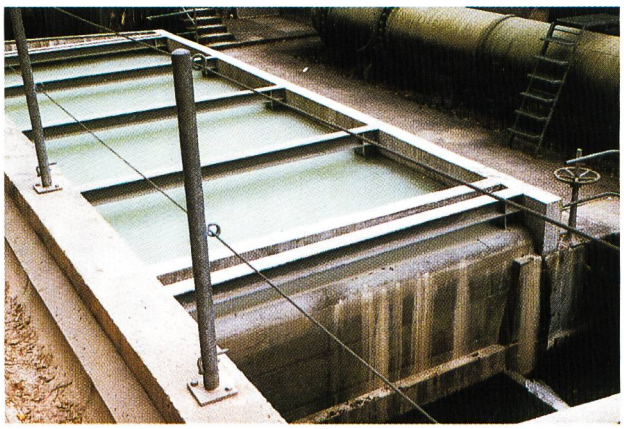


Bild 34. Bevor das Baustellenwasser in den Vorfluter zurückfliesst, wird es hinter der jetzigen Kavernenzentrale in einer eigens eingerichteten Anlage neutralisiert.

Bild 35. Über 1 Mio t Aushubmaterial wurde über ein eigens gebautes Werkgeleise von Amsteg nach Erstfeld und von dort weiter mit der Bahn abgeführt (Foto *Heinz Baumann,* Altdorf).

stelle von Transporten auf dem öffentlichen Strassennetz usw.). Der Baubetrieb, insbesondere vom Installationsplatz Brindli, und der Ausstoss von Sprenggasen aus dem Unterwasserstollen führten dann allerdings für die Bewohner im nur 20 Meter vom Installationsplatz gelegenen Wohngebiet zu Immissionen, welche zeitweise als massive Belästigung empfunden wurden. In direkten Gesprächen mit den Betroffenen wurde versucht, mit geeigneten Mitteln deren Situation etwas zu mildern. Damit gezielt Massnahmen eingeleitet werden konnten, waren Messungen zur kontinuierlichen Überwachung der Luftschadstoffimmissionen durchzuführen (Tabelle 1).

Infolge verschiedener zeitlich und räumlich gehäuft aufgetretener Probleme und Reklamationen wurde im März 1993 zusätzlich zu dem vor Baubeginn installierten Überwachungsnetz bei den am stärksten betroffenen Liegenschaften ein Messwagen installiert. Damit konnten die Ursachen und das Ausmass kurzfristiger Belastungsspitzen sowie die Beeinträchtigung durch weitere, vorher nicht erfasster Schadstoffe im Detail geklärt werden.

Für die Beurteilung der Immissionen sind in der Luftreinhalteverordnung des Bundes (LRV) für eine Reihe von Stoffen Immissionsgrenzwerte festgelegt. Sie sind für jene Schadstoffe, zu denen in Amsteg Messungen gemacht wurden, in der Tabelle 2 zusammengestellt. Diese Grenzwerte gelten für stationäre Anlagen und wurden mangels spezifischer Vorschriften für Baustellen auch für den vorliegenden Fall angewendet.

Die Beurteilung der gesamten Immissionsbelastung von Luftschadstoffen (durch Baubetrieb des Kraftwerks Amsteg und weitere Quellen) ergibt nach den Grenzwerten der Luftreinhalteverordnung folgendes Bild:

- Die Immissionsgrenzwerte für Kohlenmonoxid (CO) wurden jederzeit klar eingehalten.
- Für Stickstoffdioxid (NO_2) lagen die Belastungen im Jahresmittel in der Nähe des Installationsplatzes Brindli leicht unter dem Immissionsgrenzwert bzw. im Bereich des Grenzwertes. In der Nähe der Autobahn A2 wird dieser überschritten. Die generell hohe NO_2-Belastung ist in erster Linie auf die hohen Emissionen des Strassenverkehrs im Urner Reusstal zurückzuführen.
- Die Immissionsgrenzwerte der LRV für Ozon (O_3) wurden im Raum Amsteg während der Messperiode wie auch im ganzen Urner Reusstal klar überschritten. Die Überschreitungen stehen nicht im Zusammenhang mit der Erneuerung des Kraftwerks Amsteg.
- Die Belastungen durch Schwefeldioxid (SO_2) waren gering. Die Immissionsgrenzwerte wurden jederzeit klar eingehalten.
- Der Baubetrieb verursachte zeitweise erhöhte Staubimmissionen. Die Messdaten zeigen, dass die massgebenden Grenzwerte der LRV in den betroffenen Gebieten während der ganzen Bauphase eingehalten werden konnten. Trotzdem wurde punktuellen Massnahmen zur Staubminderung (Pneuwaschanlage, Befeuchtung von Bändern, Deponien und Plätzen, Strassenreinigung usw.) grosses Gewicht beigemessen, auch wenn nicht alle zum erhofften Erfolg führten, wie dies beispielsweise bei der versuchten Auswaschung von Sprenggasen der Fall war. Als Folge waren hier im Gegenteil kurzfristig erhöhte Schadstoffwerte infolge Bildung lästiger Gase in der bodennahen Luftschicht und in den Gewässern messbar. Dieser Versuch musste deshalb wieder abgebrochen werden.

Die Messresultate zeigen, dass die Aktivitäten am Anfang der Bauaktivitäten zu gewissen Problemen führten, aber grundsätzlich keine übermässigen Immissionen von Luftschadstoffen im Sinne des Gesetzes verursachten.

Tabelle 1

Standort	Parameter	zeitliche Auflösung	Messperiode
Brindli (im Installationsplatz)	NO_2 (Passivsammler)	2 Wochen	ab Juli 1993
Dörfli (oberhalb Verladesilo)	NO_2 (Passivsammler)	2 Wochen	ab Juli 1993
Grund (nördlich Wohnquartier)	NO_2 (Passivsammler) Staubniederschlag (nach Bergerhoff)	1 Woche 4 Wochen	seit 1987 (durch AfU) ab Juli 1993
Grund (Messwagen)	NO, NO_2, NO_x, Ozon, SO_2, CO, Schwebestaub, Windrichtung und -geschwindigkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit	½ Stunde	ab März 1994 (durch AfU)
Rusli (nördlich Zwischendeponie)	Staubniederschlag (nach Bergerhoff)	4 Wochen	ab Juli 1993

Tabelle 2

Empfindlichkeitsstufe	Beurteilungspegel in dB(A)	
	Tag 7 bis 19 Uhr	Nacht 19 bis 7 Uhr
II (Wohngebiete gemäss Zonenplan)	60	50
III (gemischte Zonen bzw. ausserhalb der Bauzone)	65	55

Bild 36, links. Die Wasserfassung Pfaffensprung integriert sich gut in die wuchtige Urner Berglandschaft.

Bild 37, rechts. Dieser Bergkristall mit durch Calcit geköpfter Spitze wurde im Wasserschloss gefunden (Foto *Peter Amacher,* Amsteg).

Lärm

Die Bauarbeiten verursachten wegen der unmittelbaren Nähe von Wohnbauten, insbesondere im Bereich des Installationsplatzes Brindli und des Verladebahnhofs Grund, Lärmimmissionen. Von Beginn der Bauarbeiten an wurde diesen Immissionen grosse Bedeutung beigemessen. Es zeigte sich allerdings rasch, dass die in der Arbeitsausschreibung vorgesehenen und sukzessive realisierten Lärmschutzmassnahmen aus verschiedenen Gründen nicht die erhoffte Wirkung zur raschen Erreichung der vorgegebenen Grenzwerte hatten.

Die Resultate der Messkampagnen führten zur Realisierung verschiedener Sanierungsmassnahmen. Als wichtigste können genannt werden:

- Lärmschutzwand und -blende gegenüber der Brecherzufahrt und Verschalung der Brecheranlage im Brindli;
- Sanierung verschiedener lärmintensiver Förderband-Übergabestellen;
- schalldämpfende Lagerung verschiedener Anlageteile;
- Einbau lärmabsorbierender Platten in der Kiesaufbereitungsanlage;
- lärmabsorbierende Auskleidung der Verladesilos im Grund;
- organisatorische Weisungen für den Betrieb von Brecheranlage und Kiesaufbereitung;
- Neufestlegung des Fahrplans für den Bahnverlad.

Als Beurteilungsgrundlagen für die Lärmbelastung sind das Umweltschutzgesetz und gestützt darauf die Lärmschutzverordnung (LSV) massgebend. Das Kantonale Amt für Industrie, Gewerbe und Arbeit (Kiga) hat diese Vorschriften in bezug auf die Bauarbeiten am Kraftwerk Amsteg näher definiert. Als wichtigste Punkte wurde festgelegt, dass

- die Baustellen als stationäre Anlagen mit den gleichen Belastungsgrenzwerten wie für Industrie- und Gewerbelärm zu beurteilen sind;
- im Hinblick auf die Grundbelastung im Raume Amsteg (Autobahn, Reuss, Kraftwerk, Eisenbahn usw.) und die überwiegenden öffentlichen Interessen der Anlage als massgebender Beurteilungswert der Immissionsgrenzwert anstelle des Planungswertes gilt.

Aus diesen Grundlagen ergaben sich für die Beurteilung der Lärmimmissionen die Grenzwerte gemäss Tabelle 2.

Die Beurteilung erfolgte gemäss LSV aufgrund des Beurteilungspegels. Dieser wird nach einer in der LSV enthaltenen Formel unter Verwendung von Korrekturfaktoren berechnet, welche die unterschiedliche Lästigkeit von lärmigen Ereignissen und ihre zeitliche Dauer berücksichtigen.

Die in den ersten Monaten nach Baubeginn gemessenen Werte ergaben, dass die Beurteilungspegel für verschiedene Gebäude über den zulässigen Grenzwerten lagen. Mit der Realisierung zielgerichteter Sanierungsmassnahmen war es möglich, die zulässigen Immissionsgrenzwerte zu erreichen. Dafür mussten bei den betroffenen Liegenschaften in Absprache mit den Betroffenen auch zusätzliche Lärmschutzmassnahmen an den Gebäuden realisiert werden.

Schlusswort

Die Kontaktpflege mit den zuständigen Fachstellen, Behörden und Betroffenen war der Bauherrschaft gerade in Fragen der Umweltauswirkungen während der ganzen Bauzeit ein besonderes Anliegen. Die Realisierung eines derartig komplexen Bauvorhabens praktisch im Siedlungsgebiet verlangt grosses Verständnis seitens der Projektleitung, der Bauleitung und der Unternehmungen für die Anliegen der Betroffenen. Die an der Erneuerung des KW Amsteg Beteiligten bemühten sich um eine gute Zusammenarbeit und durften in breitem Masse auch auf das Verständnis der Bevölkerung zählen, so dass die aufgetretenen Probleme in einem Klima des Dialogs gemeinsamen Lösungen zugeführt werden konnten.

Adresse des Verfassers: *Ulrich Roth,* Sigmaplan, AG für Raumplanung, Umwelt, Verkehr, Informatik, Thunstrasse 91, CH-3006 Bern.

Bild 38. Bergkristall aus der Kavernenzentrale (Foto *Peter Amacher,* Amsteg).

Architektur und Gestaltung

Tobias Reinhard

Umbau Betriebsgebäude

Die Totalerneuerung des SBB-Kraftwerkes Amsteg und die damit verbundene Verlegung der Stromproduktion in eine neue Kaverne östlich der heutigen Anlage entzieht dem grössten Teil der bestehenden Bauten die Nutzung. Gleichzeitig sind für die Neuanlage Kontroll- und Betriebsräume notwendig, die zusammen mit einer der Überwachung des SBB-Hochspannungsnetzes dienenden Sektorleitstelle bereits vor der Betriebsumstellung zur Verfügung stehen müssen. Für die Erschliessung der im Hang hinter den Altbauten gelegenen Kaverne ist eine für Ausnahmetransporte befahrbare Verbindung zwischen Strasse und Stollenportal zu schaffen. Wegen der einzuhaltenden Kurvenradien durchstösst der neue Hauptzugang zwingend das bestehende, denkmalgeschützte Gebäude. Lage und Dimension der Durchfahrt sind durch die Transportmasse der Turbinen und Trafos definiert.

Die bestehenden Gebäude

Die bestehende Anlage liegt am südlichen Dorfausgang von Amsteg. Unmittelbar an der alten Gotthardstrasse befinden sich die zwei imposanten Baukuben des 45 m langen Schalthauses sowie des 112 m langen Maschinensaals. Zurückversetzt, parallel zum Hang liegen Trafo- und Werkstattgebäude. Zwei senkrecht zwischen die Gebäudezeilen geschobene Bauten bilden gemeinsam mit den Stirnseiten des Schalthauses, des Maschinensaals und der Längsseite des Werkstattgebäudes einen markanten, gegen die Strasse offenen Hof, welcher sowohl die Zufahrt als auch die Gebäudeeingänge aufnimmt.

Der Kavernen-Hauptzugang

Die grosse Durchstossöffnung in den Fassaden des bestehenden Werkstattgebäudes konnte in der geschlossenen, bergseitigen Mauer als Durchdringung mit dem Profil des Zugangsstollens deutlich ablesbar gemacht werden. In der in fünf Rundbogen aufgelösten westseitigen Fassade hätte dieselbe Massnahme das geschützte Erscheinungsbild der Altbauten nachhaltig gestört. Anstelle eines isolierten Eingriffes in einer Fassadenachse wurde deshalb einer kompletten Neugestaltung der strassenseitigen Fassade der Vorzug gegeben. Ein alle fünf Bogen an der Basis abfangender Stahlträger wird von sechs Stützenpaaren im Abstand der geforderten Durchfahrtsbreite getragen. Anstelle einer einfachen Toröffnung weist die neue, fünffeldrige Fassade auf die dahinterliegende, im Berg veborgene Kavernenzentrale hin.

Die Planungsvorgabe

Als Planungsvorgabe galt, die neuen Nutzungen ausserhalb der bestehenden Bauten zu realisieren, da die mit Hochspannungs- und Kommandoanlagen voll belegten Altbauten keine Betriebsunterbrechung durch Umbauarbeiten erleiden durften. Das Gefahrenpotential der im

Bild 37. Kavernen-Hauptzugang in der Hoffassade des Werkstattgebäudes.

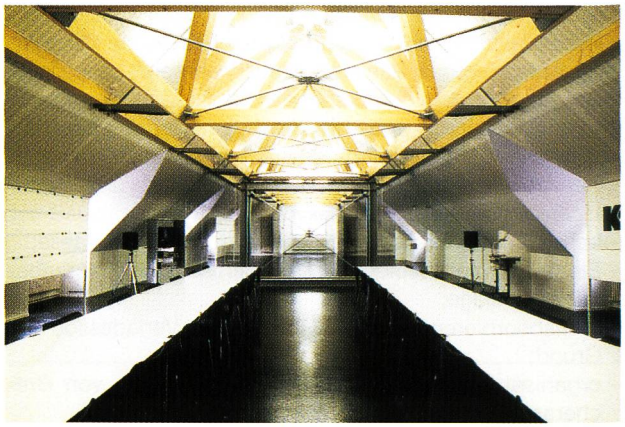


Bild 38. Schulungsraum mit Raumfachwerk.

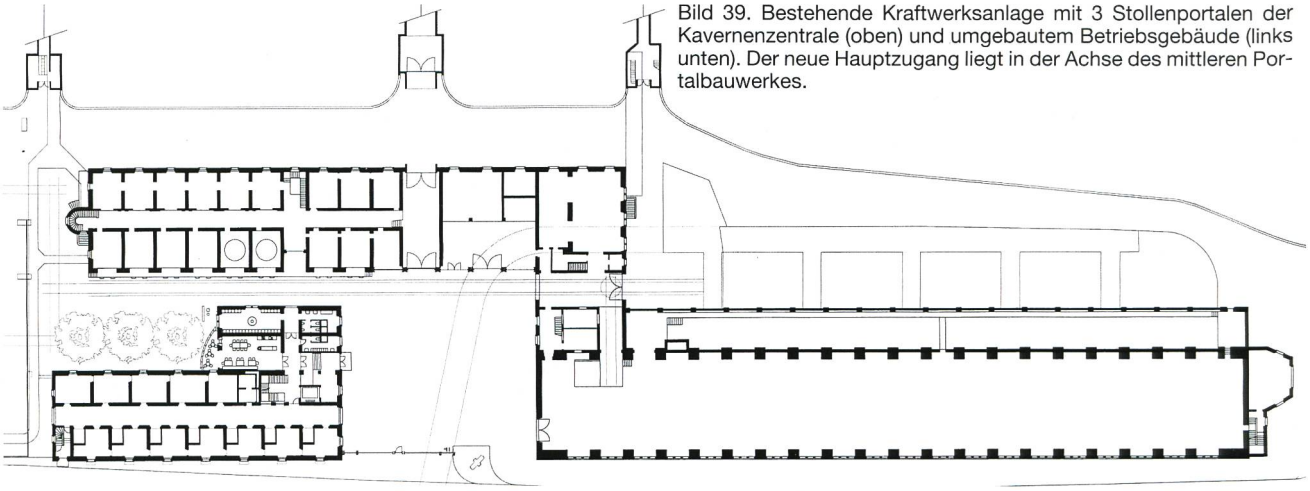


Bild 39. Bestehende Kraftwerksanlage mit 3 Stollenportalen der Kavernenzentrale (oben) und umgebautem Betriebsgebäude (links unten). Der neue Hauptzugang liegt in der Achse des mittleren Portalbauwerkes.

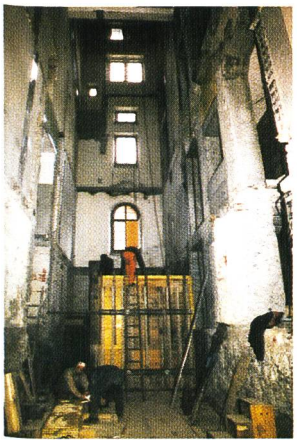


Bild 40. Auskernung für die neue Vertikalerschliessung.

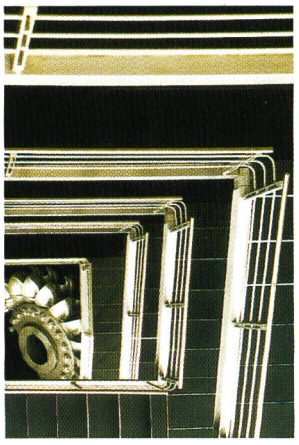


Bild 41. Neues Treppenhaus.

Gebäude frei geführten, blanken Kupferleiter der Hochspannungsanlagen sowie die mit staub- und erschütterungsempfindlichen Relais und Schiebewiderständen ausgerüsteten, siebzigjährigen Steuereinrichtungen liessen einen Umbau ohne Störung der Stromproduktion als nicht realisierbar erscheinen. Angesichts des Widerspruchs der Erstellung von Neubauten in unmittelbarer Nachbarschaft der zukünftig leerstehenden, sehr gut erhaltenen Bauten wurden auf Initiative der Planer mehrere alternative Nutzungsstudien erarbeitet. Entgegen der ursprünglichen Planungsvorgabe konnte in enger Zusammenarbeit mit den Betriebsfachleuten der SBB eine Umbauvariante weiterverfolgt werden. Der Ersatz der frei im Gebäude geführten 16-kV-Kreuzschiene (frei umschaltbare Verbindung zwischen den sechs bestehenden Generatoren und Trafos) durch isolierte, nicht umschaltbare Kabelverbindungen erlaubte die bauliche Verdichtung der Hochspannungsanlagen auf einem statt drei Geschossen. Zusammen mit der vorübergehenden Auslagerung von Büro- und Nebenräumen in weniger dicht belegte Bereiche sowie durch den Einbezug bisher nicht genutzter Dach- und Kellerräume konnte genügend Fläche für das neue Raumprogramm freigestellt werden.

Das Raumprogramm

Folgende neuen Nutzungen sind vorgesehen:
- Kommandoraum mit Rechenzentrum für Kaverne und Sektorleitstelle des SBB-Hochspannungsnetzes;
- Büros der Betriebsleitung, Schulungsräume, Personal, Aufenthalts- und Piketträume, Haustechnikzentrale.

Folgende Nutzungen durften bis zur Betriebsumstellung nicht beeinträchtigt werden:
- Generatorschalter mit den Verbindungsleitungen;
- Schaltanlagen zur Fahrleitungseinspeisung;
- Überwachungsraum (Warte) mit zugeordnetem Relaisraum des bestehenden Kraftwerkes;
- zahlreiche in- und ausserhalb der Gebäude geführte Leitungen verschiedenster Medien.

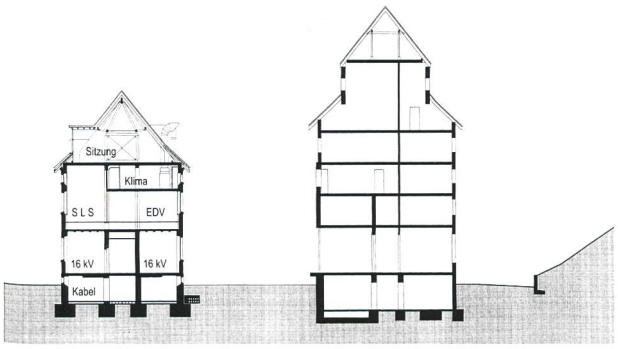


Bild 42. Schnitt durch das umgebaute Betriebsgebäude (links) und das Trafohaus (rechts).

Das Konzept

Das Gestaltungskonzept für die Umsetzung der Bauaufgabe basiert auf sechs Hauptpunkten:
- Einordnung der neuen Grossräume in die drei Längsschiffe der bestehenden Gebäudestruktur;
- klare Trennung zwischen neu geschaffenen Raumfolgen und sanft renovierten Bereichen;
- Ablesbarkeit der Eingriffe in die Tragkonstruktion;
- Detailgestaltung analog der bestehenden, kraftvollen Industriearchitektur von 1927;
- Aufwertung der eindrücklichen Glasdachkonstruktion von 1927 durch Integration in die neue Vertikalerschliessung (Tageslichtlenkung);
- Integration von Versatzstücken der alten Maschinenanlage anstelle «aufgesetzter» Kunst am Bau.

Bild 43. Umgebautes Betriebsgebäude: Kommandoraum und Rechenzentrum mit darüberliegender Klimazentrale (links oben).

Der Umbau

Das Kernstück des Umbaus bildet der Einbau des mit der Sektorleitstelle kombinierten grossflächigen Kommandoraumes im Obergeschoss des Schalthauses. Die das bestehende Geschoss in drei Räume von 44 m Länge, 5,9 m Höhe und 4,5 bzw. 3 m Breite unterteilenden Längswände aus Stampfbeton mussten in Stützen und Wandpfeiler aufgelöst werden. Durch das Einziehen einer Zwischendecke oberhalb der ersten Fensterreihe konnte Raum für die Klimazentrale direkt über dem Rechenzentrum geschaffen werden. Um trotz den bestehenden, 155 cm hohen Fensterbrüstungen den Ausblick ins Freie zu ermöglichen, wurde ein auf 70 cm aufgeständerter Doppelboden eingezogen. Dies erlaubte gleichzeitig, sämtliche Zuluftleitungen sowie die umfangreichen Kabelstränge und übrigen Installationen im Bodenbereich unterzubringen.

Durch die Auflösung der zwei Längswände in Stützen erwies sich ein Umbau der direkt darüberliegenden Dachkonstruktion als sinnvoll. Anstelle eines auf zahlreichen Säulen aufgelagerten Dachstuhls mit zwei Mittelpfetten wurden zwei über je 11 m gespannte Raumfachwerke unter das bestehende Dach eingezogen und deren Auflagerkräfte ausserhalb des weitgespannten Kommandoraumes in die unteren Geschosse eingeleitet. Der von Stützen befreite Dachraum dient nun als attraktiver Schulungs- und Vorführraum.

Bedingt durch die Anhebung des Doppelbodens im Kommandoraum sowie die Forderung nach einer alle Geschosse verbindenden Liftanlage wurde der Einbau einer

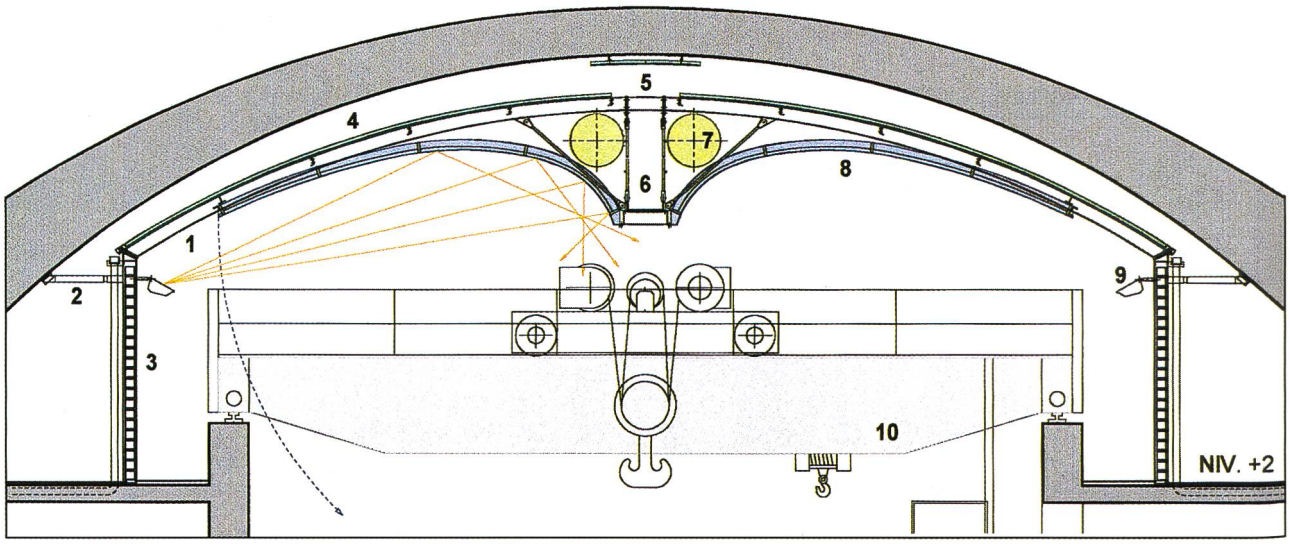


Bild 44. Schnitt durch Unterdach und Betongewölbe. In der Bildmitte: Laufsteg mit Scharnier der Reflektoren, Rauchabzugsrohre, Kontrollöffnung in der Blechhaut des Unterdaches. Scheinwerfer beidseitig an den Längswänden montiert.
1 Stahlträger IPE200, 2 Druckstab, 3 Stahlstütze mit KS ausgefacht, 4 Dachhaut Profilblech, 5 Kontrollöffnung, 6 Laufsteg, 7 Rauchabzug, 8 Reflektor, 9 Leuchte, 10 Maschinensaalkran.

neuen Vertikalerschliessung zwingend. Dies ermöglichte gleichzeitig die Schaffung klar definierter Steigzonen, getrennt nach Haus- und Kraftwerkstechnik. Unterhalb der bestehenden Warte wurden der Relaisraum, die Personalräume sowie in einem neu geschaffenen Untergeschoss die Heizzentrale untergebracht. Das über der Warte liegende, von einem Stahlfachwerk getragene Glasdach wurde neu eingedeckt und mit Belüftungsöffnungen versehen.

Die bestehenden Büroräume sowie die Pikettwohnung wurden sanft renoviert. Die gut erhaltenen, einfach verglasten Fenster wurden in allen Räumen belassen und durch innenliegende, isolierverglaste Vorfenster ergänzt.

Unterdach der Kavernenzentrale

Als eine der gestalterisch reizvollsten Aufgaben in der Gestaltung der Ingenieurbauwerke erwies sich aus der Sicht des Architekten die Konzeption des Unterdaches der Kavernenzentrale. Diesem in den meisten Kavernenkraftwerken zu findenden Bauelement sind folgende Funktionen zugeordnet:

- Dachhaut zur Abweisung von eindringendem Tropfwasser des Fels und Betongewölbes;
- Montageebene für die flächige Ausleuchtung des Maschinensaales;
- Akustikdecke zur Reduktion des Geräuschpegels bei laufenden Turbinen oder bei Renovationsarbeiten;
- Traggerüst für Zuluftkanäle und Rauchabzugsrohre.

Die Analyse zahlreicher Dachkonstruktionen bestehender Kraftwerkskavernen führte schliesslich zu einer in verschiedenen Punkten vom Bisherigen abweichenden Konstruktion, welche den für Laien überwältigenden Raumeindruck der neuen Maschinenhalle massgeblich mitprägt.

Konstruktion

Aus Sicherheitsgründen wurde auf eine am Betongewölbe aufgehängte Konstruktion verzichtet, Fachwerkkonstruktionen oder 3-Gelenk-Bogen mit untenliegendem Zugband konnten wegen der Überschneidung mit dem Lichtraumprofil der Krananlage nicht realisiert werden. Statt dessen wurde ein auf den beidseitigen Längswänden aufgelagerter Stahlbogen mit dazwischengehängten Pfetten und Windverbänden gewählt. Die in den Fusspunkten des Bogens auftretenden Horizontalkräfte werden über Druckstäbe direkt auf das Betongewölbe übertragen. Am Bogenscheitel aufgehängt ist ein als Installationsträger dienender Laufsteg aus Gitterrosten. Die auf den Pfetten liegende Dachhaut aus Aluminiumprofilblech ist im Scheitelbereich offen, so dass bei Kontrollgängen das darüberliegende Betongewölbe direkt vom Laufsteg eingesehen werden kann. Die für die Dachkonstruktion gewählte Geometrie erlaubt kleinere Unterhaltsarbeiten am Gewölbe ohne Demontage der Eindeckung.

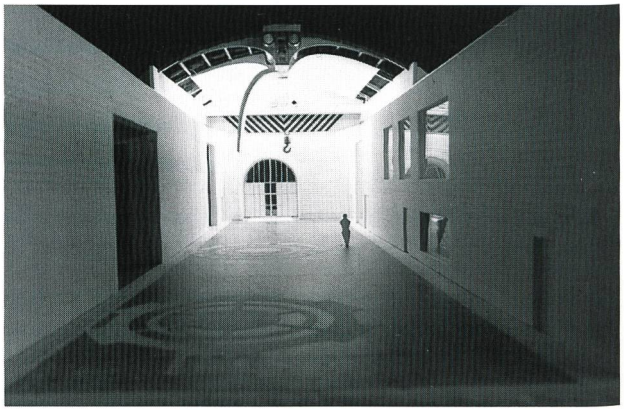


Bild 45. Beleuchtungsversuche am Innenraummodell der Maschinenhalle mit Unterdach und abgeklapptem Reflektorelement (Massstab 1:50, halbe Kavernenlänge).

Anstelle der normalerweise auf der Deckenuntersicht verteilt angebrachten Deckenleuchten wurden sämtliche Lichtquellen an den gut zugänglichen Längswänden montiert. Scheinwerfer werfen ihr Licht quer zum Raum auf gewölbte Reflektorelemente, welche das Licht schattenfrei auf den darunterliegenden Maschinensaal verteilen. Die am Laufsteg scharnierartig aufgehängten Reflektorelemente von 2,7×5,9 m können zu Kontroll- oder Reinigungszwecken abgeklappt oder entfernt werden. Durch die Beplankung mit Lochblech und die Hinterlage aus Akustikmatten dienen sie zusätzlich der Schallabsorbtion.

Der Rauchabzug erfolgt via Gitterrost des Laufsteges durch zwei am Steg aufgehängte wärmefeste Blechrohre.

Trotz den für die gebogenen Konstruktionsteile etwas höheren Erstellungskosten ist die gewählte Konstruktion wirtschaftlich, da dank guter Zugänglichkeit wesentlich geringere Unterhaltskosten anfallen.

Adresse des Verfasser: *Tobias Reinhard,* Reinhard + Partner, Planer + Architekten AG, Postfach, CH-3000 Bern 15.