Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 86 (1994)
Heft: 3-4

Artikel: Ausbau und Erneuerung des Kraftwerks Augst
Autor: Bieri, Stephen / Strauss, Peter / Krebs, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940777

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: 28.12.2025

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

Ausbau und Erneuerung des Kraftwerkes Augst

Vorwort

Diese Druckschrift ist zum Anlass der Einweihung des erneuerten Kraftwerkes Augst im Juni 1994 entstanden. Das Ausbauvorhaben, die konzessionsrechtlichen Hintergründe und die gewählte technische Lösung werden umfassend beschrieben und illustriert.

In einer ersten, 1992 herausgegebenen Publikation sind neben Informationen zum Kraftwerkausbau die Schleusenerneuerung und eine ausführliche Beschreibung der Strafloturbine enthalten. Diese zwei Themen werden deshalb in der vorliegenden Broschüre nicht mehr in dieser Tiefe behandelt.

Im Gegensatz zu den andern Kraftwerken am Hochrhein wird das Wasser der Staustufe Augst/Wyhlen von zwei unabhängigen Gesellschaften genutzt. Das Kraftwerk Wyhlen, auf der deutschen Seite des Rheins gelegen, wird durch die Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG (KWR) betrieben. Für das Kraftwerk Augst auf der Schweizer Rheinseite ist die Kraftwerk Augst AG (KWA) zuständig.

Die beiden Kraftwerke besitzen eine gemeinsame Konzession und wurden auch gleichzeitig entsprechend den Vorgaben dieser Konzession ausgebaut, wobei eine periodische fachtechnische, energiewirtschaftliche und organisatorische Zusammenarbeit gepflegt wurde.

Die folgenden Beiträge beziehen sich im wesentlichen auf den Ausbau des Kraftwerkes Augst. Spätestens der Beitrag zur Oberwasserregulierung zeigt aber auch die enge betriebliche Verknüpfung mit dem deutschen Partner auf.

1. Vorgeschichte

Dr. Stephan Bieri

Heimfall

Das Kraftwerk Augst wurde in den Jahren 1908 bis 1912 vom Kanton Basel-Stadt für die Versorgung der Stadt Basel und angrenzender Gebiete mit elektrischer Energie erbaut. Im Hinblick auf den Auslauf der ersten Konzession fällten der basellandschaftliche Landrat und der aargauische Grosse Rat in den Jahren 1981/82 den Heimfallsbeschluss für das Kraftwerk Augst. Die wichtigsten Modalitäten wurden im interkantonalen Staatsvertrag vom 21. Februar 1983 geregelt. Betrieb und Ausbau des Kraftwerks Augst werden hier als gemeinsame Aufgabe der beiden Kantone dargestellt; ausdrücklich wird der «Wille zu partnerschaftlicher Zusammenarbeit» erwähnt. Aufgrund der Staustrecken beträgt der Anteil an der Wasserkraft für den Kanton Aargau 85 %, für den Kanton Basel-Landschaft 15 %. Im Hinblick auf das erwähnte partnerschaftliche Verhältnis und im Zusammenhang mit dem Einstauersatz des Kraftwerkes Birsfelden sieht der Vertrag jedoch Beteiligungsverhältnisse an der neu zu gründenden Kraftwerk Augst AG von 80 % und 20 % vor.

Ein weiterer Vertrag war nötig, um die Ablösung mit dem bisherigen Betreiber, dem Kanton Basel-Stadt, zu regeln. Zwischen den beiden Partnern musste schliesslich auch vereinbart werden, wie das Heimfallsubstrat zu bewerten sei.

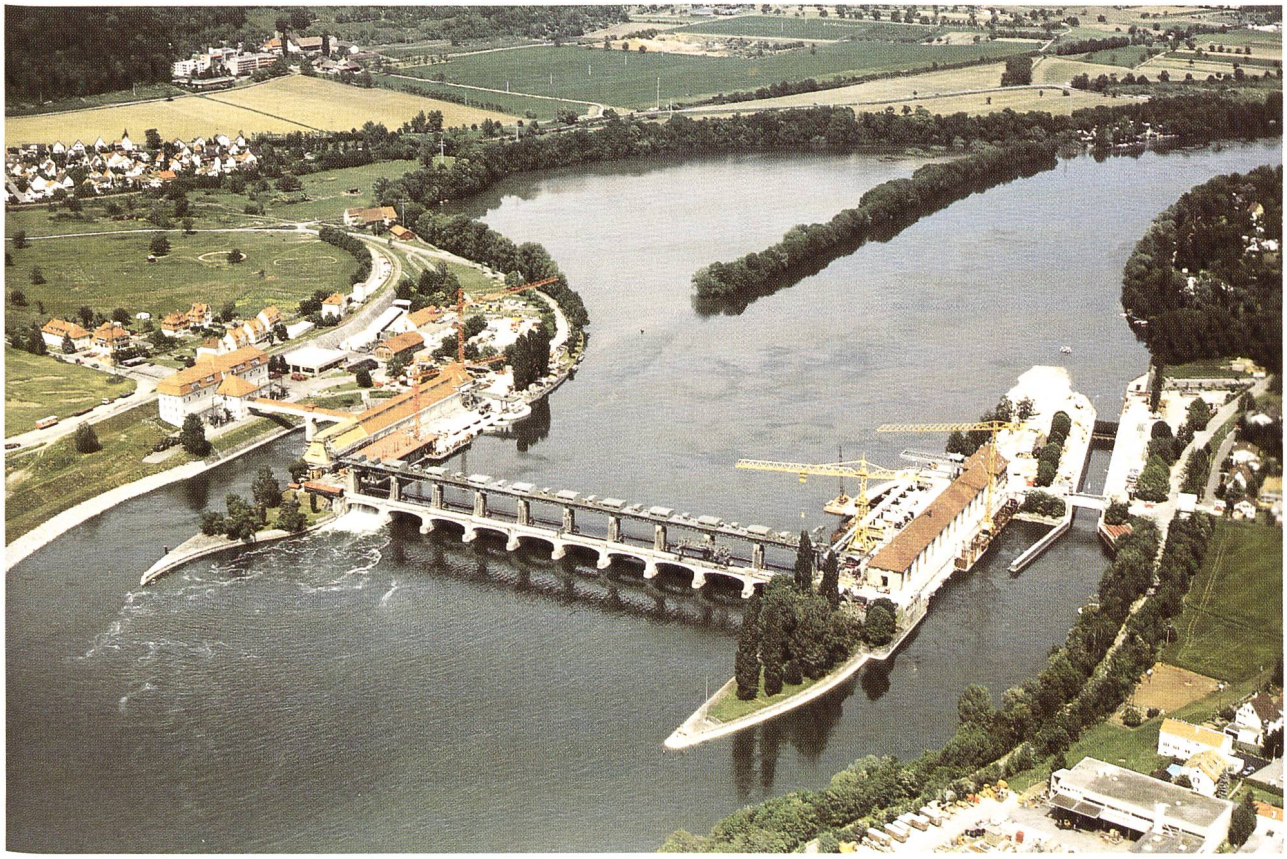


Bild 1. Die Kraftwerke Augst und Wyhlen während der Umbauphase. Im Gegensatz zu den meisten Flusskraftwerken sind die Maschinenhäuser rechtwinklig zum Wehr angeordnet.

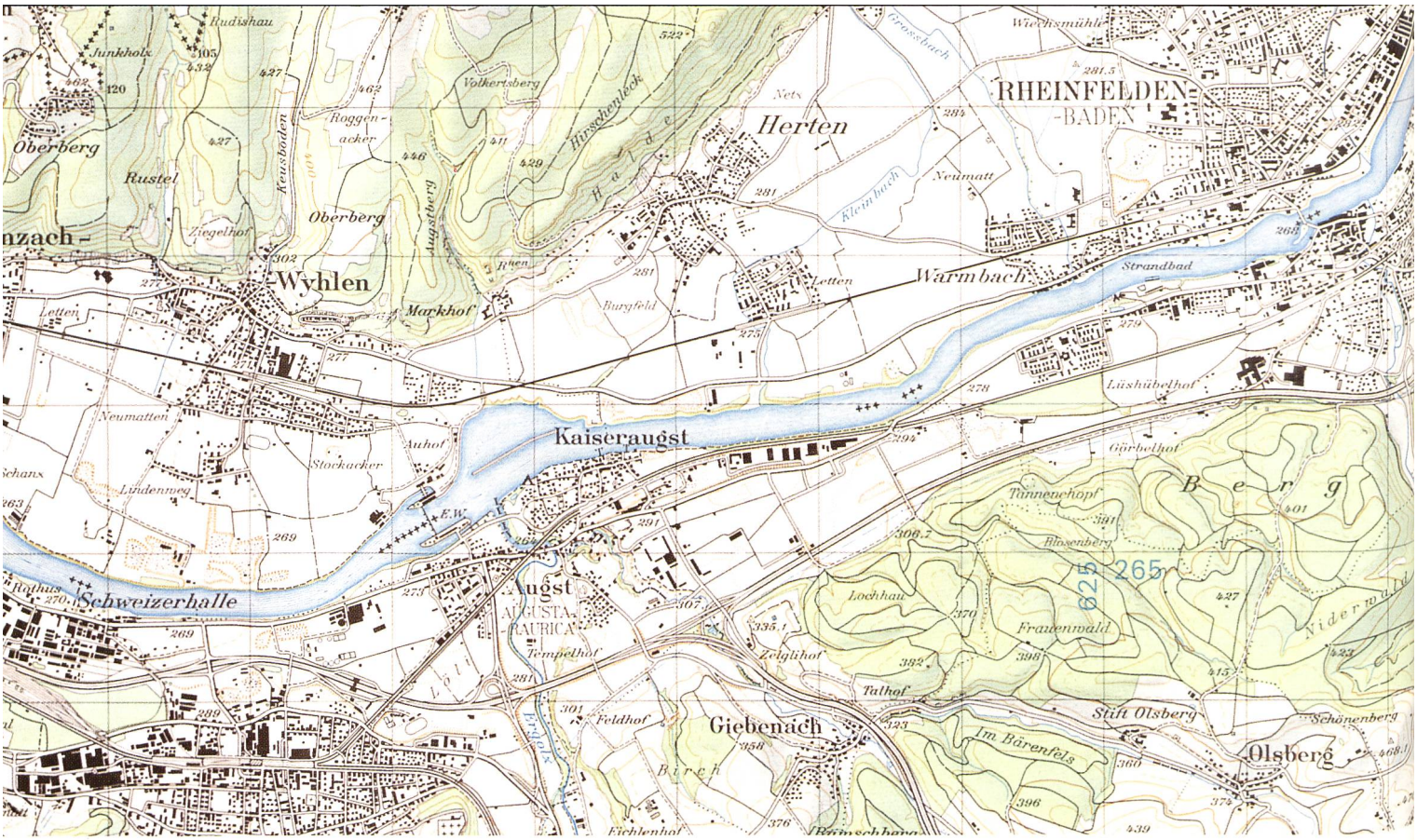


Bild 2. Geographische Lage der Kraftwerke Augst-Wyhlen. 85 % der Staustrecke auf der Schweizer Seite liegen im Kanton Aargau. Massstab 1:50 000. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. 2. 1994.

Gründung der Kraftwerk Augst AG

Bereits am 30. August 1983, also wesentlich vor dem Heimfalltermin, wurde die Kraftwerk Augst AG mit Sitz in Augst gegründet. Das Aktienkapital zeichneten die Kantone Aargau (40 %), Basel-Landschaft (20 %) und das Aargauische Elektrizitätswerk AEW (40 %). Die Geschäftsleitung wurde dem AEW übertragen. Gestützt auf den Staatsvertrag und gemäss der Praxis schweizerischer Partnerwerke erhielt die neue Gesellschaft zweckmässige Statuten, die sich bis heute bewährt haben. Im 15köpfigen Verwaltungsrat kommen die kantonalen, regionalen und lokalen Interessen zum Ausdruck.

Konzessionserteilung

Die junge Gesellschaft trieb in enger Absprache mit dem deutschen Partner, der Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG (KWR), die Projektierung des Ausbaus voran. Gleichzeitig wurde mit den schweizerischen und deutschen Behörden über die Erlangung der Konzession verhandelt. Dazu waren vielfältige technische, juristische und wirtschaftliche Abklärungen nötig. Nicht vergessen werden darf die eigentliche Betriebsübernahme, mit der auch anspruchsvolle personalpolitische Entscheide verbunden waren. Die Geschäftsleitung der Kraftwerk Augst AG möchte an dieser Stelle ganz besonders dem Kanton Basel-Stadt und den Industriellen Werken Basel für die ausgezeichnete Zusammenarbeit in dieser schwierigen Phase danken.

Auf den 7. Februar 1988 verlieh der Schweizerische Bundesrat, in Übereinstimmung mit dem Land Baden-Württemberg, der Kraftwerk Augst AG die neue Konzession. Der Text der Konzession für das Kraftwerk Wyhlen ist gleichlautend. Der Umfang des Wasserrechts (Art.1) ist wie folgt geregelt:

Den Kraftwerksunternehmen wird das Recht verliehen,

a) bei den Kraftwerken Augst und Wyhlen im Oberwasser bis zu 1500 m³/s zu entnehmen, zu nutzen und in das Unterwasser einzuleiten. Die genaue Nutzwassermenge wird von den Behörden festgestellt.

b) die Stauhöhe am Wehr Augst-Wyhlen bei allen Wasserführungen des Rheins maximal auf Kote 261.00 Neuer Schweizer Horizont (RPN = 373,60 m ü. M.) einzustellen. Der Minimalstau wird von den Behörden unter Berücksichtigung der Belange der Grossschiffahrt festgelegt.

c) das Gefälle des Rheins von Rhein-km 148.320 (bad. km 21.680), ca. 900 m oberhalb der Brücke Rheinfelden, bis Rhein-km 156.020 (bad. km 13.980), ca. 150 m unterhalb des Wehrs, zu nutzen.

Materiell und formell gehört diese Konzession zu einer neuen Generation von Konzessionen, mit denen eine bessere Ausnützung der zur Verfügung stehenden Wasserkraft angestrebt wird, gleichzeitig aber auch andere wesentliche öffentliche Interessen berücksichtigt werden.

Ausblick

In der Zwischenzeit hat die Kraftwerk Augst AG (KWA) nicht nur die ihr übertragenen Ausbauaufgaben erfüllt, sondern sie ist auch zu einem wichtigen Partnerwerk für das AEW und die Region Nordwestschweiz geworden. Das anvisierte Gestehungskostenniveau wird nicht überschritten. Auf mittlere Frist gilt es, die Beteiligungsverhältnisse zu überprüfen und die energiewirtschaftlichen Beziehungen der Gesellschaft auszubauen.

2. Die Projektorganisation

Peter Strauss, Peter Krebs

Der Umbau eines grossen Flusskraftwerkes bedeutete für das Aargauische Elektrizitätswerk eine herausfordernde und sicher nicht alltägliche Aufgabe, welche nur mit leistungsfähigen Partnern zu lösen war.

Grosse Bedeutung kommt bei einem Bauvorhaben solchen Umfangs der Wahl des projektierenden und bauleitenden Ingenieurs zu. An den Ingenieur müssen hohe Anforderungen bezüglich Vielseitigkeit, Verfügbarkeit von Spezialisten und Erfahrung gestellt werden. Die Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI) wurde aufgrund verschiedener übergeordneter Zielsetzungen gewählt.

Beim AEW, dem nach der Gründung der Kraftwerk Augst AG die Geschäftsleitung und die Verantwortung für den Umbau übertragen worden war, wurde bereits in einem frühen Stadium eine Projektorganisation, bestehend aus Projektsteuerung, einem fünfköpfigen Projektteam und einem vollamtlichen Projektadministrator, gebildet.

In Zusammenarbeit mit einem externen Berater wurde ein Projekthandbuch erarbeitet, das während der ganzen Abwicklung des Projektes stets als Grundlage und Arbeitshilfsmittel diente.

In den Kapiteln «Projektgrundlagen» und «Projektbeschreibung» sind alle wesentlichen Vorgaben und Ziele festgehalten. Die Aufbau- und Ablauforganisation ist in den Kapiteln «Projektorganisation» und «Baustellenorganisation» definiert. Hier wurde auf die Einhaltung definierter Abläufe sowie auf eine klare Trennung zwischen Kraftwerksbetrieb und Umbauprojekt Wert gelegt. Es zeigte sich immer wieder, wie wichtig derartige Regelungen in der Praxis sind (Bild 3).

Im Abschnitt «Vertragswesen» ist neben den technischen, kommerziellen und juristischen Aspekten der Vertragsabwicklung auch das Vergabekonzept definiert. Dieses Vergabekonzept wurde noch vor den ersten Ausschreibungen erarbeitet und dem Verwaltungsrat unterbreitet. Als eine der wesentlichen Festlegungen dieses Konzeptes darf wohl die Umschreibung und Abgrenzung der Vergabelose bezeichnet werden. Grundsätzlich wurde darauf geachtet, bei der Losbildung die Verantwortung für wichtige Schnittstellen bestimmten Lieferanten zu überbinden. Dies führte zwangsläufig zu grossen Losen, die jeweils einer Unternehmung als Generalunternehmer-Auftrag zugesprochen wurden; so z. B. das Los «Elektrische Anlagen», dessen Umfang von den Leistungstransformatoren über die Schaltanlagen, Kraftwerksleittechnik, Schutz- und Eigenbedarfsanlagen bis hin zur Haustechnik reichte. Diese Losbildung hat sich gut bewährt. Sie ist eine sinnreiche Methode, den Koordinationsaufwand in Grenzen zu halten.

Weitere Kapitel des Projekthandbuchs sind der «Kostenplanung und -überwachung», der «Terminplanung und -überwachung» sowie dem «Qualitätssicherungskonzept» gewidmet.

Die Abwicklung eines derart umfangreichen und komplexen Bauvorhabens mit einem kleinen Stab eigener Mitarbeiter zwingt den Bauherrn nicht nur zu einer gut durchdachten Projektorganisation, sondern auch zu einem differenzierten Verständnis seiner eigenen Rolle innerhalb der Projektabwicklung. Er darf seine beschränkten Ressourcen in aller Regel nicht dazu verschwenden, Aufgaben zu lösen, die bereits dem Ingenieur oder einer Unternehmung übertragen sind. Dies setzt allerdings weitgehendes Vertrauen in die Arbeit des Ingenieurs und eine bewusste Abstimmung der Denkweise voraus. Der Ingenieur muss seine Vertrauenswürdigkeit immer wieder unter Beweis stellen.

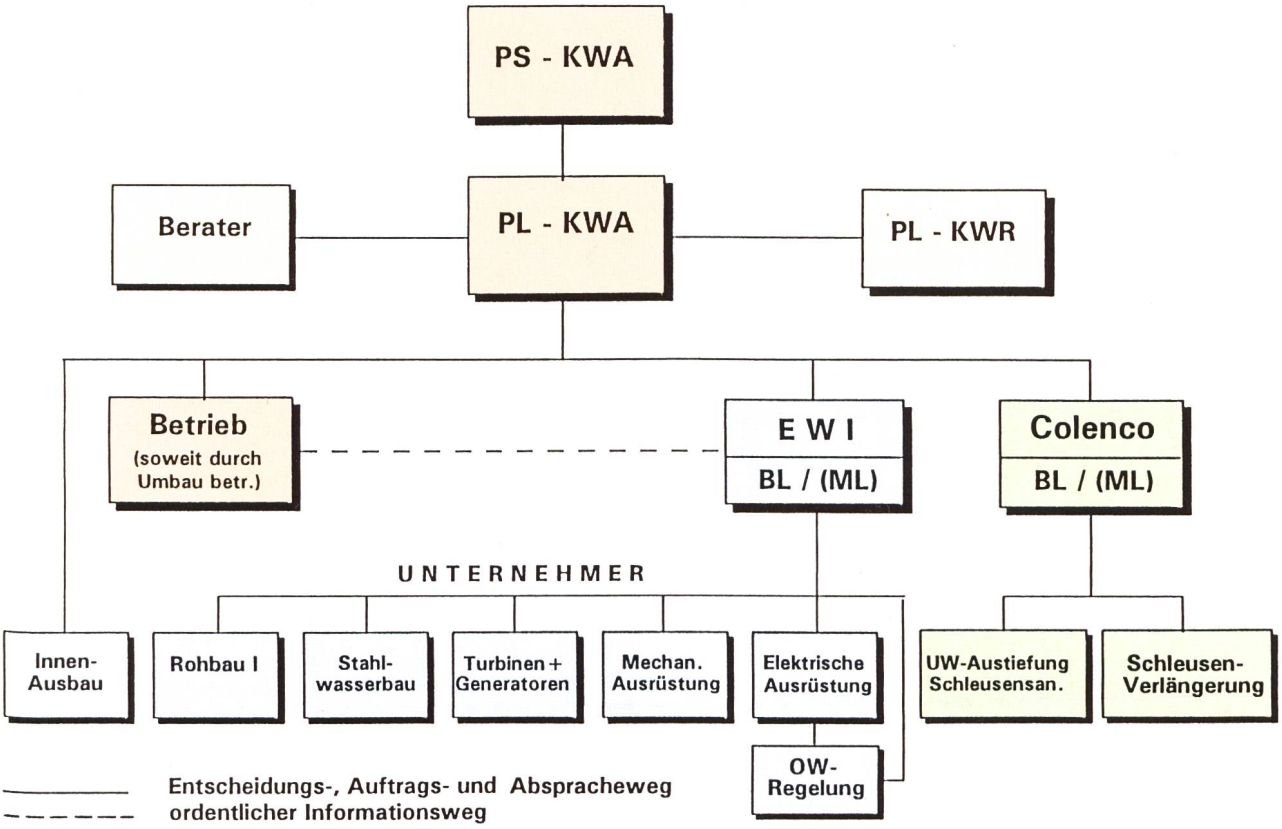


Bild 3. Strikte Einhaltung der Ablauforganisation auf der Baustelle ist Voraussetzung für das Gelingen eines grossen Projektes.
PS = Projektsteuerung, PL = Projektleitung, BL = Bauleitung, ML = Montageleitung; KWR = Kraftübertragungswerke Rheinfelden, KWA = Kraftwerk Augst AG, EWI = Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG.

Der Bauherr wird seine Mittel und Fähigkeiten in der Planungsphase vornehmlich in die Arbeit der Pflichtenhefterstellung und während der Bauausführung im Bereich der Kosten- und Terminüberwachung sowie der Qualitätssicherung einsetzen, die Behördenkontakte und die Öffentlichkeitsarbeit betreuen und das Versicherungswesen und Fragen der Finanzierung abdecken. Eine weitere wichtige Aufgabe liegt in der Wahrnehmung von Instruktions- und Schulungsaufgaben, gilt es doch, das eigene Personal in geeigneter Weise in eine weitgehend neue Technik einzuführen. Daneben bleibt es dem Bauherrn unbenommen, einzelne klar abgegrenzte Fachleistungen durch eigene Mitarbeiter zu erbringen. Diese haben sich aber in die Projektorganisation ohne Sonderrechte einzuordnen. Schliesslich tut der Bauherr gut daran, sich frühzeitig Gedanken dazu zu machen, in welchen Bereichen er seinen Einfluss zwingend geltend machen will und wo er bereit ist, dem Ingenieur freie Hand zu lassen.

Die in der Projektierungs- und Bauausführungsphase mit der beschriebenen Projektorganisation gemachten Erfahrungen haben klar gezeigt, dass die Abwicklung eines komplexen Grossprojektes mit einer kleinen, motivierten Mannschaft möglich ist, wenn zum voraus festgelegte Spielregeln konsequent eingehalten werden.

3. Das alte Kraftwerk

Peter Krebs

In den Jahren 1908 bis 1912 wurde vom Kanton Basel-Stadt und den Kraftübertragungswerken Rheinfelden die Staustufe Augst-Wyhlen erbaut. Die Anlage besteht aus dem Kraftwerk Augst auf der Schweizer Rheinseite, dem Kraftwerk Wyhlen auf der deutschen Seite sowie dem gemeinsamen Wehr und der Schiffahrtsschleuse am Schweizer Ufer. Die Anlage ist ein typisches Niederdruckwerk. Das quer zur Flussrichtung stehende, 212 m lange Schützenwehr mit 10 Wehröffnungen erzeugt einen Aufstau des Rheins, der über eine 8 km lange Strecke bis zur Brücke Rheinfelden reicht. In den beiden parallel zur Flussrichtung angeordneten Maschinenhäusern wird das aufgestaute Wasser zur Produktion von elektrischer Energie genutzt und über die Unterwasserkanäle wieder dem Flussbett zugeführt.

Realisierung 1908 bis 1912

Während das Kraftwerk Wyhlen im Schutz des ursprünglichen Ufers weitgehend im Trockenen erstellt werden konnte, waren beim Kraftwerk Augst, das in einen Nebenarm des Rheins gebaut wurde, umfangreiche Massnahmen zur Wasserhaltung notwendig. Mit aufwendigen Fangdämmen wurde das Baugelände vom Rhein abgetrennt. Hochwasserperioden während der Bauzeit, die teilweise zur Überflutung der Fangdämme führten, sorgten für zusätzliche Schwierigkeiten. Trotz widriger Umstände und beschränkter technischer Hilfsmittel konnte das grosse Bauwerk nach vierjähriger Bauzeit in Betrieb genommen werden.

Aus heutiger Sicht von Interesse ist die seinerzeit angewendete Caisson-Bautechnik für die Erstellung der Wehrfundation. Kastenförmige Hohlkörper ohne Boden mit Grundflächen bis über 100 m² wurden auf den Flussgrund abgesenkt und im Innern unter Luftdruck gesetzt (Luftdruck = Wasserdruck), um den Wassereintritt durch die Sohle zu verhindern. Im Schutze dieser Caissons konnten die Fundierungsarbeiten für die Wehrpfeiler und auch die Wehrschwellen im Trockenen erstellt werden. Der Ein- und Ausstieg erfolgte über kaminförmige Personenschleusen. Auf ähnliche Weise musste auch das Material via Materialkamine in die Kammern eingeführt werden.

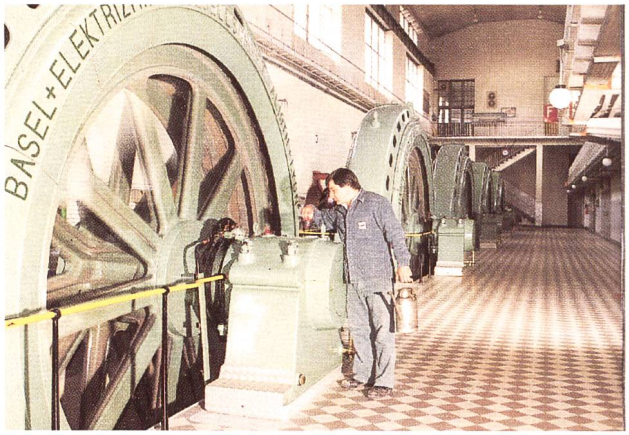


Bild 4. Die Maschinenhalle vor dem Umbau: zehn 80jährige Synchrongeneratoren in Reih und Glied.

Im Gegensatz zu den heutigen Eisenbetonkonstruktionen wurde vor 80 Jahren weitgehend unarmierter Stampfbeton verwendet. Dank grosszügiger Dimensionierung hat die Bausubstanz die Jahrzehnte gut überdauert.

Dass zwei Länder am Bau beteiligt waren, zeigt ein Detail am Wehr: Der die Landesgrenze bildende mittlere Wehrpfeiler ist auf der deutschen Seite mit Schwarzwaldgranit, auf der Schweizer Seite mit Gotthardgranit verkleidet!

Technische Beschreibung

Das alte Doppelkraftwerk Augst-Wyhlen konnte eine Wassermenge von maximal 840 m³/s verarbeiten, die je zur Hälfte in Augst bzw. in Wyhlen genutzt wurde. Die Turbinenanlage in Augst bestand aus 10 Francis-Turbinen mit horizontalen Wellen und je 4 parallel auf der Welle sitzenden Laufrädern, d. h. total 40 Laufrädern. Zwei kleinere Turbinen ähnlicher Bauart trieben die Erregermaschinen an, welche den Magnetisierungsstrom für die Polräder lieferten. Die Wellen von über 20 m Länge durchstiessen in ursprünglich als Stopfbüchsen ausgebildeten Dichtungen die Wand des Maschinenhauses und endeten in den mächtigen, weitgehend unverschalten Generatoren, welche im untern Viertel in einer Grube versenkt waren. Die Anlage produzierte bei mittlerer Wasserführung ca. 125 Millionen Kilowattstunden pro Jahr (Bild 4).

Während das Kraftwerk ursprünglich für ein Gefälle von 4,7 bis 8,4 m ausgelegt war, beträgt das maximale Gefälle seit dem Einstau durch das Kraftwerk Birsfelden im Jahre 1954 nur noch 6,7 m. Dem in Augst-Wyhlen entstehenden Energieverlust von ca. 20 % steht eine wesentlich grössere Mehrproduktion im Kraftwerk Birsfelden gegenüber. Die Einstauverluste werden durch das Kraftwerk Birsfelden abgegolten.

Im Jahre 1910 wurde auf der Augster Seite der Bau der obersten Grossschiffahrtsschleuse am Hochrhein begonnen. Die Schleuse war 12 m breit und 90 m lang. Regelmässige Benutzer der Schleuse sind auch heute noch die Basler Personenschiffahrt, welche Rheinfelden im Sommer fahrplanmässig bedient, sowie Frachtschiffe, die den Hafen Rheinfelden und Industrieanlegestellen anfahren.

Die Baukosten für die ganze Kraftwerksanlage, inkl. Anteil an Wehr und Schleuse, beliefen sich vor 80 Jahren auf knapp 12 Millionen Franken. Eine Umrechnung auf heutige Preisbasis ist kaum mehr möglich; es muss sich aber um einen sehr hohen Betrag gehandelt haben.

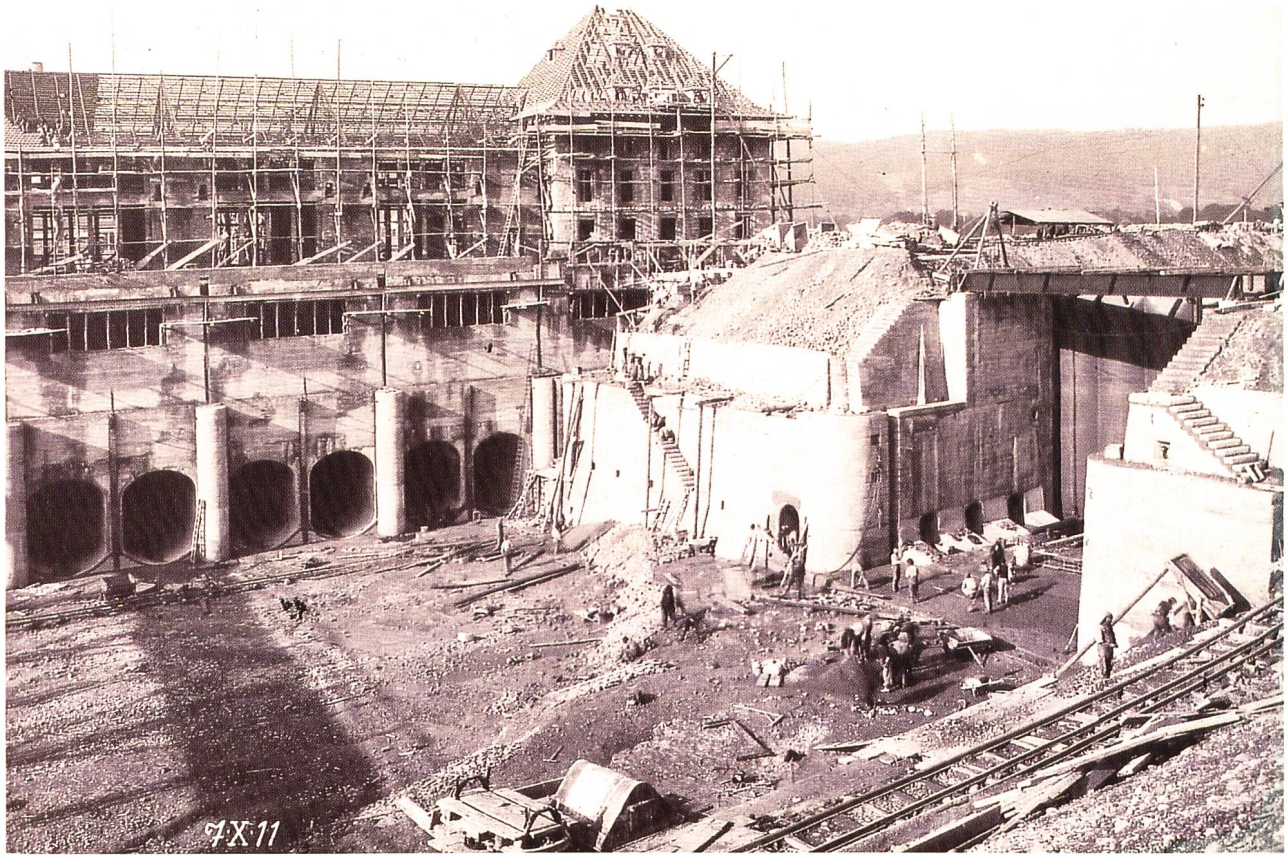
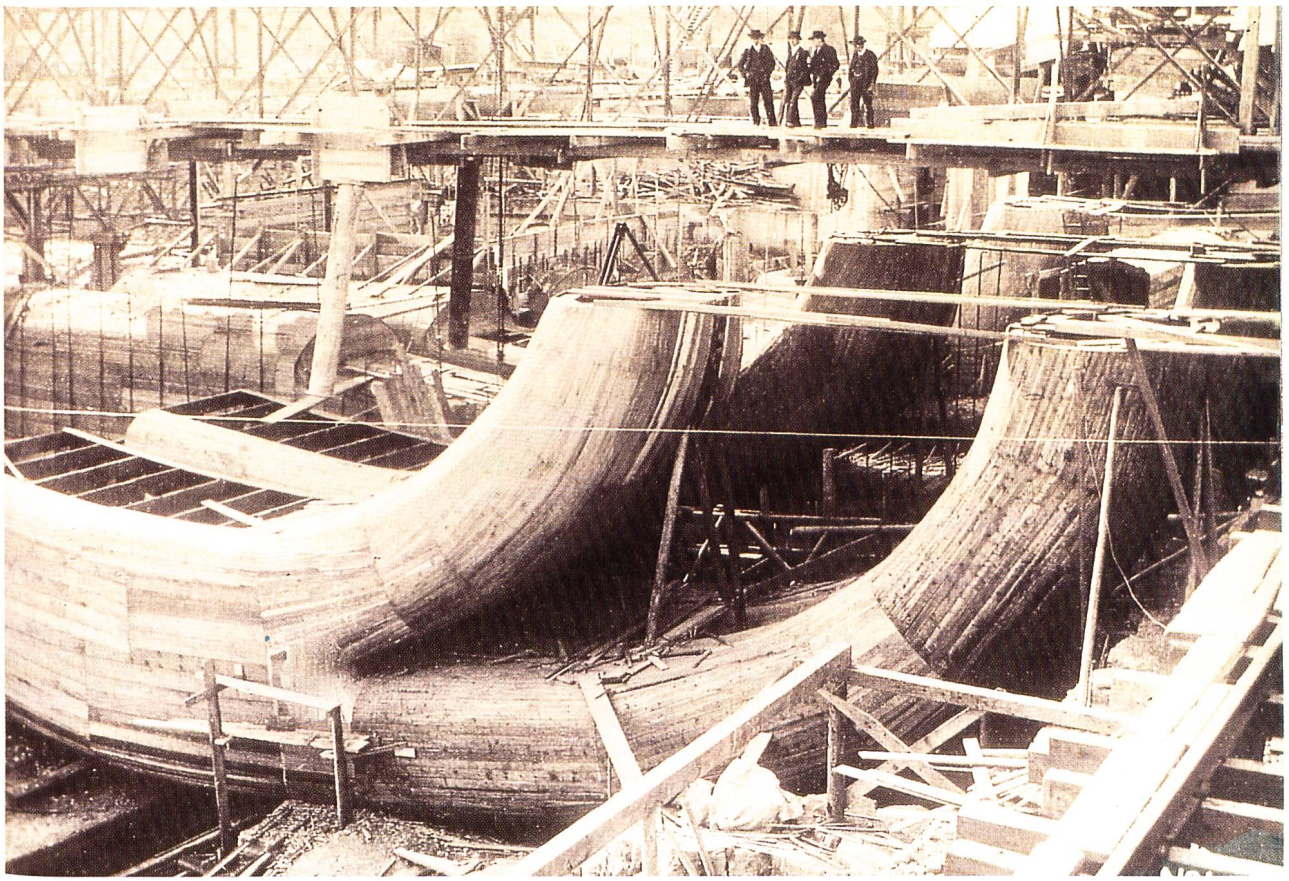


Bild 5. Neubau der Kraftwerksanlage Augst im Jahre 1911. Unter dem Maschinenhaus münden die Saugrohre in den noch trockenen Unterwasserkanal. Rechts die Einfahrt in die Schiffahrtsschleuse.

Bild 6. Auch vor 80 Jahren waren schon gute Handwerker am Werk. Die komplizierten Schalungen für die Saugrohre auf der Baustelle.



4. Ausbaustudien

Peter Ender, Peter Krebs

Konzessionsprojekt

Schon Ende der 60er Jahre wurden Ausbaustudien für die Staustufe Augst-Wyhlen in Auftrag gegeben. Alles schien auf den Einbau je einer zusätzlichen grossen Rohrturbine in Augst und in Wyhlen hinzudeuten. Im Dezember 1984 reichten die Kraftwerk Augst AG und die Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG den Behörden ein Konzessionsprojekt ein, das eben diese Rohrturbinen vorsah. Die Schluckwassermenge sollte 375 m³/s, die Leistung 22,3 MW pro Turbine betragen.

Die 1985 durchgeführten geologischen Sondierungen liessen auf grosse Risiken bei der Bauausführung schliessen. Zudem zeigten auch die Modellversuche, dass Rohrturbinen mit derart grossen Betriebswassermengen hydraulisch nicht optimal zu plazieren waren. Diese Erkenntnis führte zu weiteren Studien, die unter anderem auch mehrere kleinere Rohrturbinen im Wehrbereich umfassten und die verschiedensten Möglichkeiten in bezug auf Anordnung, Anzahl und Turbinentyp betrachteten. Die Untersuchungen führten schliesslich zur Überzeugung, dass ein Umbau der bestehenden Zentrale die wirtschaftlichste Lösung bei vertretbaren technischen Risiken darstelle (Bild 7).

In der Folge musste durch Bohrkernentnahmen die bestehende Bausubstanz überprüft werden. Es galt sicherzustellen, dass die in den Umbau einbezogenen baulichen Strukturen eine akzeptable Betonqualität aufwiesen. Gleichzeitig wurden an der technischen Universität Karlsruhe hydraulische Untersuchungen an einem Gesamtmodell im Massstab 1:50 (Bild 8) und an einem Teilmodell im Massstab 1:25 durchgeführt. Am Teilmodell wurden im speziellen die Einlaufpartien der neuen Turbinen strömungsmässig optimiert. Wichtig war auch der modellmässige Nachweis, dass durch den Einbau einer Leit- und Umlenkmole im Unterwasser für die Schiffahrt Verhältnisse geschaffen werden können, die mit denjenigen vor dem Umbau vergleichbar sind.

Nachdem die Bausubstanzbefunde die Ausführung gestattet, die hydraulischen Modellversuche günstige Resultate gezeigt hatten und sich die Straflo-Maschine in einem zusätzlichen Maschinentypenvergleich als wirtschaftlichste Lösung erwiesen hatte, entschlossen sich die beiden Kraftwerksgesellschaften, den Behörden ein ergänzendes Konzessionsprojekt einzureichen. Dieses Konzessionsprojekt sah einen Umbau der bestehenden Zentrale vor, in dem in der bisherigen Maschinenteilung fünf Francis-Maschinen von ca. je 40 m³/s Betriebswassermenge sowie die beiden Erregerturbinen durch insgesamt 6 Straflo-Maschinen mit je einer Betriebswassermenge von 94 m³/s ersetzt werden.

Zweitausbau

In einem weiteren Schritt wurde während der Realisierungsphase beschlossen, aus betrieblichen Gründen eine weitere Straflo-Maschine einzubauen, so dass im Endausbau 7 neue Einheiten zur Verfügung stehen. Als Alternative zur Realisierung der siebten Straflo-Einheit stand ein umfangreiches Retrofitprogramm an den verbleibenden fünf Francis-Maschinen zur Diskussion. Im Rahmen dieser Retrofitmassnahmen wäre auch eine Automatisierung und Einbindung der alten Maschinen in das Kraftwerkleitsystem vorgesehen gewesen. Diese Lösung wurde auf der Wyhlener Seite realisiert. Da der ungenügende Wirkungsgrad der alten Turbinen mit einem Retrofitprogramm nicht verbessert werden konnte, die Wicklungen der alten Augster Generatoren ausserdem in einem wesentlich schlechteren Zustand waren als in Wyhlen und die Retrofitmassnahmen kostenmässig sehr nahe bei der Realisierung einer siebten Straflo-Gruppe lagen, wurde schliesslich für diese entschieden.

Da jede der neuen Maschinen für eine Betriebswassermenge von ca. 94 m³/s ausgelegt ist, ist es nicht möglich, die gemäss Konzession geforderte Ausbauwassermenge mit neuen Gruppen allein zu verarbeiten. Auf Anordnung der Behörden müssen deshalb mindestens zwei der alten Francis-Turbinen weiterhin betriebsbereit gehalten werden. Aufgrund der Wasserführung und des mit KWR vereinbarten Einsatzregimes werden die alten Maschinen allerdings nur noch an etwa 70 Tagen im Jahr in Betrieb stehen und damit weniger als 2 % zur Jahresproduktion beitragen. Die Erhaltung einzelner Francis-Einheiten könnte hingegen von industriearchäologischer Bedeutung sein.

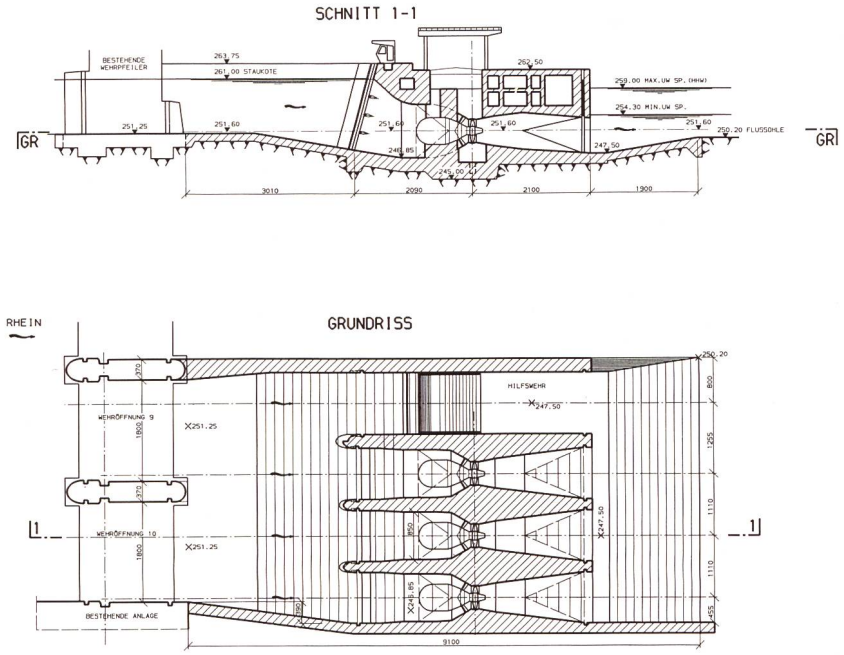


Bild 7. Eine Ausbauvariante mit drei Rohrturbinen in der Wehrachse.

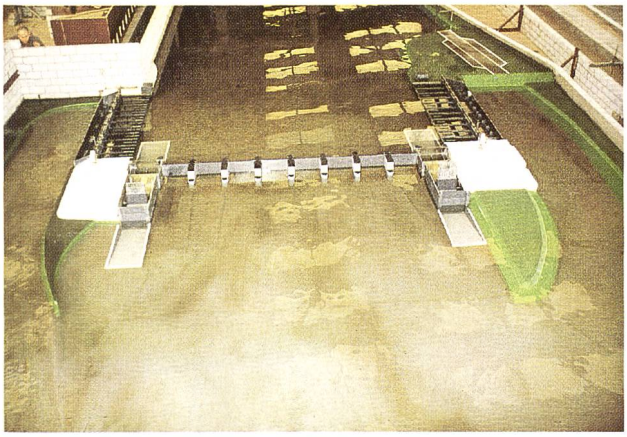


Bild 8. Im Wasserbaulabor der Technischen Universität Karlsruhe wurden die verschiedenen Ausbauvarianten im Modell 1 : 50 strömungsmässig untersucht. Im Bild die Variante mit zwei grossen Rohrturbinen in der Wehrachse.

Einstau durch Birsfelden – Stauziel

Der seit 1954 bestehende Einstau durch das Kraftwerk Birsfelden bewirkt bei der Staustufe Augst-Wyhlen eine Gefällsreduktion von 0,5 bis 2,5 m. Das verbleibende, eher geringe Gefälle von 6,7 m bis 4,5 m stellt für die Wirtschaftlichkeit und die technische Ausführung der Anlage einen nicht zu vernachlässigenden Nachteil dar. Es ist deshalb naheliegend, dass auch die Frage einer Stauzielerhöhung geprüft wurde. Berechnungen zeigten, dass eine Erhöhung von 261,0 m auf 261,75 m ohne Beeinflussung des Oberliegers, des projektierten Kraftwerkes Neu-Rheinfelden, möglich wäre. Vorsorglich wurde der Umbau so dimensioniert, dass die heute eingebauten Elemente eine solche Stauerhöhung ertragen können. Aus verschiedenen Gründen wurde aber darauf verzichtet, ein Projekt mit Erhöhung des Stauzieles einzureichen.

Betriebskonzept

Gleichzeitig galt es, in einem Betriebskonzept die künftigen betrieblichen Anforderungen, die Einsatzdoktrin der Maschinen und die Betriebsorganisation soweit festzulegen, dass auch die bedienungstechnischen und überwachungsmässigen Anforderungen zu Pflichtenheften gestaltet werden konnten.

Als Hauptentscheid ist der Entschluss zu werten, einen schichtlosen Betrieb aufzubauen, Personal also nur noch während einer – allenfalls leicht verlängerten – Tagesarbeitszeit einzusetzen. Ausgenommen hievon sind selbstverständlich Störfälle.

Bauprojekt

Nach Erhalt der neuen Konzession im Februar 1988 wurde den zuständigen Behörden das Bauprojekt eingereicht, worauf der Schweizerische Bundesrat im März 1990 dem Projekt die Genehmigung erteilte. Besondere Auflagen betrafen unter anderem ein Beweissicherungsprogramm für das Grundwasser. Auf die Durchführung eines UVP-Verfahrens konnte verzichtet werden.

5. Das neue Kraftwerk

Die Hauptdaten des Kraftwerkes und die wichtigsten Kennzahlen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Kosten

Die Gesamtkosten für den Ausbau des Kraftwerkes inkl. Bauzinsen und Teuerung, jedoch ohne Kosten für die Schiffahrtsanlagen (Schleuse, Leitmole), betragen rund 210 Mio Franken.

Energiewirtschaftliche Bedeutung

Der Umbau des Kraftwerkes Augst ist ein spürbarer Beitrag zur Realisierung des Programms «Energie 2000», das eine

Tabelle 1. Hauptdaten

Hydrologische Daten					
Einzugsgebiet des Rheins					35 000 km²
Mittlere Jahresabflussmenge:					
Minimum (trockenes Jahr 1949)					633 m³/s
Maximum (nasses Jahr 1970)					1346 m³/s
Mittelwert (1935–1980)					1027 m³/s
Konzessionswassermenge (Augst und Wyhlen)					1500 m³/s
Nutzbares Wasservolumen (Mittelwert 1935–1980):					
Winterhalbjahr			12,71 Mrd. m³		(39,3 %)
Sommerhalbjahr			19,67 Mrd. m³		(60,7 %)
Jahr			32,38 Mrd. m³		(100,0 %)
Theoretische Hochwasserspitzen:					
Wiederkehrintervall (Jahre)	10	50	100	1000	10000
Hochwasserabfluss (m³/s)	3450	4000	4250	4900	5500
Bemessungshochwasser					5500 m³/s
Extremster beobachteter Hochwasseranstieg (1978):					
Zunahme innert 15 Stunden					2500 m³/s
Bruttofallhöhe					min. 4,5 m max. 6,7 m
Turbinen					
Typ			Straflo		Francis
Anzahl Maschinengruppen			7		4
Durchflussmenge pro Gruppe			94		40 m³/s
Maximale Leistung pro Gruppe			5,45		2,0 MW
Nenndrehzahl			93,75		107,14 U/min
Anzahl Turbinenräder pro Gruppe			1		4
Anzahl Laufradschaufeln (nicht reguliert)			4		4 × 17
Anzahl Leitradschaufeln (reguliert)			18		4 × 20
Lage der Turbinenachse			geneigt 6,5°		horizontal
Laufraddurchmesser			3,80		1,50 m
Generatoren					
Nennleistung			5,0		2,8 MVA
Max. Leistung			5,75		– MVA
Nennspannung			6,8		6,8 kV
Nennfrequenz			50		50 Hz
Nenndrehzahl			93,75		107,14 U/min
Anzahl Pole			64		56
Transformatoren					
Anzahl					2
Nennleistung					21 MVA
Nennfrequenz					50 Hz
Schaltgruppe					YNd5
Primärspannung					6,8 kV
Sekundärspannung (umschaltbar)					50 / 110 kV
Kurzschlussspannung					9 %
Mittlere Netto-Energieproduktion (Seite Augst)					
Winter					90 Gwh
Sommer					115 Gwh
Jahrestotal					205 Gwh
Termine					
Konzessionsbeginn					Februar 1988
Baubewilligung					März 1990
Baubeginn Vorarbeiten					Herbst 1990
Hauptarbeiten					Januar 1991
Beginn Probebetrieb Maschine 1					November 1992
Beginn Probebetrieb Maschine 7					April 1994

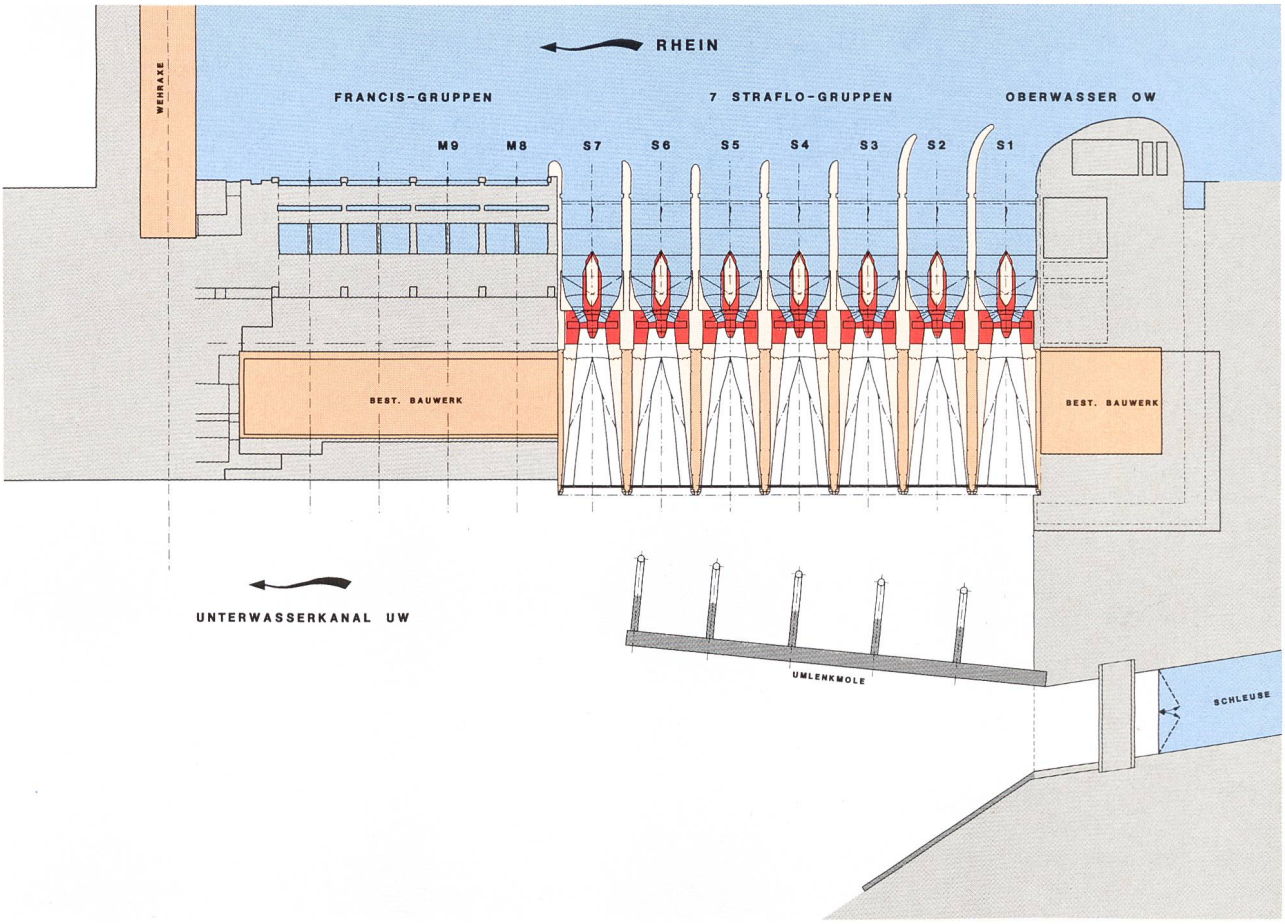
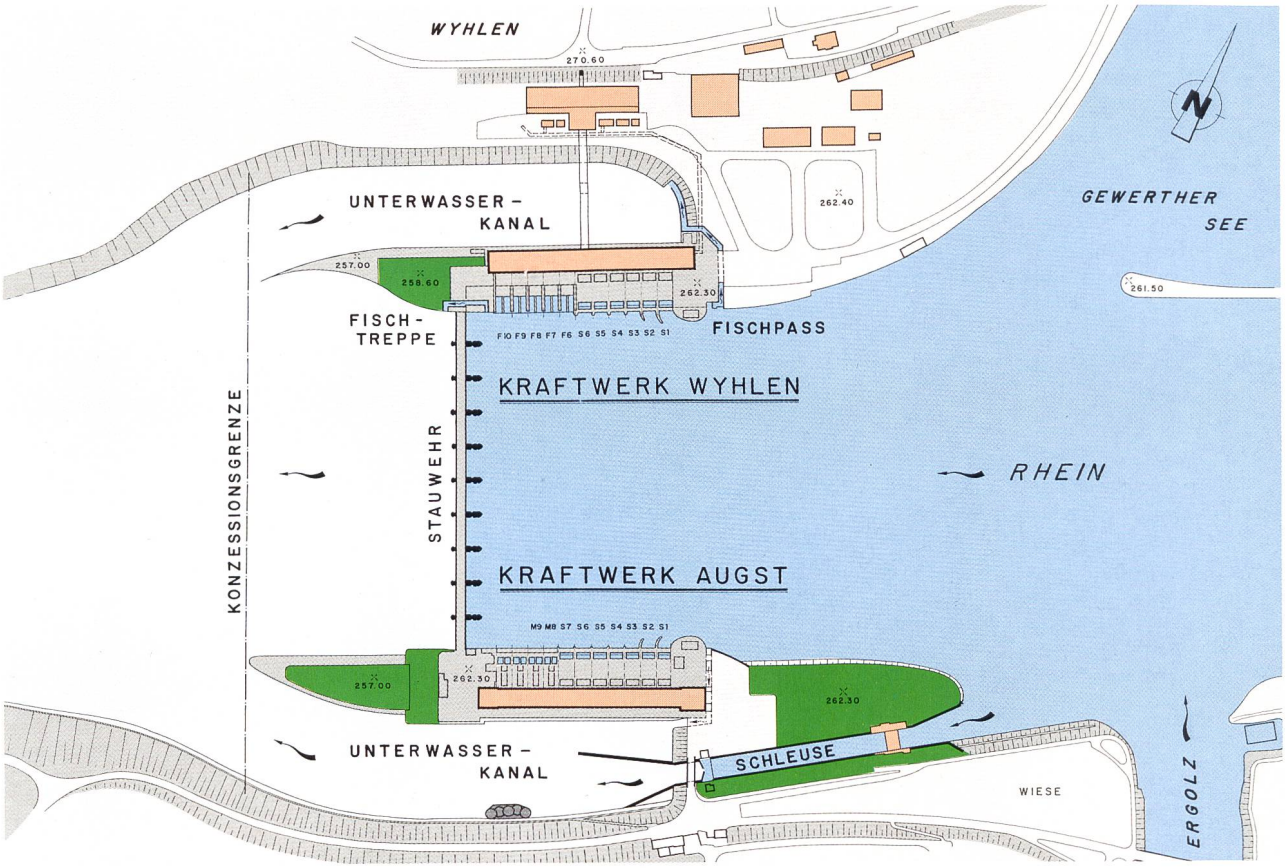


Bild 9. Im bestehenden Achsabstand wurden sieben neue Straflomaschinen anstelle der alten Francis-Einheiten installiert.

Bild 10. Situationsplan der Staustufe Augst-Wyhlen mit der umgebauten und verlängerten Schleuse am unteren Bildrand.



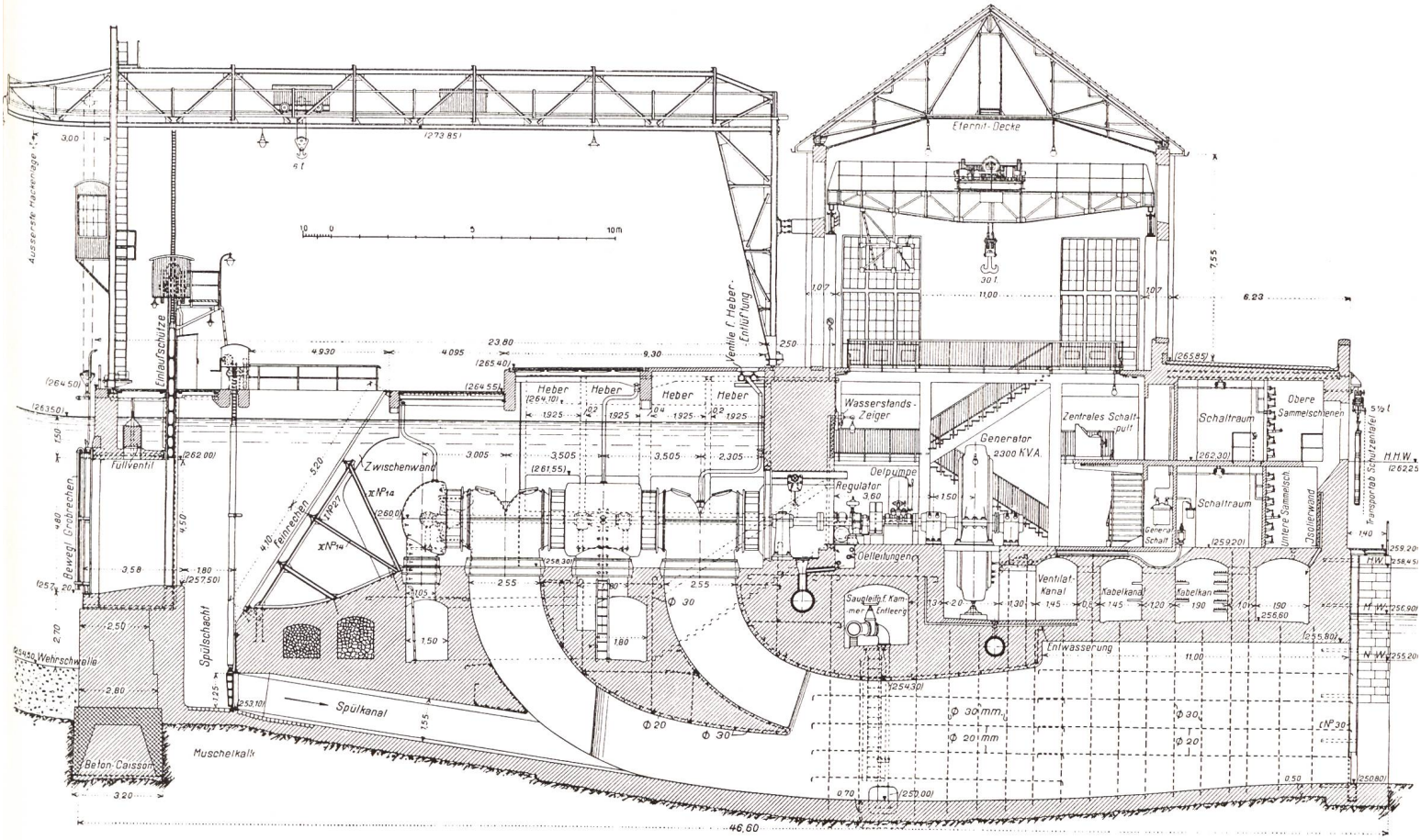


Bild 12. Das alte Kraftwerk im Querschnitt 1:250 (aus Sonderdruck der «Schweizerischen Bauzeitung» Band LXIII, 1914).

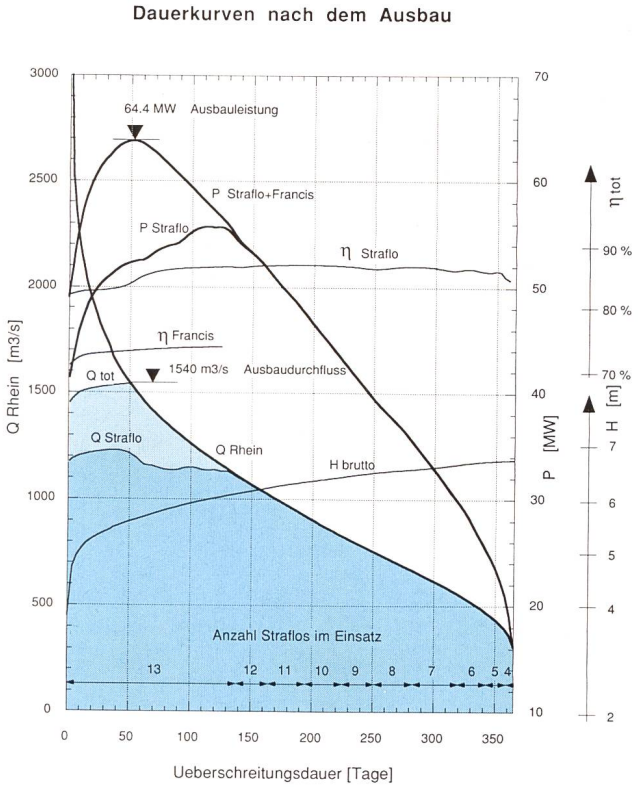


Bild 11. Die Dauerkurve gibt Aufschluss über die Zusammenhänge zwischen Rheinabfluss (Q), Gefälle (H), Leistung (P), Wirkungsgrad (η) und Maschineneinsatz. Die Angaben gelten für die Staustufe Augst-Wyhlen.

Erhöhung der Energieproduktion durch einheimische Wasserkraft um 5 % vorsieht. Bei einer Amortisationszeit von 33 Jahren wird die produzierte Energie nach Abschluss des Ausbaus auf ca. 13 Rp./kWh zu stehen kommen, womit es möglich sein wird, in der Region Energie zu konkurrenzfähigen Preisen anzubieten. Allerdings liegt der Kilowattstunden-Preis heute noch höher als für die Beschaffung entsprechender Energie auf dem Markt. Die Aktionäre leisten also mit der Übernahme der Produktion auch einen wirtschaftlichen Beitrag an die Nutzung einheimischer Wasserkraft.

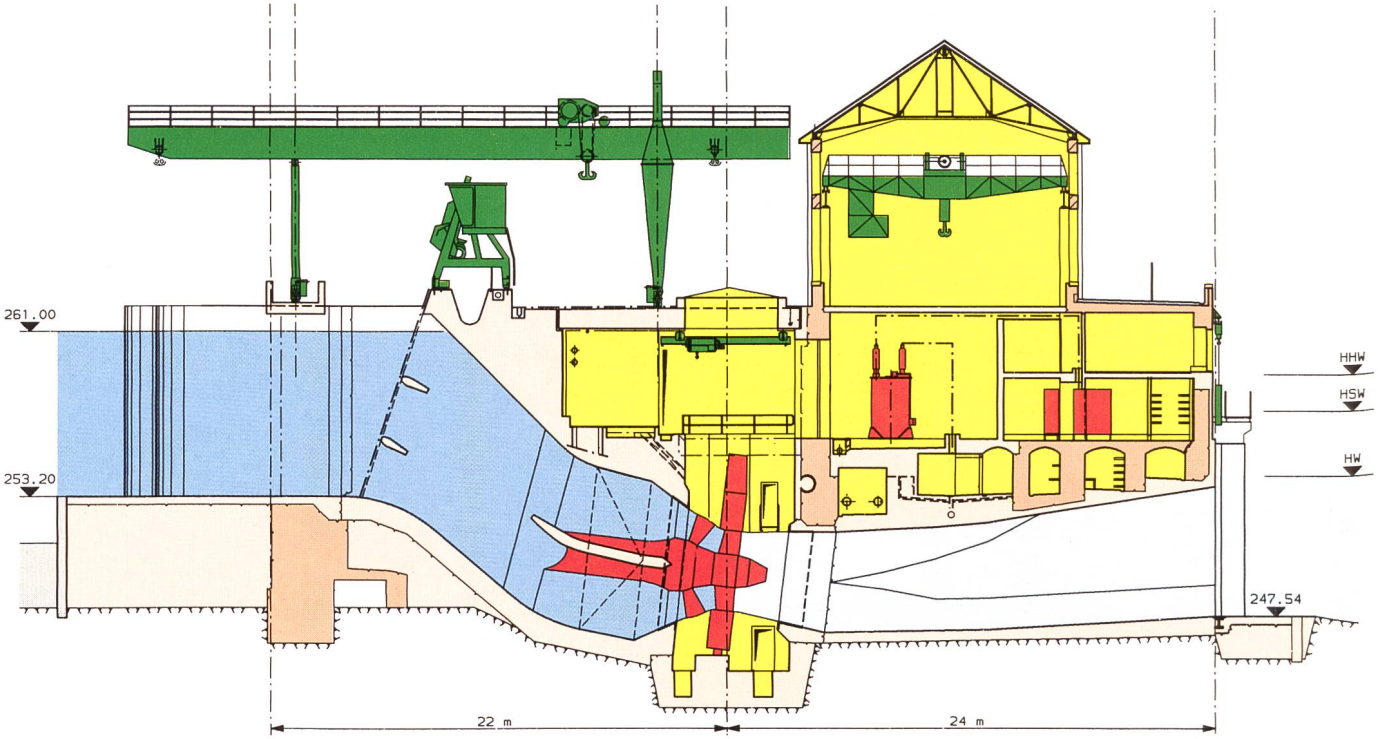


Bild 13. Querschnitt durch das umgebaute Kraftwerk.

6. Bauliche Aspekte

6.1 Geologie und Injektionen

Jean Pierre Gisiger, Hans Lozza

Allgemeine Geologie und Stratigraphie

Das Kraftwerk Augst liegt innerhalb der sogenannten Dinkelbergscholle, am südwestlichen Rand des Schwarzwaldmassives. Diese von einem Sedimentmantel aus der Perm- und Triaszeit bedeckte Scholle ist von zahlreichen subvertikal verlaufenden Klüften und Verwerfungen durchzogen. Im Bereich der Kraftwerksanlage Augst besteht die gesamte Felsunterlage aus Plattenkalk. Dieser gehört dem oberen Muschelkalk an, der den obersten Teil des erwähnten Sedimentmantels bildet. Der über dem Plattenkalk liegende Giebenacher-Oolith sowie der Trigonodusdolomit wurden im Bereiche der Fundation des Umbaus nicht angetroffen (Bild 14).

Die Eigenschaften der Fundation

Plattenkalk

Die ganze Fundation befindet sich im Plattenkalk. Dieser besteht aus 5 bis 30 cm mächtigen Kalkbänken mit dolomitisch-mergeligen Schichtfugen. Die grauen Kalkbänke sind mittel- bis feinkörnig und weisen eine erhebliche Härte auf. Die Lagen dolomitischen Mergels sind gelblichbeige und deutlich weniger hart als die Kalke. Ihre Mächtigkeit bewegt sich zwischen 1 und 10 cm und erreicht ausnahmsweise 20 cm. Zwischen den beiden Gesteinstypen bestehen Übergänge, z. B. leicht dolomitische Kalke.

Fugen

Die sehr deutlich ausgeprägten, subhorizontalen Schichtflächen bilden die Hauptfugen. Daneben treten mindestens zwei steilstehende Kluftsysteme auf.

Schichtflächen

Diese fallen mit 2 bis 9° Richtung SW ein. Die Oberflächen sind rauh, wellig und unregelmässig. Die Schichtfugen sind meist mit Calcit, selten mit sekundärem Ton verfüllt. Die Schichtflächen sind durchgehend verfolgbar.

Kluftsystem I

Es streicht N–S und fällt mit 85 bis 90° Richtung Westen ein. Neben schwach ausgebildeten, nicht durchgehenden Klüften treten im Abstand von 10 bis 15 m durchgehende Klüfte mit Kluftbreccien oder Tonfüllungen auf. Diese weisen Öffnungsweiten von 2 bis 40 cm, in einem Falle sogar von 120 cm auf.

Kluftsystem II

Es streicht W–E und fällt mit 85 bis 90° Richtung Süden ein. Diese Klüfte sind ähnlich ausgebildet wie diejenigen

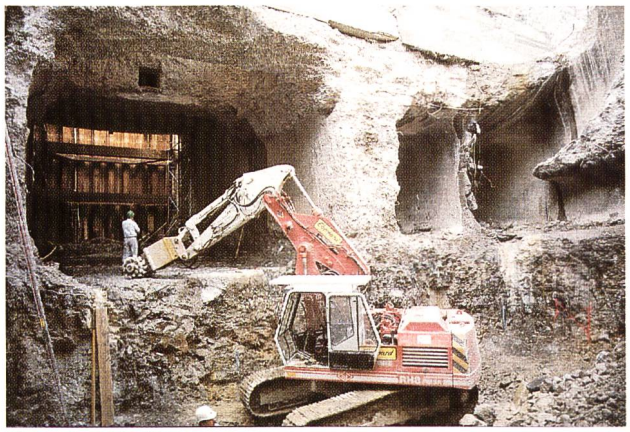


Bild 14. Bei den Abbrucharbeiten unterhalb der Kote der alten Saugrohre konnten weitere geologische Erkenntnisse gewonnen werden.
Links im Bild: Eines der neuen Saugrohre wird ausgeweitet.
Rechts: ein altes, mit Zwischenwand unterteiltes Saugrohr.

Tabelle 2. Druck- und Scherfestigkeit des Untergrundes

Gesteinstyp	Einachsige Druckfestigkeit [MPa]	Scherfestigkeit (φ-Winkel)
Kalk	35 bis 45 (maximal 75)	45 bis 48° (Fels/Fels)
Dolomitische Schichtfugen	–	33 bis 37°
Tonige Schichtfugen	–	20 bis 30°

des Systems I, die Öffnungsweiten betragen jedoch lediglich 20 cm.

Felsmatrix
80 bis 90% der Felsmatrix bestehen aus Kalk. Daneben treten dolomitische und seltene tonige Schichtfugen auf (Tabelle 2).

Lokal sind dolomitische Schichtfugen ausgewaschen und durch sekundäre Tonfüllungen ersetzt.

Verwitterung
Der Plattenkalk ist praktisch unverwittert. Entlang von Schichtfugen und Klüften treten Oxydation und damit verbundene Verfärbungen auf.

Durchlässigkeit
Die Felsmatrix ist praktisch undurchlässig. Hingegen kann Wasser entlang von offenen Schichtfugen und Klüften zirkulieren. Zwischen Felsgrundwasser und Rhein besteht eine direkte hydraulische Verbindung. Die Gebietsdurchlässigkeit erreicht Werte von 10^{-3} bis 10^{-4} m/s. Es war deshalb von allem Anfang an klar, dass diese starke Durchläs-

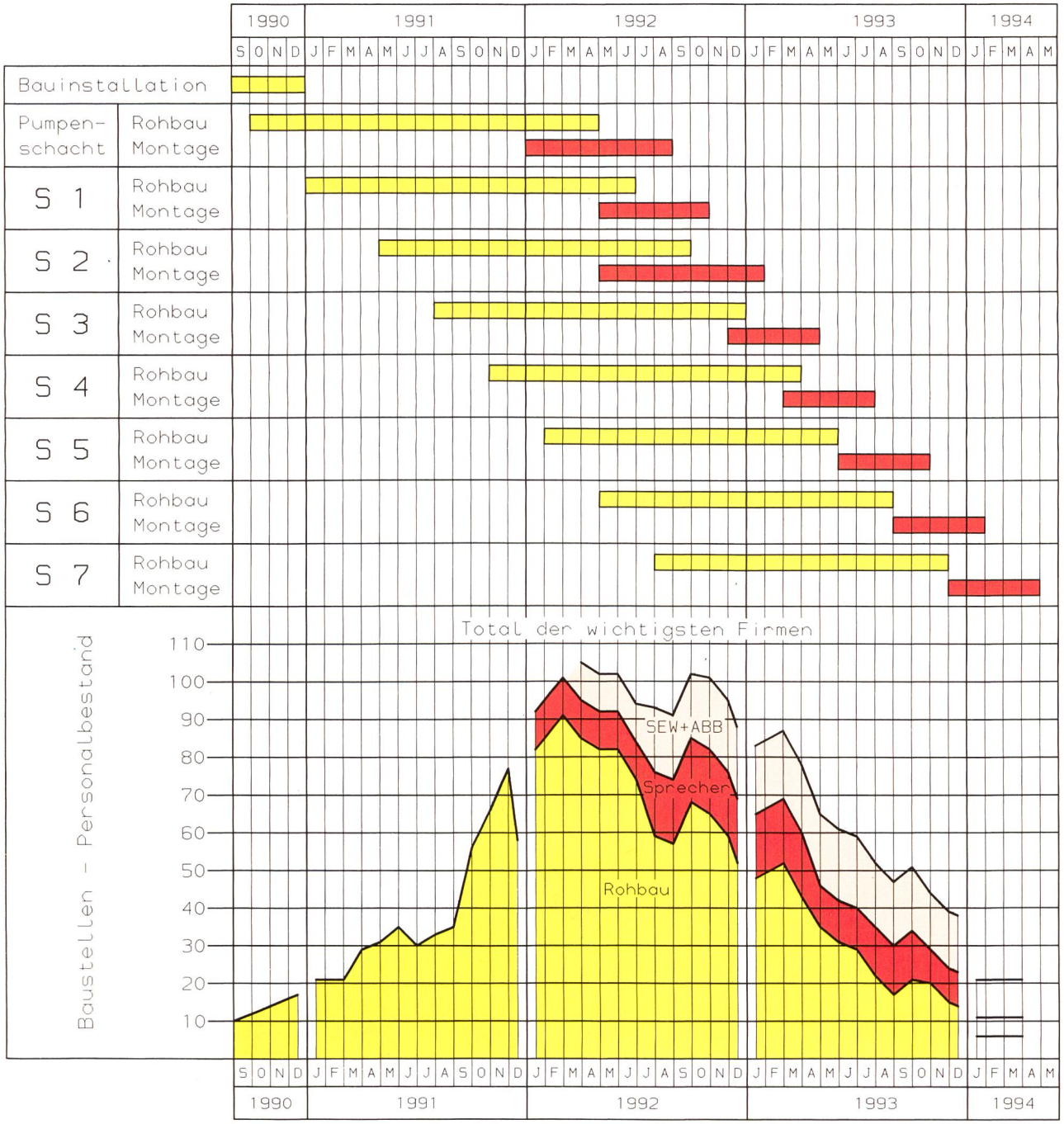


Bild 15. Dank Staffelung im Umbauprogramm konnte der Produktionsausfall minimal gehalten werden. Der Etappierung entsprechend mussten die Unternehmer, speziell die ARGE Rohbau, den Personalbestand der jeweiligen Ausbauphase anpassen.

sigkeit mittels systematischer Injektionen drastisch reduziert werden musste.

Während der Ausführung der Injektionsbohrungen wurden im Saugrohr S1 (Bohransatzpunkte ca. 20 m unter dem Oberwasserspiegel) stark artesische Verhältnisse angetroffen, die das Versiegeln sämtlicher Bohrlochköpfe erforderten.

Injektionskonzept

Um die möglichst vollständige Injektion der neu zu erstellenden Kraftwerksfundation zu erreichen, wurden Schleier- und Sohleninjektionen vorgesehen.

Schleierinjektionen

Der Injektionsschleier erreichte eine Tiefe von 16,5 m im Fels und gelangte in drei Etappen zur Ausführung. Die primären Bohrungen wiesen einen Abstand von 4 m auf. Zwischen zwei primären wurde jeweils eine sekundäre Bohrung abgeteuft und verpresst. Zwischen benachbarten primären und sekundären Bohrungen kam schliesslich eine tertiäre Bohrung zu liegen. Dies ergab einen Bohrlochabstand von 1 m. Der grösste Teil der Bohrungen verlief vertikal.

Sohleninjektionen

Ziel der Sohleninjektionen war die Konsolidation des Baugrundes und die Abdichtung der Baugruben bzw. der Kraftwerksanlage gegen Wassereintritt von unten. Die Sohleninjektionen wurden in einem schachbrettartigen Raster angelegt. Der Abstand von Bohrung zu Bohrung betrug etwa 1,5 m. Auf die Ausführung von sekundären Bohrungen konnte verzichtet werden. Die Bohrtiefe im Fels betrug wie bei den Bohrungen des Injektionsschleiers 16,5 m.

Injektionsmischungen

Als Standardmischung war folgende Zusammensetzung vorgesehen:

Wasser/Zement-Faktor	0,4
Intraplast L30	1 %
Schnellbinder (Sigunit)	0 bis 1,5 %
UCS	0,1 %
Injektionsdrücke	
Tiefe unterhalb Betonfundation	Injektionsdruck
0 bis 5 m	3 bis 5 bar
5 bis 10 m	10 bis 15 bar
>10 m	20 bar

Injektionsarbeiten

Bei der Ausführung zeigte sich, dass viele Bohrlöcher nicht standfest waren, was ein Nachbohren vor Injektionsbeginn erforderte oder gar beim Injizieren zum Verklemmen des Packers (Bohrlochabdichtung) führte. Durch die generelle Verwendung von Manschettenrohren konnten diese Probleme vermieden und das anfangs gefährdete Programm eingehalten werden. Die Wirkung der Injektionen war generell gut. Während des Aushubes waren mit Ausnahme des Pumpenschachtes sämtliche Baugruben nahezu vollkommen dicht. Injektionsgut konnte in praktisch sämtlichen offenen Klüften nachgewiesen werden. In den verlehmten Klüften wurde die Tonfüllung nur teilweise durch Injektionsgut verdrängt, jedoch stets in genügendem Mass, um Wasserandrang und Erosion zu verhindern.

Tabelle 3. Injizierte Mengen

Einheit	Bohrungen (Anzahl)	Beton-strecke (m)	Fels-strecke (m)	Total Zement (Tonnen)	Zement/m (kg/m)
Pumpenschacht	106	0	1672	437	261
S1	125	522	1933	693	359
S2	105	434	1650	326	198
S3	100	392	1573	353	224
S4	92	351	1489	299	201
S5	89	354	1472	317	215
S6	91	361	1533	354	231
S7	122	464	1824	325	178
M8	13	42	242	31	128
Total	843	2920	13388	3135	233

6.2 Einflüsse des Straflo-Konzeptes auf den Bau

Marco Peter

Basierend auf den bekannten Randbedingungen galt es, die Einflüsse des Straflo-Konzeptes auf den Rohbau und den Bauablauf genau zu analysieren und bei allen wesentlichen Einflussgrössen das bestmögliche Kosten/Nutzen-Verhältnis zu erzielen. Als entscheidende Faktoren der gewählten Variante und deren Ausführung erwiesen sich einerseits die Möglichkeit, die Energieausfälle während des Umbaus durch geeignete Massnahmen zu minimieren, und andererseits Einsparungen am Rohbau selbst.

Minimierung der Energieausfälle

Durch den Einbau der Maschineneinheiten in den vorgegebenen Raster der alten Maschinengruppen von 10 m und den Verzicht, alle alten Maschinengruppen umzubauen, konnten 3 der 10 alten Maschinen ohne Beeinträchtigung über die ganze Bauzeit betrieben werden. Mit dem Abschalten der viertletzten Francis-Gruppe M8, die aus sicherheitstechnischen Gründen während der Hauptarbeiten an der neuen Maschine S7 stillgelegt werden musste, konnte bereits die erste Straflo-Einheit S1 in Betrieb genommen werden. Es standen somit immer mindestens 4 Maschinengruppen im produktiven Einsatz (Bild 15).

Die 7 neuen Maschinen wurden gestaffelt eingebaut. Ab Januar 1991 wurde alle 3 Monate eine neue Teilbaustelle für 21 Monate eröffnet. Durch dieses Taktverfahren konnte der Energieausfall auf ein Minimum beschränkt werden. Generell wurden kurze Bauzeiten vorgegeben. Die letzten Maschineneinheiten konnten so im April 1994 in Betrieb genommen werden.

Die Energieproduktion änderte sich gegenüber der mittleren Jahresproduktion des alten Kraftwerkes während der Bauzeit wie folgt:

	erwartete Änderung	effektive Änderung
1991	– 24 %	– 10 %
1992	– 49 %	– 41 %
1993	+ 16 %	+ 25 %

Der geringere Energieausfall als erwartet in den Jahren 1991 und 1992 ist vorwiegend auf die für Augst-Wyhlen vorteilhaften hydrologischen Verhältnisse und 1993 auf die gegenüber dem Terminplan vorgezogenen Inbetriebnahmen zurückzuführen.

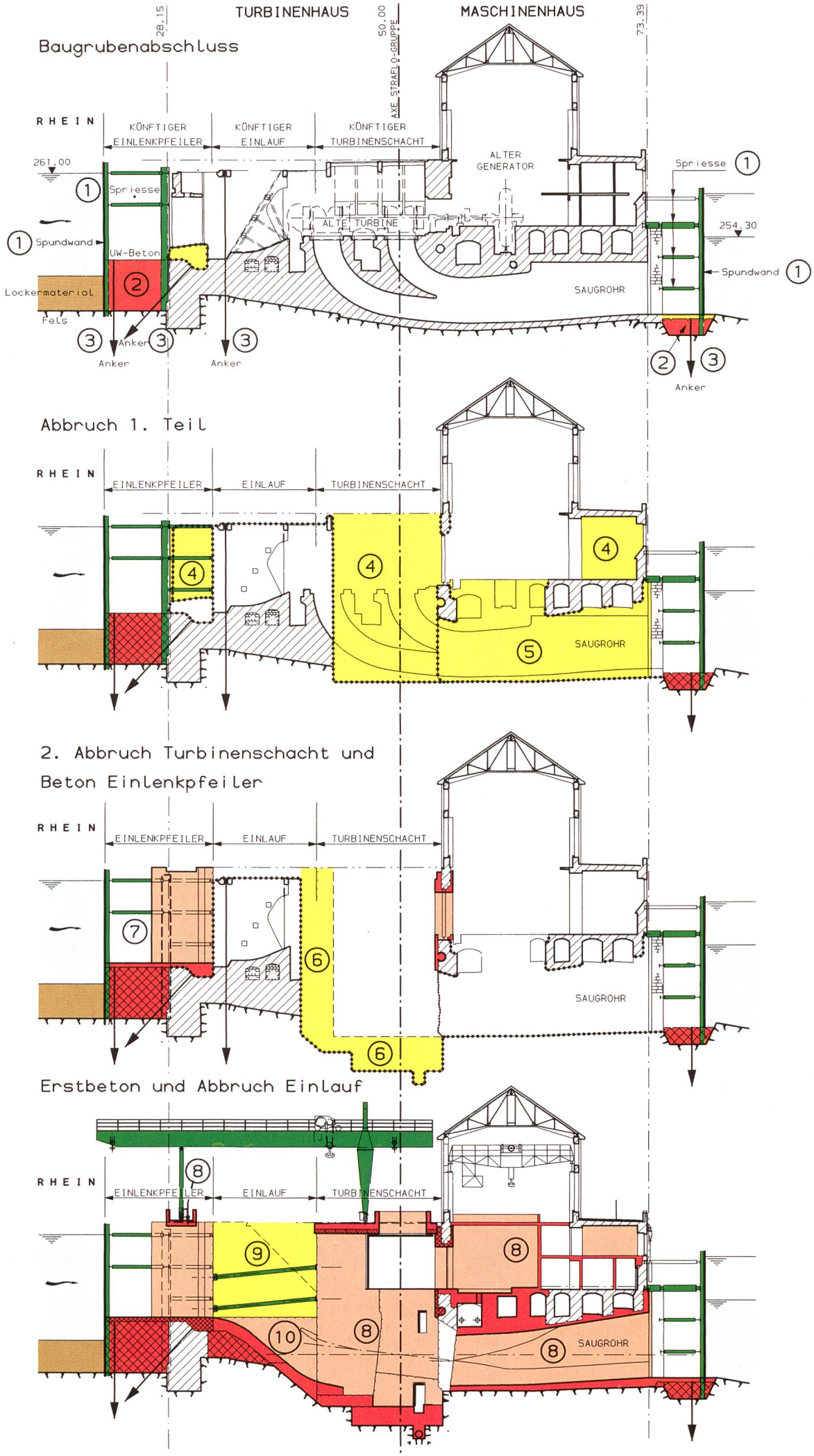
Einsparungen von Rohbaukosten

Durch das Wegfallen des voluminösen Bulb (Torpedo), wie er bei der klassischen Rohrturbine unumgänglich ist, konnte im Einlauf wesentlich an Baulänge eingespart werden. Noch entscheidender als das eingesparte Bauvolumen erwies sich jedoch die Möglichkeit, den Baugrubenabschluss unter Zuhilfenahme bestehender Strukturen auszuführen.

Probleme und Risiken des gewählten Konzeptes

Der Umbau und Einbezug der vorhandenen baulichen Strukturen birgt immer gewisse Risiken. Beim Vergleich der

Bild 16. Im Bereich der Turbinenschächte wurden die alten Baustrukturen vollständig ersetzt.



Bauetappen

Ein grosser Teil der Bauetappen steht in einem engen Verhältnis zueinander. Der auf dieser Seite dargestellte Arbeitsablauf der wesentlichen Arbeiten des *kritischen* Weges ergibt sich aus folgenden Randbedingungen:

- maximale Energieproduktion der alten Maschinen.
- Abstützung der Spriesskräfte der OW-Spundwand auf alte oder neue Bauteile.
- Zugänglichkeit.
- Baukran auf dem alten Einlauf.
- 85 t Portalkran betriebsbereit für Mauerringmontage nach Betonieren der Einlaufsohle Phase ⑩

Abbruchphase
Stahl
Neuer Beton, Schnitt
Neuer Beton, Ansicht

Bild 17. Schnitte 1:500. Die Bauetappen 1 bis 10 im Bereich Einlauf, Turbinenschacht und Saugrohr im zeitlichen Ablauf.

entsprechenden Querschnitte alt/neu wird jedoch rasch ersichtlich, dass der Umbau sehr radikal ausfiel und die alte Baustruktur in ihrer Substanz im Bereich der Turbinenschächte vollständig ersetzt wurde. Auf das optische Erscheinungsbild der Kraftwerksanlage wurde jedoch grösstmögliche Rücksicht genommen (Bild 16).

Der Beton des alten Bauwerkes, erstellt in den Jahren 1908 bis 1912, war gekennzeichnet durch eine sehr grosse Streuung im Gefüge. Die Qualität dieses alten, unvibrierten Stampfbetons liegt etwa zwischen der eines heutigen Normalbetons und eines Sickerbetons. Die Wasserzirkulation innerhalb des alten Betons führte zu Problemen, die Abhilfemassnahmen erforderten. Die Druckspannungen waren jedoch sehr tief und für diese Art von Beton angemessen. Die Erfahrung beim Abbruch zeigte, dass bei einer minimalen Abmessung von etwa einem Meter mit praktisch homogenem Material gerechnet werden konnte, da die damalige aufwendige Handverarbeitung des Betons die Inhomogenitäten (Kiesnester) auf einen Bereich von Dezimetern beschränkte.

Der Bauablauf stellte aber auch folgende grundsätzliche organisatorische und technische Probleme:

- für Planung und Vorbereitung sowie für Koordination zwischen Ingenieur und Bauunternehmungen war ein erhöhter Aufwand zu leisten
- gegen einen möglichen Wassereinbruch waren im Vergleich zu einem Neubau wesentlich weitergehende Sicherheitsvorkehren zu treffen, da in den meisten Fällen die Flutung einer Baugrube auch den laufenden Betrieb in Mitleidenschaft gezogen hätte.

Baugrubensicherung und Bauablauf

Die einzelnen Phasen des Bauablaufes sind in Bild 17 und Bild 18 dargestellt.

Phasen 1 bis 3 im Oberwasser

Der Baugrubenabschluss erfolgte mittels Spundwänden (Larssen 24, St Sp S, Doppelprofil) und einer Stahlaussteifung, die sich auf das bestehende Bauwerk abstützte. Die Aussteifung war so konzipiert, dass sie durch teilweise Absenkungen des Wasserspiegels in der Baugrube jeweils unmittelbar über dem Wasserspiegel eingebracht werden konnte. Anschliessend wurde die 2 bis 3 m mächtige Kiesschicht der Baugrubensohle ausgeräumt und durch Unterwasserbeton ersetzt, der mit Mikro-Pfählen (Gewi, Durchmesser 50 mm) gegen Auftrieb gesichert wurde. Anschliessend konnte die Baugrube trockengelegt werden. In der Verlängerung der Spundwände wurden Schleierinjektionen und über dem ganzen Fundamentbereich Sohleninjektionen ausgeführt.

Im Hinblick auf die folgenden Abbrucharbeiten im Turbinenschacht (Phasen 4 und 6) mussten die Baugrubensohle und die Kammertrennwand durch Vorspannanker gesichert werden. Als kritischer Fall musste das Gleiten in den obersten Schichtfugen des Plattenkalkes in Betracht gezogen werden.

Phasen 4 bis 7

Beim Abbruch Phase 4 galt es, so schnell als möglich die Saugrohrbaustelle zu erreichen, ohne den 500-mt-Baukran, dessen minimale Schienenlänge jeweils zwei Einläufe (20 m) beanspruchte, auf dem Einlauf zu weit vorzuschieben.

Beim Saugrohr wurde zuerst die alte Mittelwand vollständig ausgebrochen und die Bereiche der Sohle, Decke und der Seitenwände aufgeweitet. Vier Wände der darüberliegenden alten Kabelgalerien mit allen Steuer- und Energiekabeln der noch in Betrieb stehenden alten Maschinen konnten nicht abgebrochen werden. Drei von diesen vier unarmierten Wänden mussten mit Trägerhöhen zwischen 2 und 3 m auf einer Länge von 8,5 m über dem ausgebrochenen Saugrohr ohne Biegezugarmierung stehengelassen werden. Die Sicherung erfolgte vor Abbruch durch Ausbetonieren aller Öffnungen und Durchgänge, so dass sich ein zuverlässiges Druckgewölbe einstellen konnte. Das Ausbrechen grösserer Partien wurde durch vertikale Anker verhindert.

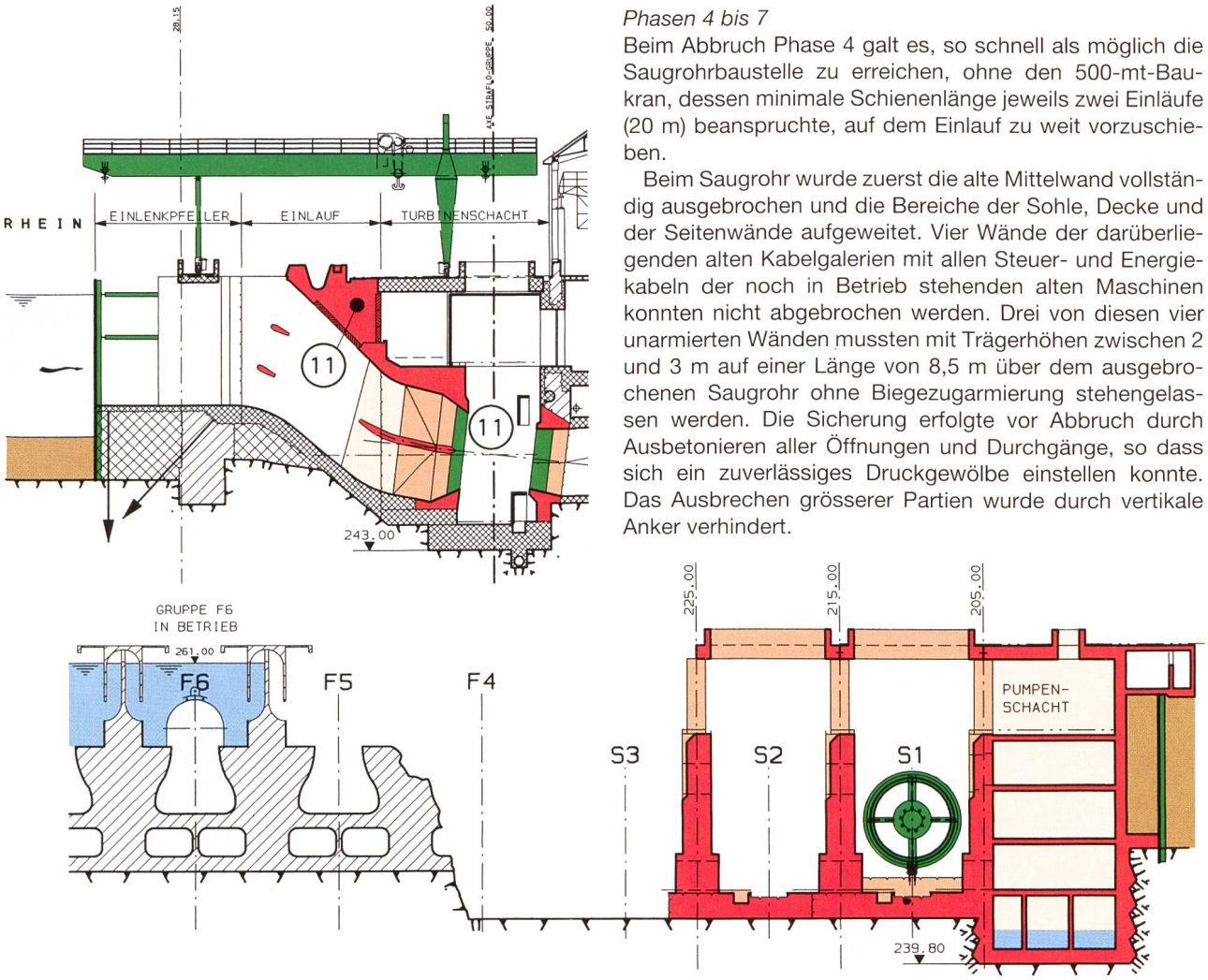


Bild 18. Die Zweitbeton-Etappe (11), darunter ein Längsschnitt durch die Turbinenbaustelle (Bauzustand März 1992).

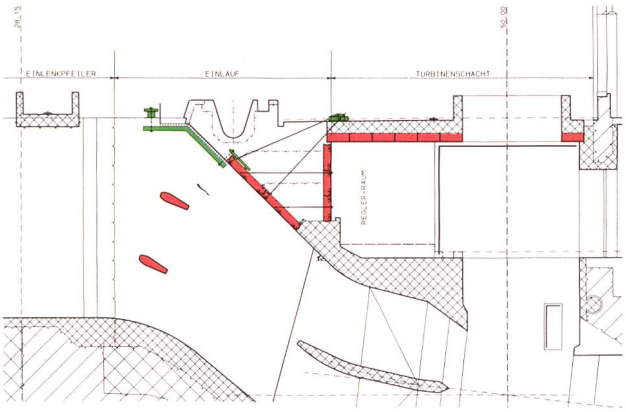


Bild 19. Der Einsatz vorfabrizierter Elemente war Voraussetzung fur die Einhaltung der knapp bemessenen Termine.

Nach dem Abschalten der jeweils übernächsten Einheit konnte der Baukran verschoben und der Abbruch Phase 6 in Richtung Oberwasser, seitlich und in die Tiefe ergänzt werden.

Parallel zu diesen Arbeiten wurde der Einlenkpfeiler abgebrochen und neu aufgebaut (Phase 7). Da sich die Baugrubenabspriessung auf diese alten Pfeiler abstützte, wurde vorgängig ein kräftiger Vertikalträger eingebaut, der beim Abbruch die Spriesskräfte aufnehmen konnte, so dass keine Umspriessung notwendig wurde. Die Spriessung wurde dann in den abgebrochenen Teilen unverzüglich ergänzt und später einbetoniert.

Phasen 8, 9 und 10

Unmittelbar nach Abbruch des Turbinenschachtbereiches wurde die rund 17 m hohe Seitenwand hochgezogen und die entsprechende Decke eingebaut (Phase 8). Die Seitenwand wurde mit kurzen Spriessen zur alten Einlaufwand verkeilt, die vertikalen Vorspannanker in der Einlaufwand gelöst und diese Wand unter Einbau von vorgespannten Spriessen abgebrochen, so dass der neue Einlenkpfeiler kontinuierlich gestützt war (Bild 20).

Parallel dazu wurde die Dienstbrücke gebaut und die Kranschienen des 85-t-Portalkranes auf der Turbinenschachtdecke und auf der Dienstbrücke montiert. Der 85-t-Kran war zu dieser Zeit erforderlich, um den fast 30 t schweren Verband der Mauerringe in die Turbinenschachtgrube abzusenken. Bevor der Zweitbeton eingebracht werden konnte, musste der Turbinenlieferant die entsprechenden Mauerringe am Ende des Einlaufes und am Beginn des Saugrohres plazieren (Bild 21).

Phase 11

Die hydraulische Gestaltung erforderte doppelt gekrümmte Schalungen. Als letzte Phase wurde diese Struktur zwischen den beiden senkrechten Vertikalwänden als Zweitbeton eingebracht. Die komplizierten Strukturen erforderten anfänglich einen beträchtlichen Zeitaufwand. Bei der ersten Einheit konnte das Programm trotz Einschaltung von Nachtschichten nur dadurch eingehalten werden, dass die Einbringung des Zweitbetons im Einlauf kurzfristig umprojektiert wurde. Durch Einsatz vorfabrizierter Elemente war es möglich, dass der Bauunternehmer im Einlauf Betonarbeiten ausführte, während gleichzeitig der Turbinenlieferant die Turbine und den Regler montierte (Bild 19).

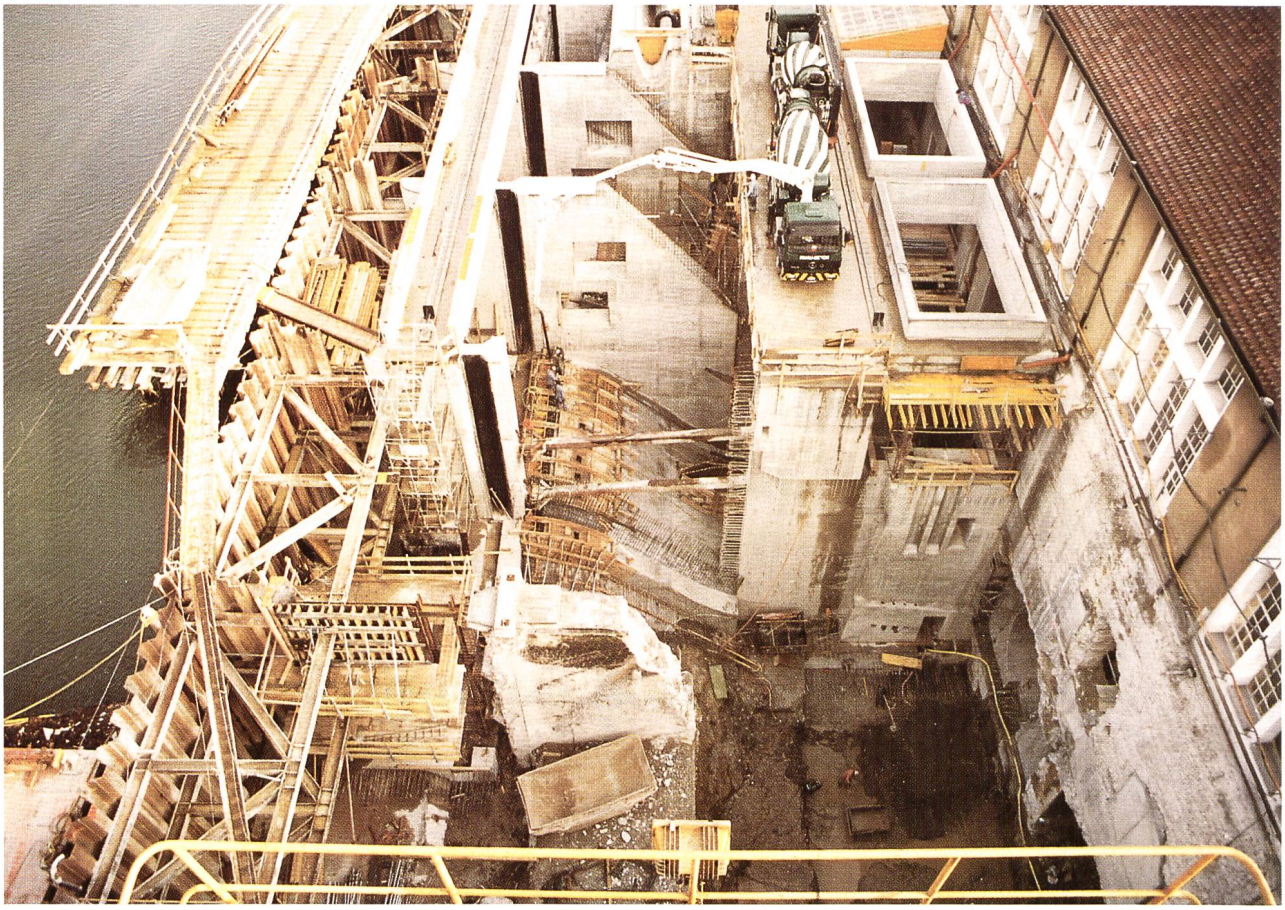


Bild 20. Turbinenbaustelle in den verschiedenen Bauphasen. Die Stabilität der oberwasserseitigen Spundwand musste durch kontinuierliche Abspriessungen gewährleistet werden.

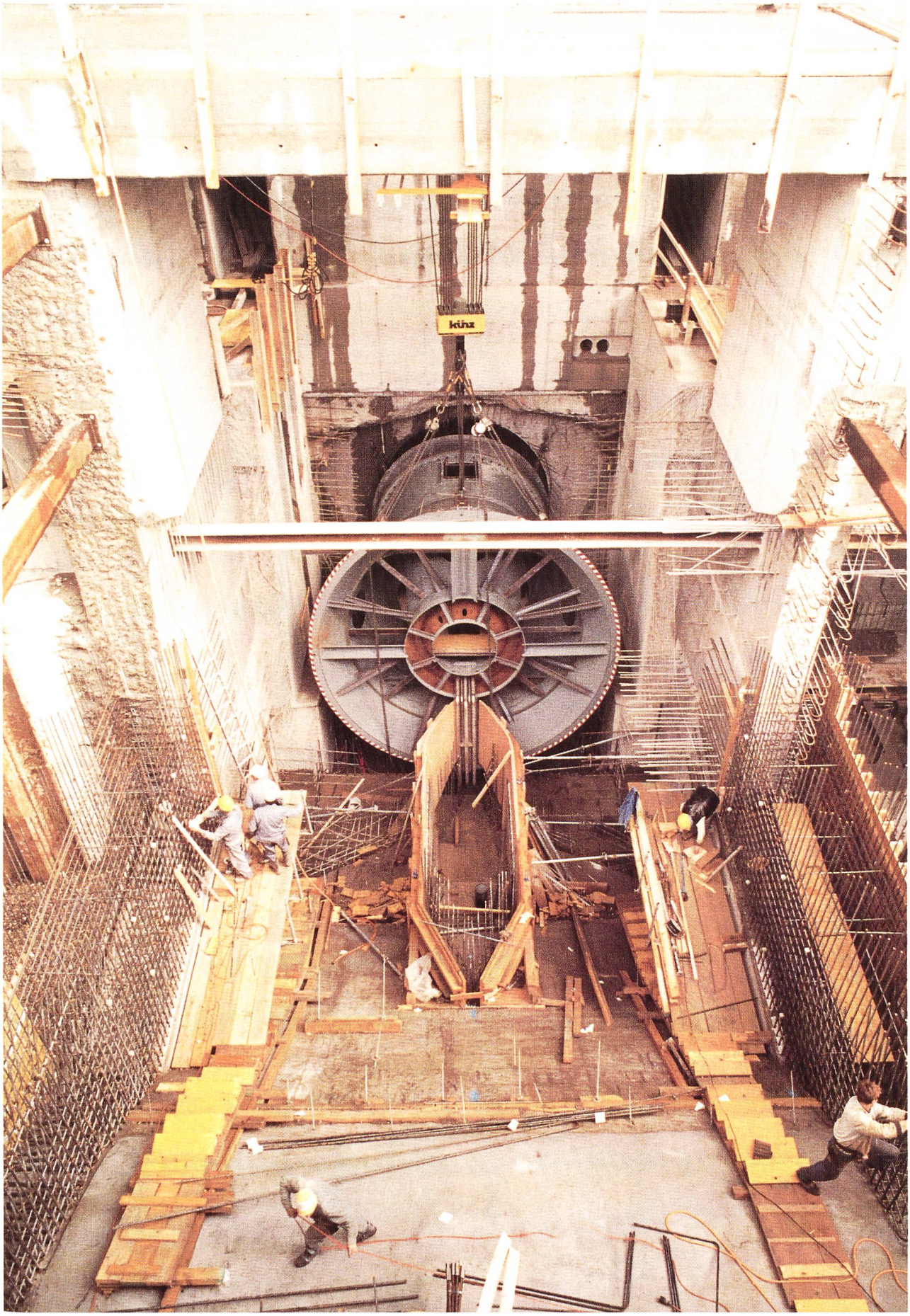


Bild 21. Blick in den Turbinenschacht. Im Hintergrund werden die Mauerringe für das Einbetonieren positioniert. Im Vordergrund sind die Schalungsarbeiten für den Einlauf und den Mittelpfeiler im Gang.

Bild 22. Grosse Baukrane prägten lange Zeit das Bild der Baustelle.

6.3 Bauausführung

Hans Oehninger

Randbedingungen

Die folgenden Randbedingungen beeinflussten den Bauablauf stark:

- stark eingeschränkte Platzverhältnisse
- Zugang zur Baustelle nur von der Ostseite her möglich
- Bauvorgang von Ost nach West (über die neuen Einheiten)
- kurze Bauzeit, d.h. grosse Leistungen
- Die bestehenden Maschinengruppen wurden im 3-Monate-Takt abgeschaltet und demontiert, die verbleibenden Gruppen blieben in Betrieb. Die neuen Maschinengruppen wurden ebenfalls im 3-Monate-Takt in Betrieb genommen. Damit befand sich die Baustelle jeweils zwischen in Betrieb stehenden neuen und alten Gruppen.

Allgemeine Installationen und Hebegeräte

Unter Berücksichtigung obiger Randbedingungen wurden die Baustelleneinrichtungen konzipiert.

Tabelle 4. Wichtige Ausmasse

Spundwände Bohlenlänge 10 bis 18 m	4570 m²
Stahlkonstruktionen für Spriessungen	440 t
Beton- und Felsabbruch, Aushub	26 500 m³
Stahlbeton	23 000 m³
davon Unterwasserbeton	2 350 m³
Schalung (ohne Spezialschalungen)	25 800 m²
Armierung	1530 t
Vorspannanker	166 Stück

Allgemeine Installationen

Nur die unbedingt notwendigen Einrichtungen, wie Bauführer- und Polierbüro sowie die Magazine, wurden in unmittelbarer Nähe der Baustelle auf der Insel stationiert.

Die Umkleidecontainer für 80 Mann sowie die Lagerplätze befanden sich ausserhalb der Insel am linken Rheinufer. Als Zufahrt zur Oberwasser-Baustelle und für den An- und Abtransport von Geräten und Material wurde ausserhalb der Einlenkpfeiler eine provisorische Dienstbrücke aus Stahlträgern und Holzbohlen erstellt (Bild 22).

Hebegeräte

Damit die grossen erforderlichen Leistungen erreicht werden konnten, war es notwendig, stets genügend Hebegeräte einzusetzen. Dies waren:

1 Kran 150 mt, 40 m Ausladung, stationär am Ostflügel für Pumpenschacht, Containerraum und Bedienung des Lagerplatzes.
1 Kran 500 mt, fahrbar, 50 m Ausladung im Oberwasser für das Umsetzen der schweren Abbruchgeräte (25 t) und das Heben der Absetzmulden für das Ausbruchmaterial
1 Kran 150 mt, fahrbar, 50 m Ausladung, für Baugrubenabschlüsse im Unterwasser, Betonarbeiten im OW und UW
1 Pneukran auf einer Schwimmbatterie für Baugrubenabschlüsse im OW (Rammarbeiten, Spriessungen, Unterwasser-Aushub)
1 Hallenkran 20 t im Maschinenhaus für den Transport der Abbruchgeräte und für Betonarbeiten

Injektionen

Leistungsvorgaben:

Bohrungen	60 m pro Arbeitstag
Injektionen	12 t pro Arbeitstag

Installationen:
2 Bohrwagen und
1 Bohrgerät für geringe lichte Höhe (Bohrungen in den alten Saugrohren)
1 komplette Injektionszentrale

Beim Abteufen des Pumpenschachtes, der aus baulichen Gegebenheiten nur schlecht durch Injektionen verpresst werden konnte, wurde auf Kote –19 m eine aus Lehm und Gesteinsbruchstücken bestehende Kluftfüllung von ca. 1,2 m Stärke durch den Wasserdruck herausgepresst. Es erfolgte ein Wassereinbruch von ca. 100 bis 200 l/s. Nur unter grossen Schwierigkeiten und dank Anwendung von Spezialinjektionen wie Polyurethan-Schaum konnte der Wasserandrang reduziert und schliesslich unter Kontrolle gebracht werden. Der durch diesen Zwischenfall entstandene Zeitverlust wurde durch Nachtarbeit wieder aufgeholt.

Baugrubensicherungen

Für sämtliche Baugrubenabschlüsse kamen Spundwände, Profil-Larssen 24, zur Anwendung.

Geräte:
Vibrationsramme, Druckluftramm- und -ziehhämmer.

Baugruben:
- Pumpenschacht: Dimension: 10×10 m, 20 m tief.
  Im Bereich Lockermaterial erfolgte der Baugrubenabschluss mit einer rückverankerten Spundwand. Im Felsbereich wurden die Aussenwände des Schachtes etappenweise von oben nach unten betoniert und mit Stahlträgern abgespriesst (Bild 24).
- Oberwasserbaugrube (S1–S7):
  Eine einfache Spundwand wurde in die 3 bis 5 m starke Kiesüberlagerung der Rheinsohle bis auf den Fels gerammt. Der Kies wurde dann unter Wasser ausgehoben und durch Unterwasserbeton ersetzt. Zur Auftriebssicherung musste diese Bodenplatte mit Vorspannankern in den Felsuntergrund verankert werden. Die Spundwand wurde anschliessend gegen die bestehende Einlaufkonstruktion mit Stahlträgern abgespriesst und nach Fertigstellung des Erstbetons des Turbinenschachtes mit vorgespannten Kastenträgern auf diesen umgespriesst (Bild 25).
- Unterwasserbaugrube (S1 - S7):
  Da im Unterwasser eine Kiesüberlagerung fehlte, wurde die Spundwand in einen vorgängig ausgebrochenen Schlitz direkt auf den Fels gestellt. Nach der Felsreinigung durch den Taucher wurde analog zum Oberwasser die Bodenplatte erstellt und nach unten verankert. Die Stahlspriessung stützte sich auf die bestehenden Dammbalkennuten und musste später für die Erstellung der neuen Nuten auf senkrechte Träger umgespriesst werden.

Abbruch und Aushub

Leistungsvorgaben: 60 m³ Abbruch pro Arbeitstag

Geräte:
1 Hydraulikbagger, Einsatzgewicht 25 t

Ausrüstungen:	Tieflöffel mit verkürztem Oberteil (Spezialanfertigung)	
	Abbauhämmer	2700 kg / 1900 kg
	Betonzange	2100 kg
	Fräskopf (Profilierung)	1500 kg

1 Hydraulikbagger, Einsatzgewicht 16 t
Ausrüstungen: Tieflöffel mit verkürztem Oberteil

Bild 23. Ein Bohrgerät im Einsatz.

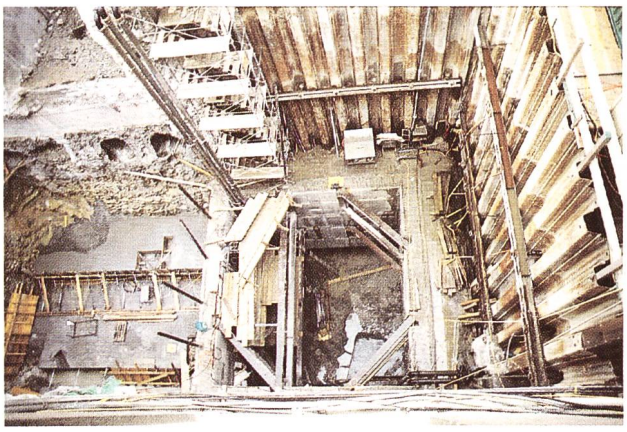


Bild 24. Die Pumpenschacht-Baustelle kurz vor dem Wassereinbruch.

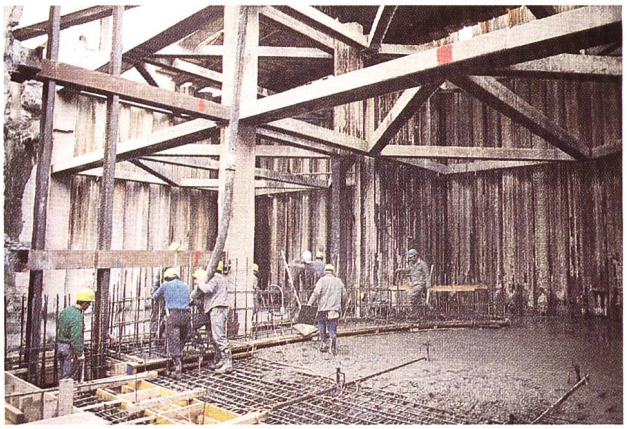


Bild 25. Die massiv abgespriesste Larssen-Spundwand auf der Oberwasserseite.

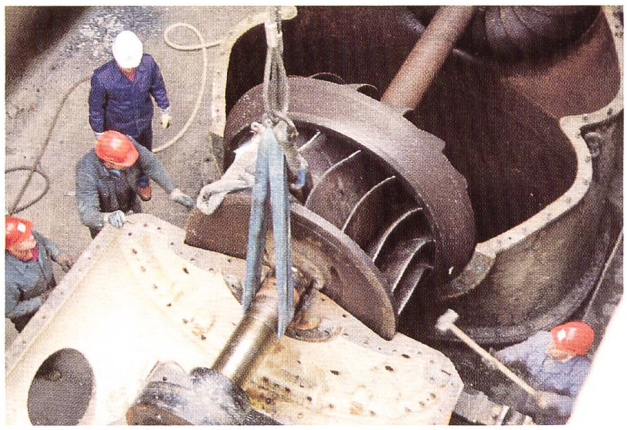


Bild 26. Vorgängig der Abbrucharbeiten mussten die alten Turbinen demontiert und der Verschrottung zugeführt werden.

Abbauhämmer	1300 kg / 600 kg
Betonzange	1500 kg
Fräskopf (Profilierung)	1500 kg

Dieser vielseitige kleine Bagger kam für Abbrucharbeiten im Saugrohr und im Maschinenhaus zum Einsatz.

Mit diesen Geräten wurden die Leistungsvorgaben erreicht.

Um Unfälle zu verhüten (Steinschlag), mussten riskante Arbeiten ausserhalb der normalen Arbeitszeit ausgeführt werden.

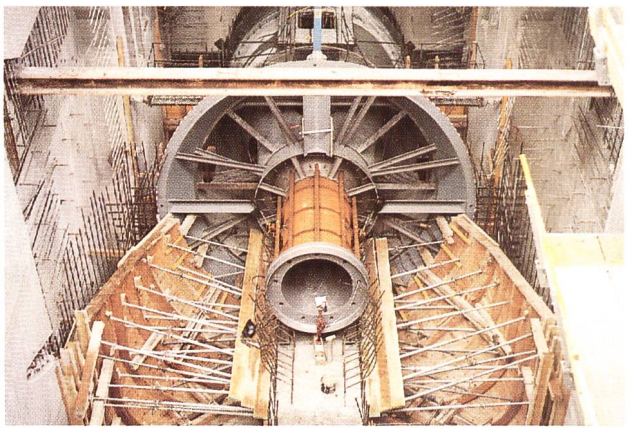


Bild 27. Vorbereitung der Betonarbeiten im Einlaufbereich. Im Vordergrund die komplizierte doppelt gekrümmte Einlaufschalung. Im Hintergrund werden die Mauerringe mittels Einbaulehre positioniert.

Beton und Schalung

Beton

Der grösste Teil der Betonkubaturen wurde aus Termingründen (Kranbenützung!) mit mobilen Betonpumpen eingebracht. Sämtlicher Beton wurde als Fertigbeton aus einem nahegelegenen Betonwerk geliefert.

Schalungen

Um Systemschalungen vernünftig anzuwenden, wurden Etappenhöhen von 3 m festgelegt. Die Spezialschalungen für den Zweitbeton im Turbinenschacht und im Saugrohr wurden als massive Holzkonstruktionen, die 7mal verwendet werden konnten, durch eine Spezialfirma hergestellt (Bild 27).

Unterwasserarbeiten

Um allen Eventualitäten jederzeit gewachsen zu sein, wurde während der gesamten Bauzeit ein vollständig ausgerüsteter Taucher auf der Baustelle stationiert.

Die wichtigsten Tauchereinsätze waren:
Felsreinigung für Unterwasserbeton, Vorspannen von Ankern, Anschlüsse der Baugrubenabschlüsse an die bestehenden Betonkonstruktionen, Abbrennen von Spundwänden unter Wasser, Abdichtungs- und Kontrollarbeiten.

Die vollständige Taucherausrüstung bestand aus:
- Froschmannanzug
- Tauchkompressor
- Tauchkontrollgerät für Luftversorgung und Telefon
- Unterwasser-Schweisseinrichtung
- Hydraulischem Unterwasser-Bohrhammer, -Kettensäge, -Trennschleifer
- Fotoausrüstung
- Unterwasser-Scheinwerfer

Wasserhaltung

Für die Wasserhaltung wurde im Pumpenschacht eine permanente Pumpstation mit 4 Einheiten (total 80 kW) eingerichtet. Zusätzlich waren mobile Pumpen, im Maximum 15 Einheiten (total 86 kW), im Einsatz. Als sofort greifbare Reserve standen 16 weitere Einheiten zur Verfügung.

Die Baustromversorgung wurde so ausgelegt, dass für den Pumpbetrieb eine rasche Umschaltung auf verschiedene Netze möglich gewesen wäre. Auch der Anschluss an eine AEW-eigene mobile Notstromgruppe war vorbereitet.

7. Maschinengruppen

7.1 Die Straflo-Turbine

Jürg Emler, Erwin Ganz

STRAFLO® ist der registrierte Markenname einer Axialturbine, die direkt mit dem Aussenkranzgenerator gekoppelt ist (Bild 29).

Obwohl das hydraulische Profil und folglich die hydraulische Leistung der Straflo-Turbine wie eine Hochleistungs-Rohrturbine ausgelegt werden und somit kein zusätzlicher Energiegewinn resultiert, besitzt dieses Konzept, verglichen mit anderen Axialturbinen, folgende Vorteile:

- grosse Kompaktheit der Einheit mit nur einem Vertikalschacht zum Einbau von Turbine und Generator,
- keine Baubeschränkungen beim Generator,
- hohes Rotorträgheitsmoment, ohne die Effizienz des Generatorkühlsystems zu beeinträchtigen,
- geeignet zur Modernisierung bzw. Leistungssteigerung auch älterer und kleinerer Kraftwerke.

Der Turbinengrösse und der maximalen Fallhöhe werden jedoch durch die Art des Kraftflusses Grenzen gesetzt, wobei das mit Leistung und Dimension wachsende Eigengewicht des Aussenkranzgenerators zum begrenzenden Faktor wird.

Um diese Schwierigkeiten bewältigen zu können, wurden in der Vergangenheit verschiedenartige Lagerungskonzepte entwickelt, die – zusammen mit dem Dichtungskonzept – die Hauptcharakteristiken der Straflo-Idee darstellen.

Weit über hundert von Sulzer-Escher Wyss gelieferte Straflo-Turbinen, davon über 20 mit dem neuen Design, stehen weltweit erfolgreich im Einsatz. Das neue Design wird bei Straflo-Turbinen mit einem Laufraddurchmesser von mehr als 3,50 m und in einem Fallhöhenbereich von 2 bis 20 m angewendet. Die ersten 10 Einheiten dieser Art wurden im Kraftwerk Laufenburg installiert, 13 weitere folgten in den Kraftwerken Augst-Wyhlen, wobei 7 Turbinen in Augst und deren 6 in Wyhlen zum Einbau gelangten.

Das neue Konzept für Augst

Die Straflo-Maschine erlaubt die Ausführung des «Bulb» im Innern des Betonmittelpfeilers mit minimalsten Abmessungen. Er dient als Zugang zum Turbinenlager. Ebenso wird die Querrippe (der seitlichen Abstützung dienend) in die Betonkonstruktion miteinbezogen. Daraus resultiert ein homogenes Bauwerk, da das Krafthaus praktisch einen Monoblock bildet. Zur Kontrolle der inneren Leitschaufellager, des Axial- und des oberwasserseitigen Radiallagers ist der Zugang durch den vertikalen Pfeiler gewährleistet (Bild 30).

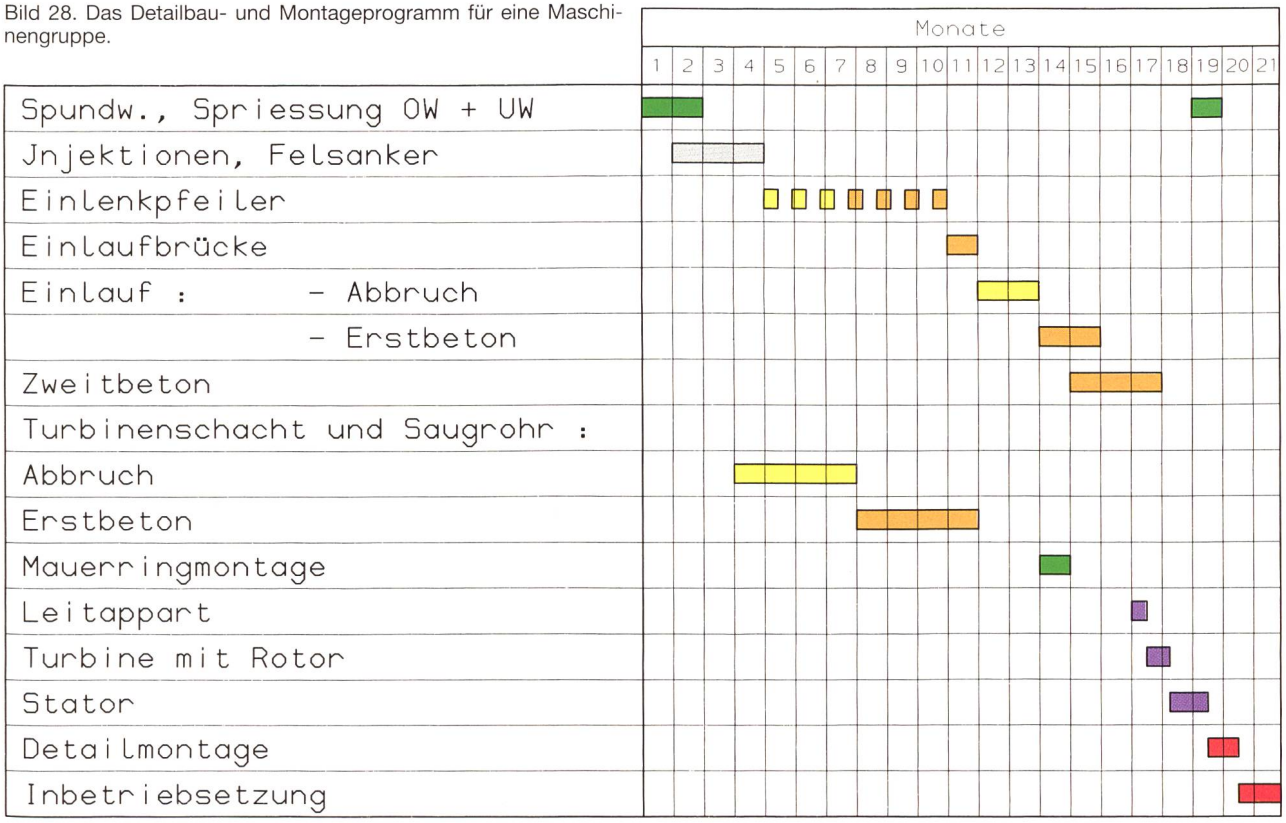
Rotor

Das Laufrad, bestehend aus den Einzelteilen Nabe, Laufradschaufeln und Laufradkranz, ist als Schweisskonstruktion zu einer Einheit verbunden. Zur Aufnahme der Rotorpole dient der Aussenkranz, der auf das vorbearbeitete Laufrad aufgeschrumpft wird. Anschliessend folgt die Fertigbearbeitung des Laufrades mit dem Aussenkranz. Zur Aufnahme der Generatorschleifringe sowie der Bremsvorrichtung wird der Aussenkranz entsprechend ausgebildet.

Lagerung

Die Lagerung der Maschinengruppe ist innerhalb der Laufradnabe angeordnet und besteht aus zwei Radiallagern und einem beidseitig wirkenden Axiallager. Der als Hohlzylinder ausgeführte Lagerträger enthält die beiden Lagerschalen. Am oberwasserseitigen Ende der Welle und des Lagerträgers ist das Axiallager angeordnet. Um die Kräfte auf dem kürzesten Weg in das Fundament einzuleiten, wird der Lagerträger über den inneren Leitradkonus und 9 Zuganker direkt mit dem Bauwerk verbunden (Bild 31).

Bild 28. Das Detailbau- und Montageprogramm für eine Maschinengruppe.



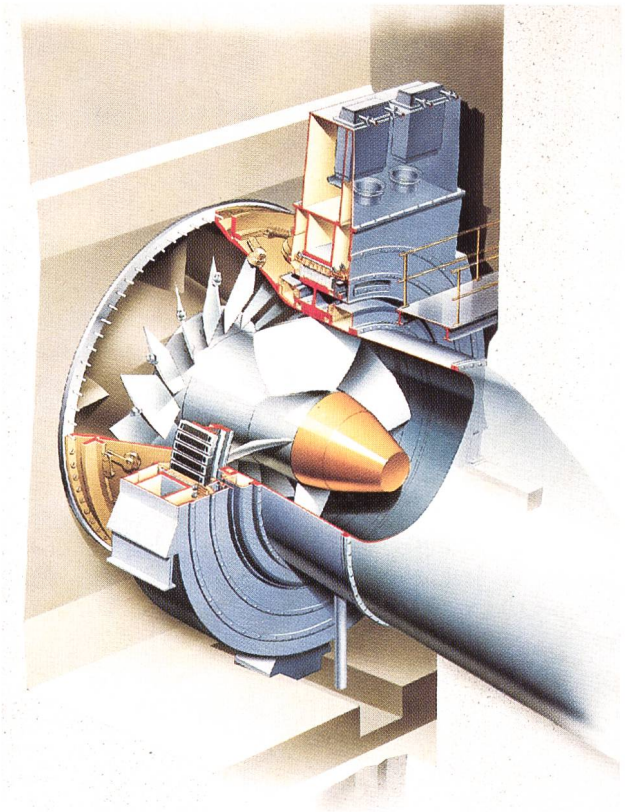


Bild 29. Bei der Straflo-Turbine ist der Generator direkt auf dem Laufradkranz angeordnet.

Tabelle 5. Konstruktionsdaten für die 7 neuen Straflo-Turbinen Augst

Bruttofallhöhe minimal	4,5 m
Bruttofallhöhe maximal	6,7 m
Betriebswassermenge pro Turbine	94,0 m³/s
Turbinen-Nennleistung	5,45 MW
Nenndrehzahl	93,75 U/min
Turbinenbauart:	
Laufrad	unreguliert
Leitrad	reguliert
Neigung der Turbinenachse	6,5°
Laufraddurchmesser	3800 mm
Anzahl der Laufradschaufeln	4
Anzahl der Leitschaufeln	18

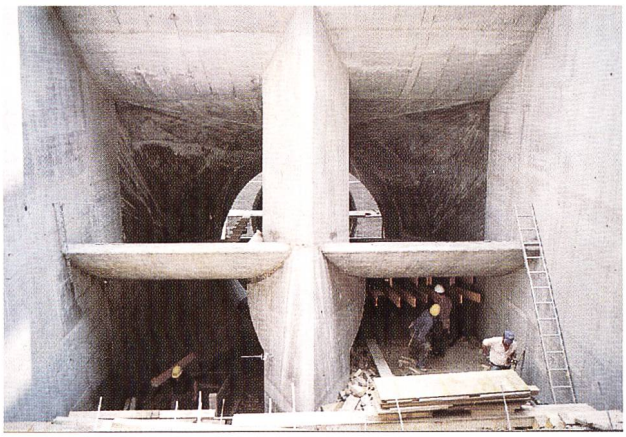


Bild 30. Im senkrechten Pfeiler des Einlaufbauwerkes ist die Lagerung der Straflo-Turbine integriert.

Während des Start- und Abstellvorgangs der Maschinengruppe sorgen Anhebepumpen für einwandfreie Betriebsbedingungen der nach hydrodynamischem Funktionsprinzip arbeitenden Lager.

Leitapparat

Die Konstruktion des Leitapparates ist ähnlich jener von konventionellen Rohrturbinen. Jede zweite Leitschaufel ist mit einem Sicherheitshebel ausgerüstet, der eine Auslenkung der Leitschaufel zulässt, falls sich beim Schliessen Fremdmaterial zwischen den Schaufeln festsetzt. Die restlichen Leitschaufeln können dabei ungehindert geschlossen werden. Sobald das Leitrad wieder geöffnet wird, nimmt die ausgelenkte Leitschaufel automatisch wieder ihre korrekte Position ein. Selbstverständlich sind sämtliche Leitschaufeln, Hebel und Lenker wartungsfrei gelagert. Dadurch wird eine Verschmutzungsgefahr des Betriebswassers durch Fett oder andere Schmierstoffe vermieden. Auch bei einem eventuellen Ausfall des Druckölsystems kann der Leitapparat mit Hilfe eines Schliessgewichtes und einer zusätzlichen Schliessfeder sicher in die Geschlossenstellung gebracht werden.

Dichtungen

Der Aussenkranz der Turbine ist mit Lippendichtungen ausgerüstet. Für deren einwandfreie Funktion ist eine begrenzte Leckwassermenge erforderlich. Die Funktionskontrolle der Dichtungen erfolgt deshalb über eine kontinuierliche Überwachung des Leckwassers. Die Dichtungsart erlaubt, auf die Zuführung von Sperrwasser samt dessen anspruchsvoller Aufbereitung zu verzichten. Ähnlich anderen Dichtungen (Labyrinthe, Kohlenringe) ist das Dichtungsprofil – aus einer abriebfesten Gummimischung hergestellt – als Verschleissteil zu betrachten.

Die Lebensdauer der Lippendichtungen hängt vom Verschmutzungsgrad des Wassers ab. Die Konstruktion erlaubt eine einfache Auswechslung dieser Dichtung. Als Gleitfläche dient ein Gleitring, bestückt mit abriebfesten Keramikplatten. Während des Stillstandes der Turbinengruppe schliesst eine zusätzliche, mittels Druckluft anpressbare Stillstandsdichtung den Leckwasserdurchfluss vollständig ab.

Zur Abdichtung des Betriebswassers bei der Laufradnabe findet das gleiche Dichtungskonzept Anwendung, während auf der Schmierölseite ein Gleitring als Dichtung eingesetzt wird. Durch ein System von Kammern und Auffangbehältern werden die Leckagen von Öl und Wasser laufend überwacht und damit ein Austreten von Öl in das Betriebswasser verhindert.

Mauerringe

Mit einer Spezialvorrichtung, welche in ihren Abmessungen und Lochteilungen mit der später einzubauenden Turbine identisch war, liessen sich die ober- und unterwasserseitigen Mauerringe lagegenau und gleichzeitig im Zweitbeton versetzen.

Die Genauigkeit der Ausrichtung der beiden Teile zueinander erreichte dadurch optimale Werte. Diese Massnahme beschleunigte sowohl das Bauprogramm wie auch die weitere Montage der Turbinen-Generatoreneinheiten beträchtlich, da sich das Einbringen von Zweitbeton während der eigentlichen Maschinenmontage erübrigte. Gleichzeitig reduzierte sich dadurch auch die Gefahr von Beschädigungen empfindlicher Maschinenteile (z. B. Lager) durch Verschmutzung.

1 Verstellbare Leitschaufeln
2 Leitschaufel-Verstellmechanismus
3 Turbinenlaufrad, nicht verstellbar
4 Turbinenwelle
5 Unterwasserseitiges Führungslager
6 Oberwasserseitiges Führungslager
7 Axiallager
8 Drehzahlmesssystem
9 Nabendichtung
10 Aussenkranzdichtung
11 Generator
12 Schleifringe
13 Generatorkühler
14 Druckluftbremse

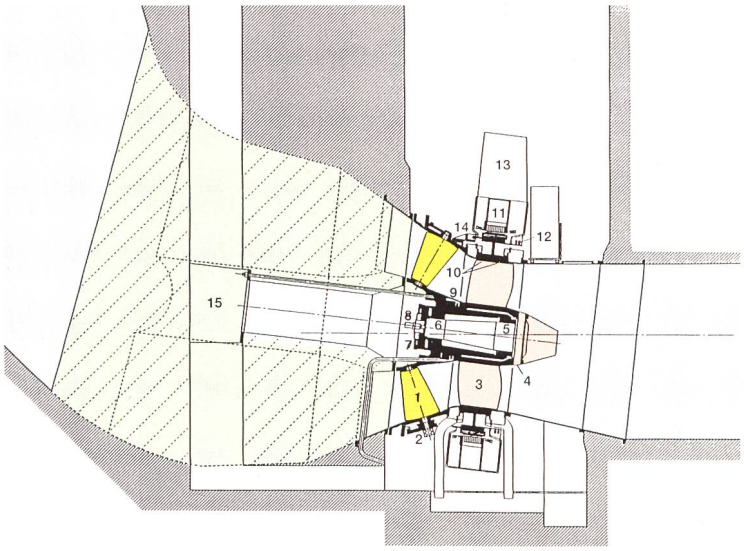


Bild 31. Schnittbild durch die Straflo-Maschine Augst.

Regler

Jeder Maschinensatz ist mit einem digitalen Turbinenregler vom Typ DTL 525 von Sulzer-Escher Wyss ausgerüstet. Die besondere Eigenschaft dieses modernen, programmierbaren Systems liegt darin, Regel- und Steuerfunktionen den Bedürfnissen der Anlage frei anpassen zu können. So ist in der Anlage Augst die Drehzahlregelung nur beim Anfahren und Synchronisieren der Maschinengruppe ans Netz aktiviert.

Nach erfolgter Synchronisation wird im DTL 525 auf Öffnungsregelung umgeschaltet, und gleichzeitig übernimmt das System den Öffnungs-Sollwert vom übergeordneten Pegelreglersystem.

Eine weitere Funktion, die sogenannte Schwallsteuerung, verhindert einen unzulässigen Anstieg des Oberwasserpegels bei gleichzeitiger, unvorhergesehener Abschaltung mehrerer Maschinen (Netzstörung).

Fabrikationsaufteilung

Zwar bestanden weder durch die Konzession noch durch andere vertragliche Bedingungen Zwänge, die Lieferungen auf Deutschland und die Schweiz aufzuteilen. Dennoch hatten die Bauherren ein verständliches Interesse, möglichst inländisch zu vergeben.

Da sowohl Sulzer-Escher Wyss (Lieferung der Turbinen) als auch ABB (Lieferung der Generatoren) Tochtergesellschaften in Deutschland besitzen, konnte eine passende interne Regelung ohne Beizug weiterer Lieferanten gefunden werden.

Bei Sulzer-Escher Wyss erfolgte die Aufteilung «horizontal», indem für alle Maschinen die rotierenden Teile (Laufrad, Rotor, Lagerung usw.), die Regulierung (Regler, Drehzahlerfassung), die Lagerölversorgung sowie das Basis-Engineering aus dem Werk Zürich und die wasserführenden Teile (Mauerringe, Leitapparate, Laufradmäntel, Saugrohre) sowie das Detail-Engineering für diese Teile aus dem Werk Ravensburg geliefert wurden.

Die Aufteilung bei ABB erfolgte «vertikal»: 7 komplette Generatoren für Augst wurden aus dem Werk Birr geliefert, während die Generatoren für Wyhlen nach identischen Plänen in Mannheim gefertigt wurden.

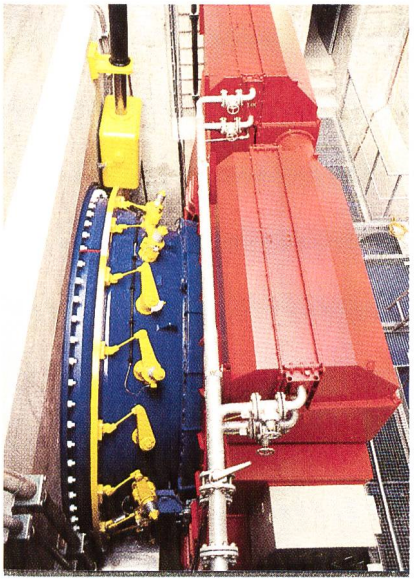


Bild 32. Blick in den Turbinenschacht; links der Stellring, die Hebel des Leitapparates und das Schliessgewicht (gelb).

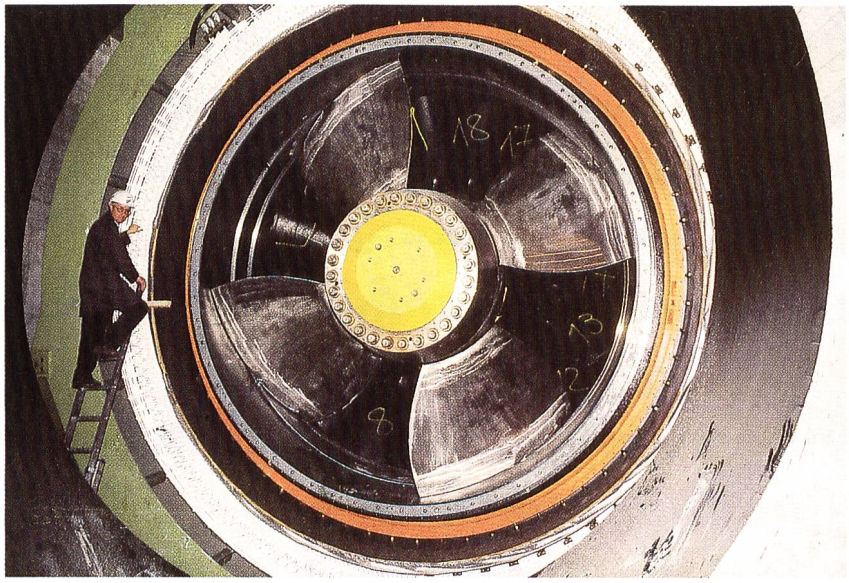


Bild 33. Blick aus dem Saugrohr auf das vierschauflige Laufrad.

Ortsmontage

Die Ortsmontage konnte infolge der Anlieferung von wenigen vormontierten Bauteilen/Baugruppen kurz gehalten werden. Im 3-Monate-Rhythmus wurden diese in folgender Reihenfolge angeliefert bzw. eingebaut:

- Komplett zusammengebauter Leitapparat mit innerem und äusserem Gehäuse, Leitschaufeln, Lagern, Hebel, Lenker und Regulierung;
- Rotor, bestehend aus Laufrad, Welle, Aussenkranz, Lagerträger mit fertig eingebauten Radial- und Axiallagern;
- Generatorstator, einschliesslich Kühleinrichtung und Ventilatoren;
- Laufradmantel, Dichtungen und Saugrohr;
- Lagerölversorgung, Druckluftversorgung;
- Hydraulischer Regler.

Die Durchführung der Ortsmontage lag in der Verantwortung der Montageabteilung von Sulzer-Escher Wyss in Zürich.

Tests am hydraulischen Modell

Da rein analytische Methoden der Strömungssimulation noch nicht die geforderte Genauigkeit erreicht haben, ist es bei den führenden Turbinenherstellern heutzutage allgemeine Praxis, das gesamte Betriebsverhalten anhand von Modellversuchen zu untersuchen.

Für das Kraftwerk Augst wurden im Hydrauliklabor von Sulzer-Escher Wyss, Zürich, Versuche mit einem Modell im Massstab 1:14 durchgeführt, um die Energieproduktion durch geeignete Modifizierungen am hydraulischen Profil zu maximieren. Es wurden verschiedene vier- und fünfschaufelige Propellerturbinen-Laufräder mit unterschiedlichen Nabendurchmesserverhältnissen und Laufschaufelwinkeln gemessen.

Modifikationen am Saugrohr ermöglichten eine beträchtliche Vergrösserung des Auslaufquerschnittes mit einer entsprechenden Verringerung der Ausströmverluste. Veränderungen der Form und der Neigung der seitlichen Querrippe des Einlaufs führten zu einer vorteilhaften Stromlinienform mit niedrigen hydraulischen Verlusten. Die zusätzlichen hydraulischen Verbesserungen, die an diesem Modell erreicht wurden, führten zu einer Erhöhung der jährlichen Energieproduktion um 4,5 GWh auf 205 GWh für das Kraftwerk Augst.

7.2 Der Straflo-Generator

Janos Gyenge

Bedingt durch das Straflo-Konzept (von **Stra**ight **Flo**w = gerader Durchfluss), bei dem der Aussenkranz des innen axial durchströmten Turbinenlaufrades als Polradkranz des Generators benützt wird, ergibt sich eine Maschine mit grossem Durchmesser und verhältnismässig kurzer Eisenlänge des Statorblechkörpers.

Die genannten Eigenschaften dieser Maschinenart bieten in mehrfacher Hinsicht Vorteile:

- Das Schwungmoment wird gegenüber einem vergleichbaren Rohrturbinen-Generator wesentlich höher, was für die Turbinenregulierung günstig ist.
- Die Kühlung des kurzen Statorblechkörpers ist auch ohne radiale Kühlschlitze ermöglicht.

Der grosse Durchmesser des Polradkranzes (Polbasis-

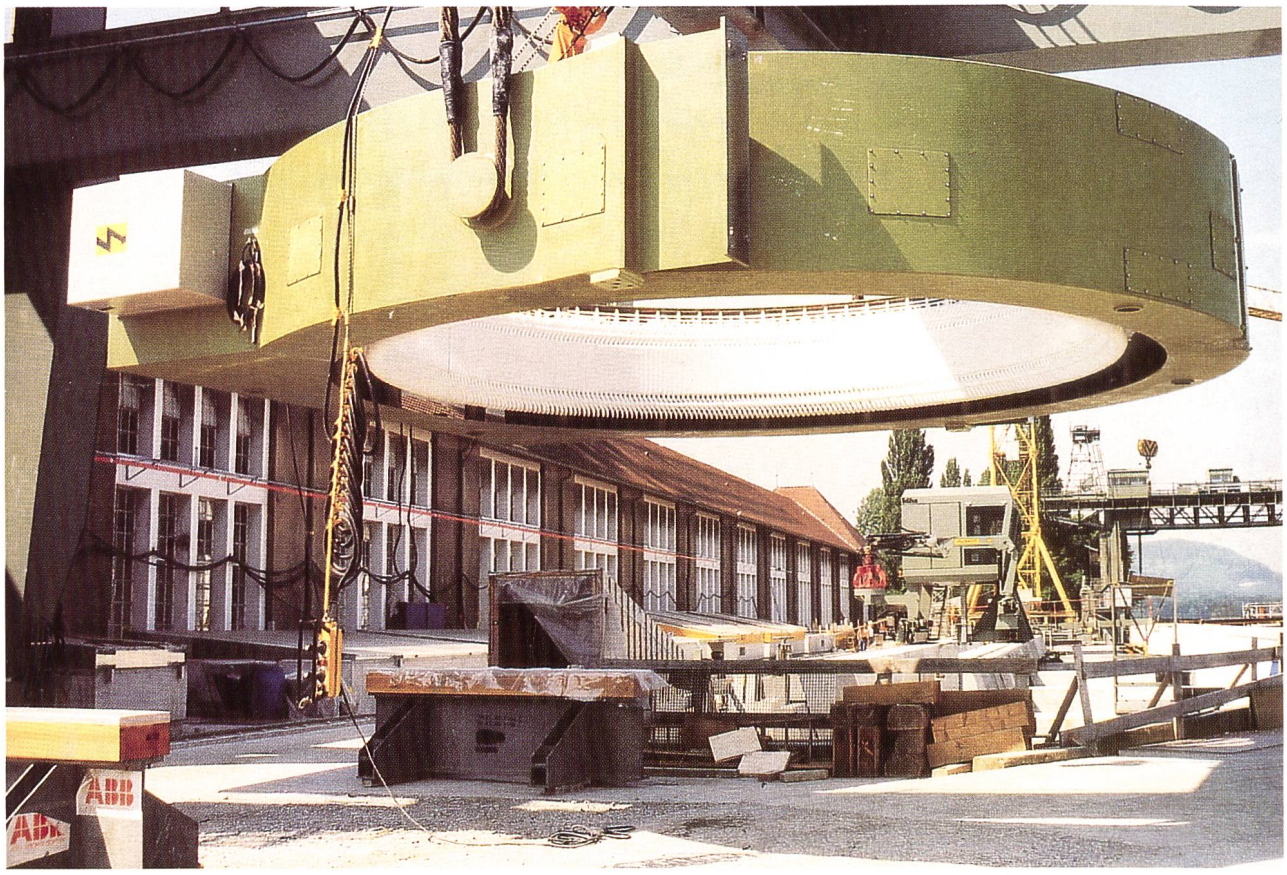


Bild 34. Der 32 Tonnen schwere Stator am grossen Portalkran, bereit zum Einfahren in den Turbinenschacht.

durchmesser) und die in Strömungsrichtung vorgegebene Breite der Generatorgrube ergaben im weiteren nur eine beschränkte Höhe des Ständergehäuses, welche für die mechanische Stabilität dieses Bauteils optimal ausgenützt werden musste. Diese Optimierung der Struktursteifigkeit erfolgte mit Hilfe der Finit-Element-Analyse.

Im weitern wurde der Bedingung Rechnung getragen, dass die im Betrieb entstehenden Kräfte – ohne schädliche Deformationen der Bauteile – möglichst in reduzierter Form und optimal in das Fundament eingeleitet werden.

Die besondere Bauform des Straflo-Maschinensatzes und die beschränkten Platzverhältnisse verlangten eine sorgfältige Untersuchung der Montagevorgänge und damit auch die Optimierung der benötigten Montagehilfsmittel, was nur in enger Zusammenarbeit zwischen Turbinen- und Generatorlieferant möglich war.

Einige Probleme, welche aus diesem Themenkreis zu lösen waren:

- Befestigung und Montage der grossen Schleifringe am Aussenkranz
- Bereitstellung des Turbinenlaufrades für Montage der Generatorpole in der Maschinengrube
- Einfahren des Generatorständers in die Maschinengrube und axiale Verschiebung über den Rotor
- Montage des Unterwasser-Saugrohres und der Generatorverschalungen

Dank sorgfältiger Vorausplanung und grossem Einsatz der Beteiligten konnten alle Arbeiten termingerecht erledigt werden.

Konstruktive Einzelheiten der Generatoren

Der Stator

Das Statorgehäuse ist aus Gründen einer maximalen Steifigkeit einteilig ausgeführt. Der Blechkörper besteht aus hochlegierten Dynamoblechsegmenten ohne radiale Kühlschlitze und ist durchgehend überlappt geschichtet. Für die nötige Pressung des Blechpaketes dienen massive Stahlpressplatten und Spannbolzen. Der Blechkörper ist im Statorgehäuse mit einer mehrfach bewährten ABB-Spezialkonstruktion befestigt (Bild 34).

Der Stator ist über zwei als Federn ausgebildete Füsse auf den Statorfussplatten befestigt und über kräftige Fundamentschrauben mit dem Fundament verbunden. Die in radialer Richtung «elastischen» Füsse dienen der Aufnahme der radialen Dehnung infolge Erwärmung des Stators.

Am unteren Teil des Gehäuses ist der Stator über eine Führung mit dem Fundament verbunden, welche in Umfangsrichtung eine spielfreie Arretierung gewährleistet, in radialer Richtung jedoch freie Ausdehnung des Stators erlaubt.

Die Statorwicklung ist als Zweischicht-Spulenwicklung ausgeführt und mit der Kunstharzisolation ABB-Typ Micadur® der Isolierstoffklasse F versehen. Der Wickelkopf ist mittels kunstharzgetränkter und ausgehärteter Glasfaserkordeln kurzschlussicher abgestützt.

Tabelle 6. Generator-Hauptdaten

Nennleistung	5000 kVA
Nennleistungsfaktor	0,9 (übererregt)
Maximale Leistung	5750 kVA
Nennspannung, verkettet	6800 V
Regulierbereich	± 5 %
Nennstrom	425 A
Nennfrequenz	50 Hz
Nenndrehzahl	93,75 U/min
Durchbrenndrehzahl (während max. 30 min)	200 U/min

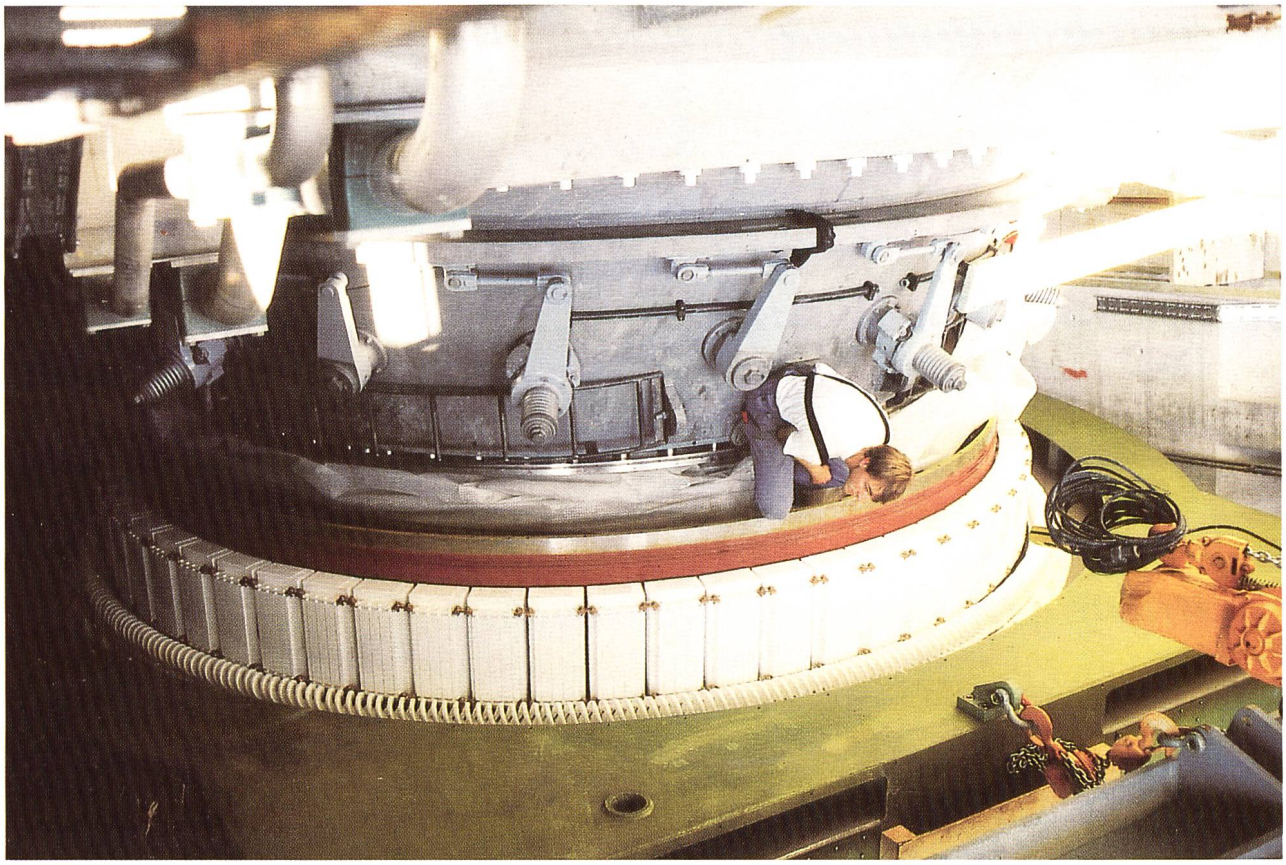


Bild 35. Das Einfahren des Stators über das mit 64 Polspulen bestückte Laufrad ist Präzisionsarbeit.

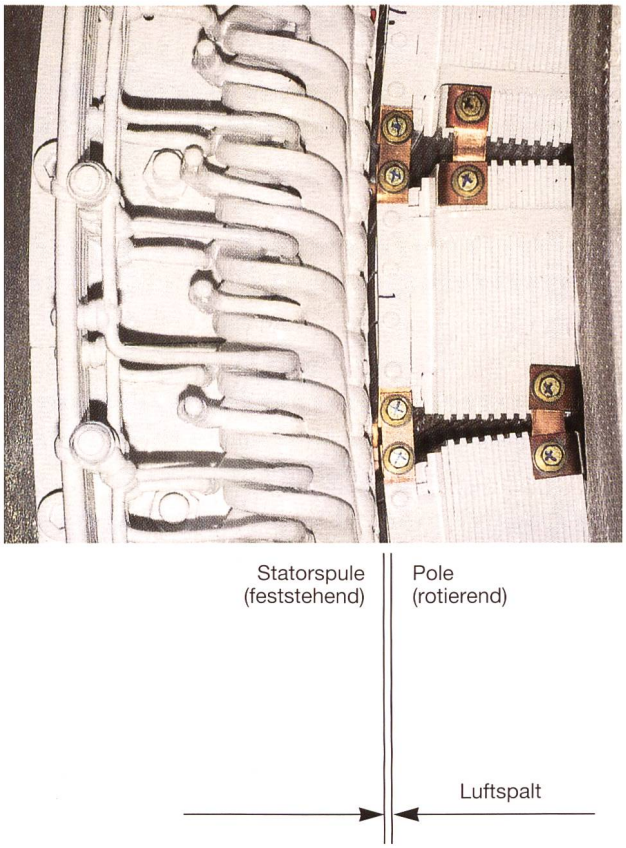


Bild 36. Die feststehende Statorwicklung (links) und die rotierenden Polspulen (rechts) sind durch einen Luftspalt von nur knapp 1 cm voneinander distanziert.

Der Rotor

Der Aussenkranz der Straflo-Turbine bildet gleichzeitig den Polradring des Generators. Seine Dicke ergibt sich gemäss Forderungen des magnetischen Flusses und den Materialbeanspruchungen, hervorgerufen durch die Zentrifugalkraft der angebauten Pole. Die Generatorpole werden von der Innenseite des Polradkranzes her mittels hydraulisch vorgespannter Dehnschrauben direkt auf den Aussenkranz festgeschraubt.

Die Pole selbst bestehen aus einem lamellierten Blechkörper mit aufgesetzten Polspulen. Sie sind zur Erhöhung der Stabilität bei unsymmetrischen Belastungen mit einer geschlossenen Dämpferwicklung ausgerüstet.

Die Schleifringe

Der Erregerstrom wird über zwei einteilige Schleifringe aus Sonderbronze zugeführt, die unterwasserseitig am Aussenkranz befestigt sind. Durch diese Anordnung erhalten die Schleifringe einen grossen Durchmesser und damit eine hohe Umfangsgeschwindigkeit. Sie müssen aus diesem Grund bei allen Betriebsbedingungen einen sehr genauen Rundlauf aufweisen, um übermässige Bürstenabnützungen zu vermeiden. Zur Aufnahme der mechanischen und thermischen Kräfte und zur optimalen Abstützung der Schleifringe am Aussenkranz wurden spezielle Befestigungselemente vorgesehen, welche eine freie Dehnung der Ringe ermöglichen und gewährleisten, dass die Dehnung absolut symmetrisch erfolgt.

Für die Übertragung des Erregerstromes wurden Elektrographit-Kohlebürsten verwendet, die in Spezialbürstenhalter eingesetzt sind. Bei längeren Stillstandsperioden lassen sich die Schleifring-Kohlebürsten mit der eingebauten Abhebevorrichtung von den Schleifringen abheben.

Der entstehende Kohlestaub wird mittels einer Absaugeinrichtung aus dem Schleifringraum kontinuierlich abgesaugt und durch Filter ausgeschieden.

Die ersten Betriebserfahrungen mit diesem Konzept sind durchwegs positiv.

Kühlung

Der Generator ist vollständig geschlossen und mit einer Umluftkühlung versehen. Die Kühlluft wird mit vier am oberen Teil des Statorgehäuses montierten Motorventilatoren umgewälzt. Die Kaltluft wird zuerst dem unterwasserseitigen Wickelkopfraum zugeführt, durchströmt die Maschine in axialer Richtung, wird im oberwasserseitigen Wickelkopfraum (Warmluftraum) gesammelt und den Luft/Wasser-Kühlern zugeleitet.

Die Rückkühlung der umgewälzten Kühlluft erfolgt in zwei Luft/Wasser-Wärmetauschern, welche am oberen Teil des Stators unter einer Kühlerhaube eingebaut sind. Die im Kühlwasser abgeführte Wärme wird im Winterbetrieb für Heizzwecke verwendet. Im Sommerbetrieb wird das Kühlwasser über einen Wasser/Wasser-Kühler rückgekühlt.

Die nur einseitig am Stator angeordnete Luftumwälz- und Kühleinrichtung erfordert eine sorgfältige Vorausplanung der Generatorkühlung, optimiert durch Berechnungsmodelle. Zur Verhinderung des Eintritts von feuchter Luft aus der Maschinengrube in den Generator wird der Generator-Innenraum mit einem zusätzlichen Motorventilator unter leichtem Überdruck gehalten.

Erregungseinrichtung

Die statische Erregungseinrichtung wird über einen Dreiphasen-Stromrichtertransformator (Giessharz-Trockentransformator) direkt von den Generatorklemmen angespiesen (Nebenschlussschaltung). Es gelangt das schon vielfach eingesetzte und bewährte vollstatische ABB-Erregungssystem mit dem Unitrol-Spannungsregler zur Anwendung.

Die Stromrichtereinheit besteht aus zwei unabhängigen Stromrichterbrücken. Aus Redundanzgründen sind die beiden Stromrichter parallel geschaltet, wobei einer jeweils als stehende Redundanz zur Verfügung steht. Für eine erhöhte Betriebssicherheit ist dem Spannungsregler mit Rotorstrom- und Polradwinkelbegrenzer auch ein Rotorstromregler zugeordnet.

Verschiedene Überwachungs- und Schutzfunktionen greifen bei internen und externen Störungen ein und verhindern etwaige Folgeschäden an der statischen Erregungseinrichtung. Je nach Störung erfolgt nur eine Alarmanzeige, eine automatische Umschaltung auf den Handkanal oder ein Öffnen des Feldschalters.

Die wichtigsten Funktionen sind:

1. Überspannungsschutz der Stromrichter
2. Überlastschutz des Erregertransformators und der Stromrichter
3. Kurzschluss-Schutz der Stromrichter
4. Überwachung der internen Speisespannungen
5. Überwachung der Auferregungszeit

Diese Funktionen bewirken entweder nur eine Alarmanzeige, eine automatische Umschaltung auf den Handkanal oder ein Öffnen des Feldschalters.

7.3 Drainage und Kühlsystem

Klaus-Dieter Steffan

Drainageanlage

Im Gegensatz zu vergleichbaren Niederdruckkraftwerken, in denen unterschiedliche Systeme für spezifische Entleerungs- und Drainageaufgaben zuständig sind, wird die gesamte Entwässerung im neuen Kraftwerk Augst von einer einzigen Pumpengruppe gewährleistet, die zentral in einem für alle Aufgaben gemeinsamen Drainagesumpf angeordnet ist. Ausschlaggebend für diese Konzeption waren die Aspekte wie Sicherheit und Verfügbarkeit, aber auch die Forderung, den Unterhalt und die Wartung auf ein Minimum zu reduzieren.

Ein Teil des Turbinenschachtes und des Generators ist unterhalb der Wasserlinie angeordnet. Das Kraftwerk muss daher unter allen Umständen immer zwangsläufig entwässert werden, und die sichere Funktion der Drainagepumpengruppe hat demzufolge eine eminent hohe Bedeutung (Bild 37).

Im gemeinsamen Drainagepumpensumpf, der in zwei unabhängige Kammern unterteilt werden kann, sind vier identische Unterwassermotorpumpen angeordnet. Im Parallelbetrieb aller Pumpen können 600 l/s gefördert werden.

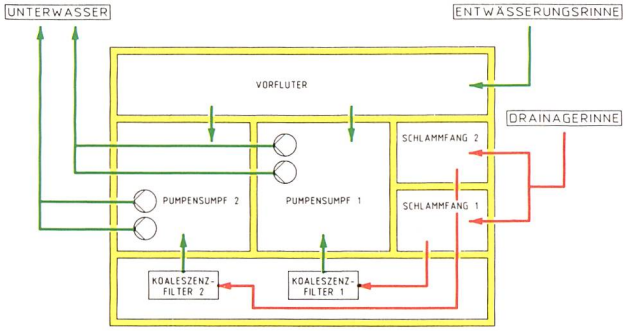


Bild 37. Disposition im Pumpensumpf mit Vorfluter, Kammern 1 und 2 und Schlammfang.

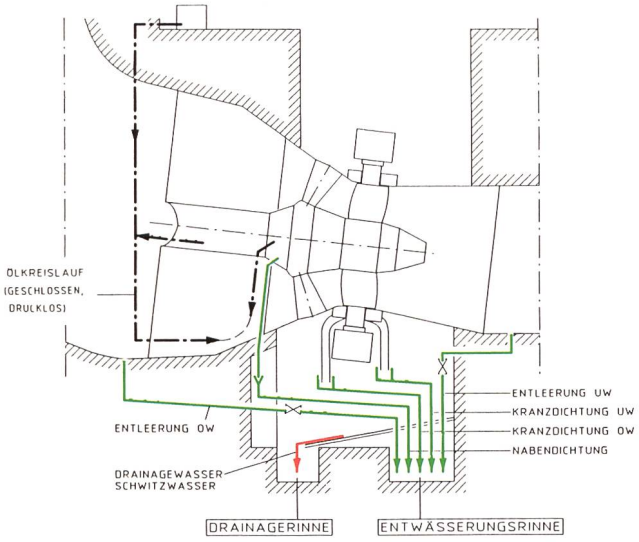


Bild 38. Das Leckwasser der Straflo-Turbinengruppe muss über das Drainagesystem abgeführt werden.

Tabelle 7. Wassermengen, auf die das Drainagesystem ausgelegt ist

Entleerungsmengen		
– Oberwasserseite	(OW)	220 l/s (max.)
– Unterwasserseite	(UW)	220 l/s (max.)
Leckagemengen		
– Kranzdichtung	(OW)	1,2–17 l/s (neu – abgenutzt) bis 102 l/s (Schadensfall)
– Kranzdichtung	(UW)	1,2–17 l/s (neu – abgenutzt) bis 102 l/s (Schadensfall)
– Nabendichtung		0,45–6,5 l/s (neu – abgenutzt) bis 19,5 l/s (Schadensfall)
– Drainage aus baulichen Strukturen		bis 8 l/s

Tabelle 8. Kriterien für die Bemessung und Steuerung der Drainagepumpen

– Bruttovolumen des Sumpfes	ca. 135 m³
– Gesamtschaftvolumen effektiv (ohne Sicherheitsvolumen)	76,5 m³
– Schaftvolumen Pumpe 1	51,5 m³
– Fördermenge Pumpe 1	150 l/s
– «Minimale» Entwässerungsmenge (1 bis 2 Gruppen mit neuen Dichtungen)	< 10 l/s
– «Mittlere» Entwässerungsmenge (7 Gruppen mit «mittlerer» Abnutzung)	ca. 75 l/s
– Schadenfall (6 Gruppen mit «mittlerer» Abnutzung plus ein Dichtungsschaden)	ca. 275 l/s
– Entleerungsfall (6 Gruppen mit «mittlerer» Abnutzung, eine Gruppe mit max. Entleerungsmenge OW/UW)	ca. 500 l/s

Diese Auslegung basiert auf den nominalen Wassermengen, wobei sich die Entleerungs- und Leckagemengen jeweils auf eine der insgesamt sieben Straflo-Generatorengruppen beziehen (Tabelle 7).

Die Kranzdichtungen, die den an der Peripherie angeordneten Generator von der Wasserseite abschirmen, sind ein wesentliches konstruktives Merkmal der Straflo-Turbinen. Neben der Anzahl der im Einsatz stehenden Turbinen ist der Abnutzungsvorgang und auch der zwar äusserst unwahrscheinliche, aber doch zu berücksichtigende Schadenfall dieser Dichtungen bestimmend für die effektiv zu fördernden Wassermengen. Demgegenüber ist die eigentliche Drainage aus baulichen Strukturen von nur untergeordneter Bedeutung (Bild 38).

Für den praktischen Betrieb der Drainagepumpen und deren Schaltzyklen, die ein wesentliches Merkmal für die Lebensdauer der Pumpen darstellen, sind die Kriterien gemäss Tabelle 8 berücksichtigt.

Aus dieser Aufstellung lässt sich ableiten, dass im langfristigen Mittel eine einzige Drainagepumpe für die Entwässerung des Kraftwerkes genügend ist. Der Parallelbetrieb mehrerer Pumpen ist nur bei Entleerungen und im Schadensfall erforderlich. Maximale Schaltzyklen stellen sich immer dann ein, wenn die zufliessende Wassermenge 50 % der Pumpenfördermenge beträgt (wie dies bei einer «mittleren» Entwässerungsmenge von 75 l/s der Fall ist).

Theoretisch ergeben sich bei dieser ungünstigsten Konstellation fünf Schaltungen pro Stunde. Durch eine zyklische Umschaltung der Pumpenprioritäten – nach jedem Stop-Befehl wird die Start-Priorität gewechselt und umlaufend der nächsten Pumpe zugeordnet – bleibt die effektive Häufigkeit aber auf ein bis zwei Schaltungen pro Stunde und pro Pumpe reduziert.

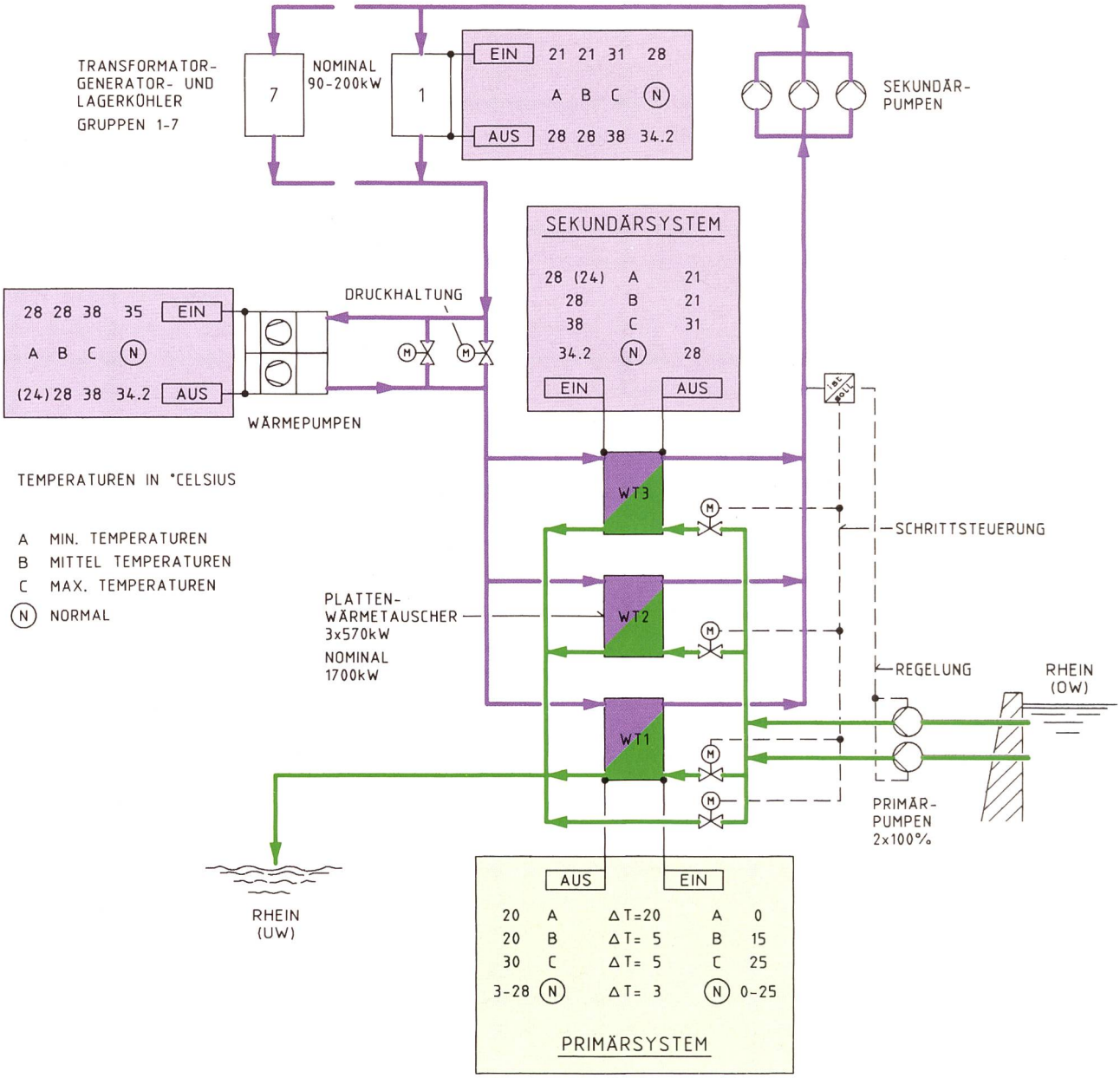


Bild 39. Abwärme- und Temperaturkonzept beim Kraftwerk Augst.

Neben einer entsprechend geringeren Beanspruchung der Pumpenaggregate sichert dieser Zyklus gleichzeitig die notwendige stetige Überprüfung der Verfügbarkeit der Anlage, da im Entleerungs- und insbesondere im Schadensfall jederzeit eine Förderkapazität von über 500 l/s garantiert werden muss.

Das moderne Betriebskonzept und die zuverlässigen Pumpen, die, ohne dass der Sumpf entleert werden muss, mittels einer speziellen Vorrichtung von der Leitung abgekoppelt und nach oben ausgebaut werden können, sowie die umfangreichen elektronischen Signal-, Mess- und Steuereinrichtungen mit einem zentralen Prozessor gewährleisten einen sicheren und wartungsarmen Betrieb.

Eine wesentliche Verlängerung der Wartungsintervalle sollen darüber hinaus die drei sogenannten «Aufwirbelpumpen» bewirken. Integriert in den Schaltzyklus arbeiten diese Aggregate jeweils kurz vor einem Pumpenstart, damit sich Geschwemmsel, Sand und andere Feststoffe nicht in den Wasserkammern ablagern und festsetzen, sondern laufend von den Pumpen erfasst und beseitigt werden.

Die bisherigen Betriebserfahrungen sind positiv. Zudem sind die Leckagemengen bisher wesentlich geringer als vom Turbinenlieferanten garantiert. Als besonders vorteilhaft wird der Umstand bewertet, dass durch die selektive Umschaltung und die Möglichkeit, den Sumpf in zwei unabhängige Kammern zu unterteilen, eine äusserst flexible Betriebsführung gegeben ist. Alle Wartungsarbeiten lassen sich ohne Unterbruch des laufenden Betriebes bewerkstelligen.

Kühlsystem

Das Kühlsystem besteht aus einem Sekundärsystem mit vier Umwälzpumpen und einem doppelt geführten Primärsystem, in dem drehzahlgeregelte Pumpen arbeiten, die mit Flusswasser beaufschlagt sind (Bild 40).

Dieses Konzept vermeidet den direkten Kontakt von Flusswasser oder sonstigem Rohwasser mit den Generator-, Lager- und Transformatorenkühlern, verlangt aber zusätzliche Wasser/Wasser-Wärmetauscher, damit die Abwärme «berührungslos» vom Sekundär- in das Primär-

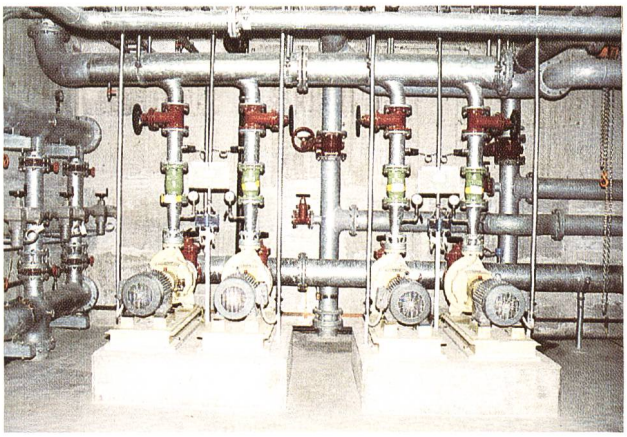


Bild 40. Die vier Kühlwasserpumpen des Sekundärkreislaufes.

system übertragen werden kann. Diese Wasser/Wasser-Wärmetauscher sind speziell für Rohwasser mit entsprechender Schmutzfracht konstruiert und problemlos zu reinigen.

Bei den Generatoren, Lagern und Transformatoren kann demgegenüber auf Spezialkühler verzichtet werden, da das geschlossene Sekundärsystem mit einem chemisch und physikalisch unbedenklichen Medium gefüllt ist.

Der Vorteil, die jeweiligen Komponentenkühler ohne Berücksichtigung der Wasserqualität oder Verschmutzung serienmässig beibehalten zu können, kommt im neuen Kraftwerk Augst mit sieben neuen Straflo-Gruppen, zwei neuen Transformatoren und einer dementsprechend hohen Zahl von Einzelkomponenten besonders stark zum Tragen.

Neben diesen eher technischen Aspekten sprachen aber auch Vorgaben des Kraftwerkbetreibers für die gewählte Lösung: Ressourcen waren möglichst schonend einzusetzen, und auf die Verwendung von Trinkwasser für Kühlzwecke oder auf eine entsprechende Aufbereitungsanlage sollte verzichtet werden. Zum anderen war höchstes Augenmerk auf einen guten Wirkungsgrad der Anlage zu lenken, darüber hinaus sollte die Abwärme in einer Wärmepumpenanlage genutzt werden.

Während Kühlanlagen mit getrennter Primär- und Sekundärseite schon in verschiedenen hydraulischen Kraftwerken realisiert wurden und demzufolge bekannt sind, haben sich aufgrund der spezifischen Randbedingungen in Augst neue und interessante Lösungen auf der Steuer- und Regelungsseite der Anlage ergeben.

Konventionelle Systeme werden oft ohne Regulierungsmöglichkeiten für einen fiktiven Maximalwert ausgelegt, der auf einer max. Abwärme bei gleichzeitiger max. Kühlwasser- und Lufttemperatur basiert, der aber im normalen Betrieb höchst selten oder nie erreicht wird, da in den nominalen Vorgaben zu den Abwärme- und Kühlleistungen naturgemäss Reserven enthalten sind, die sich ebenfalls kumulieren. Bei Augst liegt die Bandbreite von Minimal- zu Maximalwert bei etwa 1:35 (Gruppen 1 bis 7, Δt 5 bis 25 °C), d. h. die Kühlwassermenge auf der Primärseite variiert je nach Betriebssituationen und der Flusswassertemperatur theoretisch zwischen 3 und 105 l/s.

Um diese Bandbreite mit optimalem Wasser- und Energieeinsatz abzudecken, wurde folgende Steuer- und Regellogik entwickelt:

- Sekundärseite
  Die Zuschaltung von Umwälzpumpen erfolgt in Abhängigkeit von der im Einsatz stehenden Straflo-Generatorengruppen, wobei immer 1 Umwälzpumpe für 1 bis 2 Gruppen zuständig ist, die in der Startsequenz jeweils automatisch angesteuert wird.

- Primärseite
  Die Regelgrösse für die drehzahlvariablen Pumpen auf der Primärseite ist die Temperatur im Sekundärkreislauf. Geführt durch einen Temperaturtransmitter wird im Verbund mit einer PID-Regelung (Proportional- Integral- Differentialregler) die Temperatur im Sekundärkreislauf, unabhängig vom Wärmeanfall und der Flusswassertemperatur, durch eine variable Primärwassermenge und eine selektive Ansteuerung der Wasser/Wasser-Wärmetauscher konstant bei ca. 21 °C gehalten. Dies bietet Vorteile beim Betrieb der Gruppen und wirkt sich günstig auf die Leistungsziffer der Wärmepumpe aus.

Im Normalbetrieb wird die Regelung durch eine Schrittsteuerung überlagert, die einem klar definierten Modus folgt. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang, dass die Mindestmenge der Primärpumpe aus betrieblichen Gründen (Mindestgeschwindigkeit in Leitungen, Strömungswächter, Schmutzablagerungen usw.) auf ca. 18 l/s und nicht auf die theoretische Menge von 3 l/s begrenzt wird. Energetisch ist dies unerheblich, da auch bei 18 l/s praktisch keine Reibungsverluste mehr zu überwinden sind. Die Ableitung des «überschüssigen» Wassers erfolgt durch einen Bypass (Bild 39).

Die Grenztemperaturen sind wie folgt definiert:

- Vorlauftemperatur im Sekundärkreislauf grösser 22 °C – ein Schritt «vorwärts»
- Vorlauftemperatur im Sekundärkreislauf kleiner 20 °C – ein Schritt «zurück»

Die eigentliche Regelung (PID) ist der «Schrittsteuerung» nur überlagert und wird erst aktiv, wenn die Vorlauftemperatur von 22 °C nicht mehr eingehalten werden kann. Dies ist gegeben, wenn entweder die Wärmeleistung zu gross ist bzw. nicht alle Wasser/Wasser-Wärmetauscher (WT) angeschlossen sind oder aber der Wirkungsgrad der Wärmetauscher durch Verschmutzungen reduziert ist. In allen diesen Fällen wird – als Schritt 7 – die Regelung aktiv, der Frequenzumformer der Motoren erhöht die Drehzahl und damit die Fördermenge der Primärpumpen. Bei höheren Rheinwassertemperaturen verschiebt sich die Grenztemperatur von 22 °C (auf der Sekundärseite) nach oben, wobei die Steuerung/Regelung in folgender Abhängigkeit jeweils neue Sollwerte bildet:

a) abhängig von der aktuellen Rheinwassertemperatur
b) abhängig von der Anzahl der laufenden Sekundärpumpen (resp. der Anzahl der laufenden Turbinen-Generatorengruppen)

Die Vielzahl der Einzelschritte und die Bildung von neuen Sollwerten bei höheren Rheinwassertemperaturen scheint auf den ersten Blick unübersichtlich zu sein, basiert aber auf einer relativ einfachen Matrix, in der die Abwärmeleistung, die Kühlwassermenge und die zugehörigen Temperaturen berücksichtigt sind. Diese drei Parameter stehen in direkter linearer Beziehung zueinander.

Der Modus bietet den grossen Vorteil, dass jede Betriebssituation durch eindeutige Steuerschritte abgedeckt wird, ohne dass vorrangig geregelt werden muss.

Die Betriebsführung ist jederzeit über den Status des Kühlsystems orientiert; unübersichtliche Regelzustände,

Unstetigkeiten im System oder Rückkopplungen, z. B. mit der Regelung der Wärmepumpe, sind nicht zu befürchten.

Wichtige Komponenten der Steuerung sind die Prozessoren (Speicherprogrammierbare Steuerung, SPS) und die Frequenzumformer der Motorantriebe bei den Primärpumpen.

Die definitive Einstellung der Steuerung wurde erst in der Anlage vorgenommen, nach Messung der effektiv abzuleitenden Abwärmeleistungen. Alle Einstellparameter konnten im Zuge der Inbetriebnahmen der Straflo-Gruppen auf einfache Art und Weise vor Ort optimiert und in den Prozessor programmiert werden, ohne jeden Eingriff in die Hardware der Steuerung.

Die Inbetriebnahme der Anlage konnte reibungslos abgewickelt werden. Der Betrieb verläuft stabil und störungsfrei. Gut erreicht werden konnten auch die Forderungen bezüglich Energieaufwand und Wirkungsgrad.

8. Elektrische Ausrüstung

8.1 Das Grundkonzept

Daniel Hegetschweiler

Allgemeine Anforderungen

Die vom Ingenieur in enger Zusammenarbeit mit dem Bauherrn erarbeiteten Vorgaben für die elektrische Ausrüstung im Kraftwerk Augst mussten nicht nur den technischen Ansprüchen genügen, sondern hatten sich auch nach den speziellen Gegebenheiten eines etappenweisen Umbaus zu richten.

Um dem als Generalunternehmer auftretenden Lieferanten der elektrischen Ausrüstungen die notwendige Freiheit zu gewähren, aus seinem Lieferprogramm technisch einwandfreie und wirtschaftlich vertretbare Anlageteile und Komponenten anbieten zu können, beschränkten sich die Vorgaben der vom Ingenieur erstellten technischen Spezifikationen auf die wesentlichen Randbedingungen.

Die Ausrüstung im Kraftwerk Augst muss den Anforderungen eines automatischen, unbesetzten Betriebes genügen, d.h. vor allem ausserhalb der normalen Arbeitszeit müssen von Störungen betroffene Anlageteile selbständig in einen sicheren Betriebszustand übergeführt werden, bis das vom Alarmmeldesystem aufzubietende Bereitschaftspersonal im Kraftwerk eintrifft. Dabei ist mit einem Zeitverzug von etwa einer halben Stunde zu rechnen.

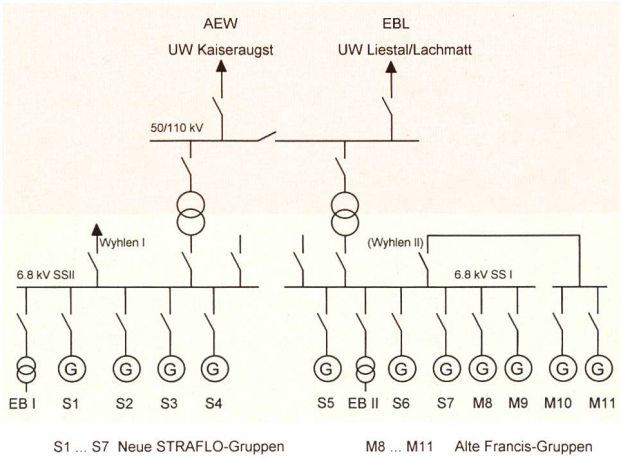


Bild 41. Einpoliges Anlagenschema.

Notstromversorgung

Die Versorgung des Stauwehrs sowie der Drainageanlage verlangt eine besonders hohe Verfügbarkeit. Die Wehranlage muss bei Turbinenausfall jederzeit den Wasserabfluss gewährleisten; die Drainageanlage hat die anfallende Leckwassermenge auch im Havariefall sicher abzuführen.

Auf ein für diese Fälle üblicherweise vorzusehendes Notstrom-Dieselaggregat konnte verzichtet werden, da sich das Kraftwerk Augst in der vorteilhaften Lage befindet, mit drei voneinander unabhängigen Hochspannungssystemen verbunden zu sein:

- mit dem 50/110-kV-Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK)
- mit dem 50-kV-Netz der Elektra Baselland (EBL), das mit dem Netz der Aare Tessin AG (ATEL) verbunden ist
- mit der 6,8-kV-Schaltanlage des Kraftwerks Wyhlen, das seinerseits mit dem Netz des Badenwerkes verbunden ist

Die Hochspannungsschaltanlagen sind durchgängig in zwei unabhängige Pfade aufgeteilt. Neben der Möglichkeit, Maschinengruppen auf das NOK/AEW- wie auch auf das EBL-Netz aufzuschalten, kann somit auch bei Störungen in den Hochspannungsschaltanlagen die Versorgung der Eigenbedarfsanlagen sichergestellt werden (Bild 41).

Die 110(50)-kV- und 6,8-kV-Schaltanlagen

Die beiden Sammelschienen der 6,8-kV-Generatorschaltanlage sind nicht mit einer Längskupplung versehen. Damit ist der maximal auftretende Kurzschlussstrom auf weniger als 40 kA limitiert, was den Einsatz von standardisierten, marktgängigen und somit auch wirtschaftlichen Schaltgeräten ermöglicht.

Eine spätere Spannungserhöhung im NOK-Netz auf 110 kV Nennspannung wurde bei der Projektierung ebenfalls berücksichtigt. Das Spannungsniveau der gasisolierten Hochspannungsschaltanlage wurde für 110 kV spezifiziert, und die beiden Leistungstransformatoren wurden mit einer umschaltbaren Oberspannungswicklung vorgesehen.

Sämtliche Eigenbedarfsanlagen sowie die Hochspannungsschaltanlage mussten im Bereich der ersten beiden Straflo-Maschinengruppen untergebracht werden. Die Generatorschaltanlage, die sich über den gesamten Umbaubereich hinzieht, musste den Bauetappen entsprechend in sieben Teilanlagen aufgeteilt werden; die Teilanlagen der Maschinengruppen S1 bis S4 sowie S5 bis S7 wurden dabei mit isolierten Sammelschienenverbindungen versehen.

Einengend für den Unternehmer waren sicher auch die bedingt durch die bestehenden Gebäudestrukturen vorgegebenen Raumverhältnisse. So ist z.B. die Raumhöhe in der 6,8-kV-Schaltanlage auf 2,68 m beschränkt, was für die Sammelschienenführung spezielle Lösungen bedingte.

Anforderungen an die leittechnische Ausrüstung

Bei der Leittechnik beschränkten sich die Vorgaben auf die Struktur des zu liefernden Systems. Gefordert war ein Leitsystem mit zwei hierarchischen Ebenen.

Die Maschinensteuerebene umfasst sieben identisch aufgebaute Gruppensteuerungen, die jeweils sämtliche für den Betrieb einer Straflo-Maschinengruppe notwendigen Funktionen wie Start/Stop-Automatik, Einzelantriebssteuerung und Alarmmeldesystem beinhalten. Die Maschinensteuerung soll autonom arbeiten und alle möglichen Betriebsfälle steuern und überwachen. Die Ausführung der lokalen Bedieneroberfläche – konventionell oder mittels Bildschirm und Bedientastatur – war dem Unternehmer freigestellt.

Auf einen redundanten Aufbau der Maschinensteuerungen wurde aus wirtschaftlichen Überlegungen verzichtet. Durch die Anzahl von sieben neuen Maschinengruppen war bereits eine gewisse Redundanz gegeben.

Für die Steuerung und Überwachung der 110(50)-kV- und der 6,8-kV-Hochspannungsschaltanlagen sowie der Eigenbedarfs- und Nebenanlagen war der Einsatz weiterer Prozessstationen gefordert.

Die Überwachung und – in beschränktem Umfang – die Steuerung der gesamten Anlage sollte aus dem zentralen Leitstand erfolgen. Für die Beobachtung und Bedienung waren minimal zwei Bildschirme mit zugehöriger Bedientastatur vorgesehen. Die Betriebs-, Störungs- und Alarmmeldungen sollten auf wenigstens zwei Matrixdruckern ausgedruckt werden können.

Für die Bildschirmdarstellung der Prozessbilder war ein hoher Detaillierungsgrad gefordert, so dass auf eine konventionelle Rückmeldetafel (Mosaik) verzichtet werden konnte.

Die Befehlsfunktionen aus dem Leitstand umfassen die Steuerung der Schalter und Trenner der 110(50)-kV-Schaltanlage und die Steuerung der Abgangsschalter der 6,8-kV-Generatorschaltanlage.

Für die Maschinengruppen sollte aus dem Leitstand nur die Start/Stop-Automatik aktiviert werden sowie über Leitapparatöffnung und Spannungsregler die Belastung der Maschinen und der Leistungsfaktor verändert werden können.

Für den Generator- und Anlageschutz betrafen die Vorgaben hauptsächlich die Auflistung der zu erfüllenden Schutzfunktionen wie Differentialschutz, Überstrom- Überlastschutz, Rückleistungs- und Schieflastschutz usw. Der Aufbau der Schutzausrüstungen in Analog- oder in Digitaltechnik wurde offengelassen, was dem Unternehmer wiederum die Möglichkeit bot, eine eigenverantwortliche, wirtschaftliche Lösung zu realisieren.

Die Wasserkraftteilung

Die am meisten einschränkenden Vorgaben mussten im Bereich der Oberwasser-Pegelregelung getroffen werden. Die in der bundesrätlichen Konzession geforderte Stauhaltung auf einer Kote von 261,00 m ü. M. verlangte wohl detaillierte Kenntnisse in der Regulierung von Staustufen, die wesentlich grössere Problematik stellte jedoch die Forderung nach der hälftigen Teilung der nutzbaren Wasserkraft zwischen den Parallelkraftwerken Augst und Wyhlen dar.

Die für die Erfassung der hydraulischen Werte notwendigen Einrichtungen, wie Pegelmessgeräte, Turbinengefällsmessungen mittels Differenzdruckmessung, Stellungsmessungen der Turbinenöffnungen, wurden vom Ingenieur detailliert spezifiziert.

Als einzige mit genügender Genauigkeit erfassbare Messgrösse für die Wasserkraftteilung stellte sich die von jeder Turbinen-Generatoreneinheit erzeugte elektrische Energie dar. Wird diese mittels anlagespezifischer Korrekturfaktoren gewichtet, die den unterschiedlichen hydraulischen Verhältnissen Rechnung tragen, so lassen sich Wasserkraftzähler bilden, die eine nachvollziehbare hälftige Teilung zwischen den Kraftwerken Augst und Wyhlen ermöglichen.

Diese Lösung vereinfacht auch den Einbezug der in beiden Kraftwerken in unterschiedlicher Zahl noch vorhandenen Francis-Maschinengruppen, deren Energiewerte, gewichtet mit den entsprechenden Korrekturfaktoren, ebenfalls in die Wasserkraftteilung mit einbezogen werden können.

8.2 Ausführung der elektrischen Ausrüstung

Hans Fellmann, Peter Steiner, Holger Brückner

Ein komplexes Bauvorhaben, wie es der Umbau des Kraftwerkes Augst darstellt, zwingt zu einer sehr sorgfältigen Analyse, in welche Teillose das Projekt gegliedert werden soll . Dabei muss insbesondere auf die technischen und funktionellen Vernetzungen innerhalb solcher Lose geachtet werden. Je kleiner die Anzahl Teillose ist, um so geringer ist der Koordinationsaufwand. Die Gefahr von Kostenüberschreitungen kann stark vermindert werden.

Die Kraftwerk Augst AG entschied, sämtliche elektrischen Ausrüstungen für den Kraftwerksbau als Gesamtpaket in Generalunternehmerverantwortung der Firma GEC Alsthom – Cegelec Projects AG in Oberentfelden, vormals Sprecher Energie Gesamtanlagen, zu übertragen. Diese Art der Auftragsvergabe ist auf dem Gebiet der Energieerzeugung und -verteilung in der Schweiz noch wenig verbreitet.

Der Generalunternehmer ging dabei die folgenden Verpflichtungen ein: Der Generalunternehmer erbrachte die

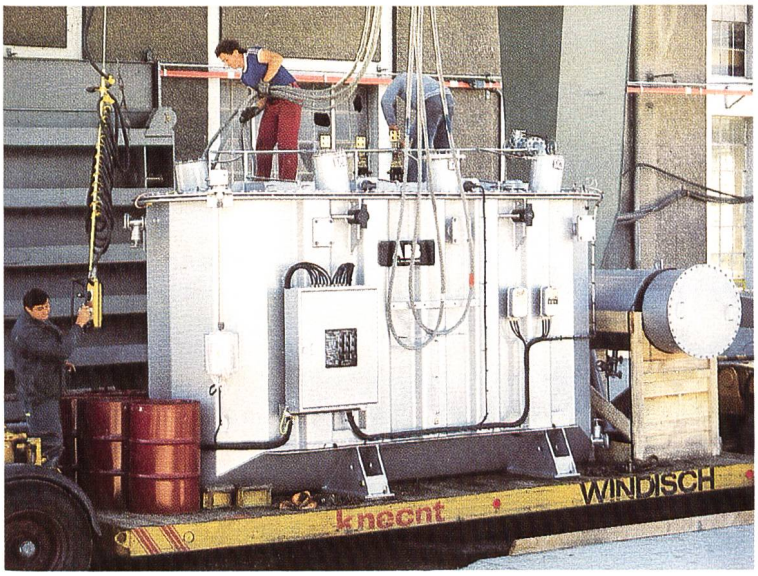


Bild 42. Einer der beiden 21-MVA-Transformatoren. Die Oberspannungswicklungen sind von 50 auf 110 kV umschaltbar.

Bild 43. Dreiphasig gekapselte, SF_6-isolierte 110-kV-Schaltanlage Typ B312 von Sprecher Hochspannungstechnik.

Bild 44. Jede Maschinengruppe hat ihren eigenen Vorortssteuerschrank mit digitalem Turbinenregler, Maschinenschutz, Prozessrechner und Vororts- Mess- und Bedienungsstelle.

gesamte angebotene Lieferung und Leistung in eigener Verantwortung und Haftung. Er koordinierte und vertrat vollumfänglich seine Unterlieferanten. Er haftete für deren sowie seine eigenen Lieferungen und Leistungen. Die Verpflichtungen reichten über eine reine Lieferung von Material und Dienstleistungen hinaus. Er verpflichtete sich zusätzlich für das einwandfreie Funktionieren der vom Kunden angestrebten Gesamtlösung. Für die Einhaltung der Leistungs- und Terminziele hinterlegte er finanzielle Garantien.

Daraus resultierten für den Bauherrn eine Reihe von Vorteilen, von denen die wichtigsten kurz erwähnt seien:
- Funktionsgarantie
- garantierte Projektkosten und Fertigstellungstermine
- Nutzung von Erfahrungspotential des Generalunternehmers bei der Projektabwicklung
- hoher Qualitätsstandard durch langjährige Zusammenarbeit mit ausgewählten Lieferanten
- ein einziger Partner für den gesamten Lieferanteil

Die Qualitätssicherung hat bei der Realisierung von Generalunternehmerprojekten einen hohen Stellenwert. Bei Kraftwerksprojekten können Qualitätsmängel zu Betriebsunterbrüchen und als Folge davon zu beachtlichen Ertragsausfällen führen.

Anlagengeschäfte sind gekennzeichnet durch sehr auftragsspezifische Projektierungen und Ingenieurleistungen. Damit die Qualität den subjektiven Einflüssen der projektierenden Mitarbeiter weitgehend entzogen wird, kommen der Festlegung der Anlagenkonzeption, der gewählten Engineering-Methodik sowie dem Einsatz der Hilfsmittel für die Projektierung und Abwicklung grosse Bedeutung zu.

Die elektrische Ausrüstung des Kraftwerkes

Durch den Einbau moderner Straflo-Turbinengruppen wurden Räume im bestehenden Maschinenhaus frei für die Unterbringung der elektrischen Ausrüstung. Die Hoch- und Mittelspannungs-Schaltanlagen, die Leistungs- und Eigenbedarfstransformatoren, die Schutz- und Leittechnik sowie die umfangreichen Eigenbedarfsanlagen konnten durch bauliche Massnahmen optimal in das bestehende Gebäude integriert werden.

Hoch- und Mittelspannungs-Schaltanlagen

Die Energie wird von den sieben Generatoren in eine 6,8-kV-Generatorschaltanlage mit unterteilter Sammelschiene abgeleitet. Dazu wurde eine metallgekapselte Schaltanlage des Typs PA 104 von Sprecher Mittelspannungstechnik eingesetzt. Diese Anlage wurde in sieben Teileinheiten aufgeteilt, die untereinander mit vollisolierten Sammelschienen verbunden sind.

Die erzeugte Energie kann sowohl ins Netz des Aargauischen Elektrizitätswerkes (AEW) als auch in dasjenige der Elektra Baselland (EBL) eingespiesen werden. Das Netz der EBL ist zum NOK/AEW-Netz um 30° phasenverschoben. Für die Energielieferung in dieses Netz müssen deshalb einzelne Maschinengruppen entsprechend aufsynchronisiert werden.

Das NOK/AEW-Netz wird heute im Raum Fricktal-Rheinfelden noch mit 50 kV betrieben, wird aber in absehbarer Zeit auf 110 kV umgebaut. Die Umspannung erfolgt deshalb mit zwei von 50 kV auf 110 kV umschaltbaren Leistungstransformatoren von je 21 MVA.

Nach Umstellung des NOK-Netzes auf 110 kV ist für die Verbindung der beiden 6,8-kV-Sammelschienen mit dem 50-kV-Netz der EBL ein zusätzlicher Dreiwicklungstransformator vorgesehen.

Als Verteilanlage wurde von Sprecher Hochspannungstechnik eine moderne, 3phasig gekapselte, SF_6-isolierte 110-kV-Schaltanlage Typ B312 geliefert. Dank der günstigen Anordnung der Anlage im Gebäude konnte der für die Montage sehr vorteilhafte feldweise Transport ausgenützt werden (Bild 43).

Der Anschluss der 110-kV-Kabel an die Schaltanlage erfolgte mit steckbaren Anschlüssen. Diese Anschlussart hat den Vorteil, dass die Konen im voraus montiert und die Kabel vor dem Anschluss an die Anlage ausgeprüft werden können.

Leittechnik

Die Leittechnik war ebenfalls Teil des Generalunternehmerloses.

Dadurch konnten die Unterlieferanten für die leittechnische Ausrüstung in die Gesamtlieferung eingebunden werden. Sämtliche Befehle, Signale, Alarme und Rückmeldungen mussten erfasst, aufgelistet und den einzelnen leittechnischen Komponenten zugeordnet werden. In enger Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Turbinen-Generator-Gruppen wurden die Anfahr- und Abstellsequenzen definiert.

Die gemeinsame Wasserregulierung der Kraftwerke Augst und Wyhlen musste ebenfalls in die Leittechnik integriert werden. Der übergeordneten Koordination mit den anderen Unternehmern und den eigenen Unterlieferanten musste hier besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Anlagenschutz

Kraftwerksanlagen sind kostenaufwendig. Es ist deshalb naheliegend, dass dem Schutz der Anlageteile grosse Bedeutung beigemessen wird.

Der gesamte Schutz wurde so konzipiert, dass im Fehlerfall nur der fehlerbehaftete Teil vom Netz getrennt wird. Der sichere Betrieb des Kraftwerkes ist nach einem aufgetretenen Fehler auch im unbesetzten Betrieb gewährleistet. Der

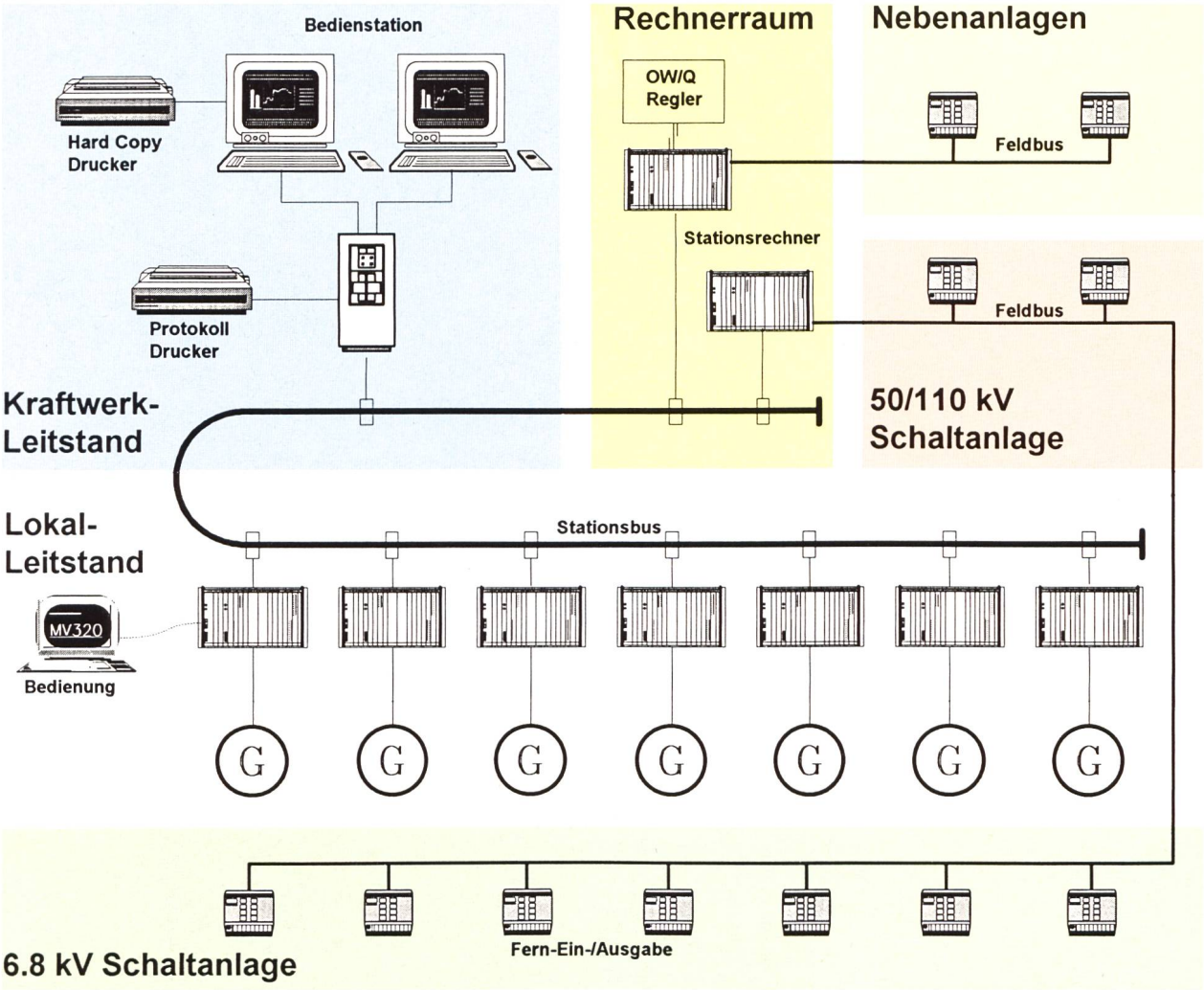


Bild 45. Struktur der Leitanlage.

Schutz arbeitet völlig unabhängig vom Leitsystem. Er überwacht sich selbst und meldet Fehler über das Leitsystem an den Leitstand. Für den Schutz der Generatoren und Leistungstransformatoren werden mikroprozessorgesteuerte, digitale Schutzrelais verwendet. Die baugleichen Relais unterscheiden sich für die verschiedenen Schutzfunktionen lediglich in der Programmierung.

Der Schutz der Generatoren und Transformatoren reagiert nicht nur bei elektrischen Fehlern der Anlageteile, sondern auch bei Störungen im mechanischen Bereich (z. B. zu grosse Vibrationen, zu hohe Temperaturen).

Sowohl für die 50/110-kV-Sammelschiene als auch für die beiden 6,8-kV-Sammelschienen ist ein Sammelschienenschutz vorhanden. Für die 6,8-kV-Sammelschienen wurden ein selektiver Erdschlussschutz und ein Schalterversagerschutz realisiert. Der Schutz der in die Verteilnetze abgehenden Leitungen wurde mit jeweils einem Distanzschutz sowie einem Reserveschutz ausgerüstet).

Eigenbedarfsanlagen

An die Eigenbedarfsversorgung in einem Kraftwerk werden erhöhte Anforderungen gestellt, gilt es doch, bei einem Ausfall der Verbindungen zu den 50-kV- und 110-kV-Netzen oder bei internen Störungen einen Notbetrieb jederzeit gewährleisten zu können. Dieser Notbetrieb muss vor allem die Wehrbedienung und den Einsatz der Drainagepumpen ermöglichen.

Aus diesem Grunde sind alle Eigenbedarfsanlagen sowohl auf der Wechselspannungs- als auch auf der Gleichspannungsseite mit einer Redundanz von 2 × 100 % ausgelegt. Zusätzlich besteht noch die Möglichkeit, die Energie über eine 6,8-kV-Verbindung vom Kraftwerk Wyhlen zu beziehen.

Die Wechselspannungsverbraucher 400/230 V sind in drei Gruppen verschiedener Priorität eingeteilt:

- Verbraucher höchster Priorität (Leittechnik und Notbeleuchtung) sind an eine unterbruchsfreie Stromversorgungsanlage (USV) angeschlossen.
- Verbraucher 2. Priorität (z. B. Drainagepumpen, Wehrsteuerung) sind an die beiden Verteilschienen NOT 1 und NOT 2 angeschlossen und mit automatischen Umschalteinrichtungen ausgerüstet.
- Alle übrigen Abgänge sind auf die Normalschiene geschaltet.

Zur Sicherung der Eigenbedarfsversorgung wurde ein Umschaltprogramm erstellt, das beim Ausfall einer Eigenbedarfseinspeisung automatisch nach Möglichkeiten zur Wiederherstellung der Versorgung von einer anderen Quelle sucht und die notwendigen Schalthandlungen auslöst. Dieses Programm gewährleistet, dass auch bei unbesetztem Betrieb die Eigenbedarfsversorgung nach einem Ausfall möglichst rasch wieder hergestellt ist.

Bild 46. Von den zwei Bildschirmterminals in der Kraftwerksleitstelle wird die Anlage bedient und überwacht.

Für die Versorgung von Erregungsanlage, Steuerung, Schutz und Signalisierung sind Batterieanlagen für 48 V und 110 V vorhanden.

Verkabelung

Mit der Verkabelung im Kraftwerk muss der Energie- und Signalfluss zwischen den einzelnen Anlagekomponenten sichergestellt werden. Der richtigen Wahl der Kabel wurde deshalb die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt.

Der Einsatz von Blindböden im Bereich der Steuerungen, der Mittel- und Niederspannungs-Schaltanlagen und im Leitstand ergab eine grosse Freiheit für die Kabelverlegung. In den andern Bereichen wurden Kabelkanäle erstellt oder entsprechende Kabeltragsysteme installiert.

Weitere Ausrüstungen

Für die Signalisierung von Rauchgas- oder Brandentwicklung wurden in sämtlichen zu überwachenden Räumen Ionisations- und optische Detektoren installiert und in einer Brandmeldezentrale zusammengefasst.

Die Leistungstransformatorenzellen sind mit fest installierten CO_2-Löschanlagen ausgerüstet, die im Brandfall automatisch auslösen.

Um in einem Erdschlussfall den Fehlerstrom gefahrlos ableiten zu können, wird die Gebäudearmierung in das Erdnetz einbezogen. Zusätzlich verlegte und mit der Armierung verbundene Flachstahlbänder garantieren einen geringen Erdübergangswiderstand.

Erfahrungen

Dank der optimalen Zusammenarbeit zwischen dem Auftraggeber, dem Ingenieur, den andern Auftragnehmern und den Unterlieferanten konnten die einzelnen Maschinengruppen teilweise über einen Monat früher als geplant in Betrieb gesetzt werden. Bedingt durch die Vergabe in wenige, klar abgegrenzte Lose, war der Koordinationsaufwand gering. Dadurch konnte die Kapazität der beteiligten Ingenieure auf die Lösung der oft komplexen Aufgaben konzentriert werden. Die Vergabe in Generalunternehmerverantwortung bewährte sich bei diesem Projekt zum Vorteil aller Beteiligten.

8.3 Leittechnik und Maschinenschutz

Helmut Cvetko

Für den mehrjährigen Umbau des Kraftwerkes war ein Leit- und Schutzsystem erforderlich, das Schritt für Schritt zu einem Gesamtsystem ausgebaut werden konnte. Schutz und Kraftwerksführung waren auf die verschiedenen Umbauphasen abzustimmen. Eine Architektur mit dezentralen Funktionsblöcken, die etappenweise zu einem durchgängigen System zusammengefügt werden konnte, war gefordert.

Systemstruktur

Als Leitanlage für den gesamten Kraftwerksbereich ist das ABB-Hydro-Power-Control-System HPC 300 eingesetzt. HPC 300 besteht aus neun leistungsstarken Prozessstationen, einer Bedienstation und Kommunikationsbussen. Die Prozessstationen sind den sieben Maschinengruppen, der 50-kV- und der 6,8-kV-Schaltanlage und den Nebenanlagen zugeordnet. Zur Kabelreduktion und als EMV-Barriere wird der Datenaustausch zur Schalt- und zu den Nebenanlagen mit dezentralen Fern- Ein-/Ausgabeeinheiten (RIO) hergestellt. Die Kommunikation zwischen der Prozessstation und den RIO-Geräten erfolgt seriell über Koaxialkabel und Lichtwellenleiter (Bild 45).

Für jede Maschinengruppe und die Schaltanlage sind die logischen Abläufe und Überwachungsfunktionen als Standard-Softwaremodule in die Prozessstationen eingespeichert. Die Schutzfunktionen sind aus Sicherheitsgründen auf zwei getrennte Funktionsblöcke verteilt. Die elektrischen Werte werden im numerischen Generatorschutz ABB REG 216, die mechanischen und thermischen Werte in der Prozessstation ABB MasterPiece 200/I überwacht. Messwerterfassung und Auswertung sind zu einem grossen Teil redundant ausgeführt.

Systemeigenschaften

Die Prozessstationen ermöglichen die Funktionen: Datenakquisition, Plausibilitäts- und Grenzwertüberwachung, Antriebssteuerung, Sequenzsteuerung, Sollwertverstellung und Datenspeicherung. Die Bedienstation ABB MasterView 830 ist menügeführt. Der Dialog zwischen den Prozessstationen und der Bedienstation wird über den Stationsbus ABB MasterBus 300 hergestellt. Die Übertragungsrate beträgt 10 MBit/s.

Im Leitrechner der zwei Bedienstationen sind die Programme für die Datenverwaltung und die Masken für die Bedienungsoberfläche vorprogrammiert. Alle eingeblendeten dynamischen Prozessdaten werden aus den verteilten Datenbanken in den Prozessstationen abgerufen. Dieses Prinzip ermöglicht eine chronologische Zeitauflösung $\leq$10 Millisekunden. Die Bedienungskonsolen sind anwenderfreundlich, sie verfügen über kraftwerkspezifische Funktionstasten.

HPC 300 und REG 216 besitzen integrierte Eigendiagnosefunktionen. Fehlerhafte Komponenten werden auf dem gestörten Einschub und auf den Bedienungsstationen signalisiert.

Bedienungs- und Führungshierarchie

Die Prozessführung ist aufwärtsorientiert. Die Zugriffsmöglichkeiten sind: Vorort, die Lokalleitstelle, die zentrale Kraftwerksleitstelle und ab Oberwasser-Durchflussregelung. Die Zugriffsberechtigung wird mit Wahlschaltern bestimmt, wobei mit der Anwahl einer Bedienungshierarchie die Befehle von darüberliegenden Bedienungsorganen blockiert werden. Neben der Bedienungshierarchie ist auch die Betriebsart, Hand oder Automatik, vorwählbar.

Die Vorortbedienung ist für Inbetriebnahme- und Wartungszwecke vorgesehen. Sie befindet sich direkt bei den Antrieben, den Unterverteilungen oder bei den Subsystemen wie Erregung und Schaltanlage. Verriegelungen sind auf ein Minimum beschränkt.

Die Lokalbedienung ist nur den Maschinengruppen zugeordnet. Der Maschinenleitstand ist eine vollwertige Leitstelle, von dem die Maschinen im Hand- oder automatischen Betrieb geführt werden können. Bedienung und Anzeige erfolgen über Tasten und Anzeigeinstrumente. Parallel zur konventionellen Bedienung ist der Maschinensatz auch mit einem einsteckbaren Bildschirmterminal steuerbar. Diese Variante hat eine höhere Informationstiefe.

Die Kraftwerksleitstelle ist die Führungsebene für den gesamten Kraftwerksbereich. Sie besteht aus zwei Bildschirmterminals, Ereignis- und Alarmdrucker und einem Hardcopy-Printer. Die 8000 Prozessdaten sind auf Displays mit grafischen Prozessbildern, Trendkurven, Ereignis-Alarmtabellen oder Betriebsprotokollen dargestellt. Betriebsprotokolle werden zyklisch ausgedruckt, andere auf Abruf. Die Befehlsabgabe ist menügeführt (Bild 46).

Der Oberwasser-/Durchflussregler ist als Optimierungsregler das oberste Glied in der Führungshierarchie. Er reguliert die behördlich vorgeschriebenen Stauziele und Durchflussmengen. Die Sollwertvorgaben für den Durchfluss werden direkt an den Turbinenregler und an die Wehröffnungen abgegeben.

Betriebserfahrungen

Das Leitsystem für die erste Maschine wurde im September 1992 in Betrieb genommen. In Abständen von drei Monaten erfolgte die Eingliederung von weiteren Maschinengruppen, der Schalt- und Nebenanlagen.

Die bis heute gemachten Betriebserfahrungen sind durchaus positiv. Bewährt haben sich die verteilten Datenbanken in den Prozessstationen, die dezentralen Ein-/Ausgabegeräte und die selbstkonfigurierenden Bussysteme.

Gut aufgenommen worden ist die Prozessführung ab den Bildschirmterminals. Der hohe Informationskomfort und die einfache Bedienung haben von Beginn an überzeugt.

Mit gezielter Schulung ist das Kraftwerkspersonal in die Lage versetzt worden, die Bedienstationen und Servicegeräte optimal zu nutzen und zukünftige Anpassungen selbst auszuführen.

8.4 Oberwasserregulierung

Franz Elmiger, Roland Sachs

Die Wasserhaushaltsautomatik ist von zentraler Bedeutung für den Betrieb der beiden Kraftwerke Augst und Wyhlen. Die zum Teil aussergewöhnliche Aufgabenstellung erforderte eine effiziente Zusammenarbeit zwischen Betreiber, planender Ingenieurunternehmung und Lieferanten.

Zielsetzungen

- Einhalten des Stauzieles mit wenigen Stellbefehlen
- Optimale Energieerzeugung durch geschicktes Nutzen des Wasserangebotes
- Minimieren der Abflussschwankungen mit Rücksicht auf die Unterlieger, die Schiffahrt und die Fischerei
- Berücksichtigen der Schiffsschleusungen durch den Wasserstandsregler
- Exaktes Aufteilen der «Wasserkraft» auf die beiden Kraftwerke Augst und Wyhlen
- Kurze Inbetriebsetzung durch Verwendung von Simulationsmodellen
- Sorgfältiges Auswählen und Plazieren von Messwertaufnehmern angemessener Präzision und grosser Langzeitstabilität
- Hohe Betriebssicherheit durch redundantes Messen der wichtigen Grössen und konsequentes Überwachen aller Signale und Befehle

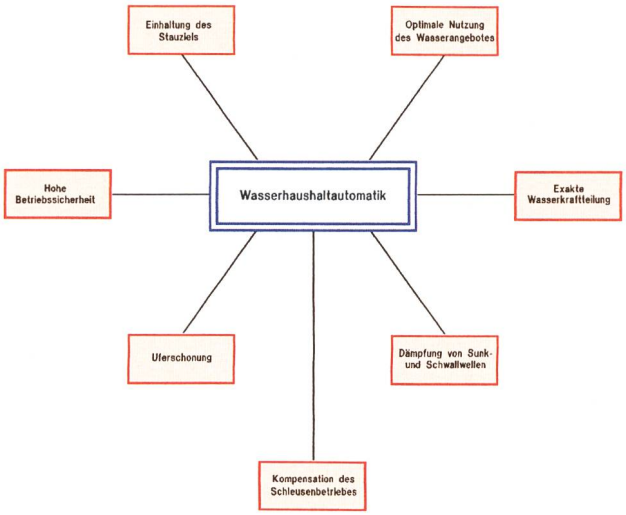


Bild 47. Aufgaben der Wasserhaushaltautomatik.

Hauptfunktionen

Wasserkraftteilung

Laut Konzession muss die «Wasserkraft» je hälftig auf die beiden Kraftwerke aufgeteilt werden (Bild 48).

Die Maschinenanlagen sowie die Strömungsbedingungen in Augst und Wyhlen sind beinahe gleich. Die Leistungen ($Q * \Delta H *$ Wirkungsgrad) von Augst und Wyhlen sind somit proportional zur Wasserkraft ($Q * \Delta H$). Das Produkt dieser Wasserkraft, nämlich die elektrische Energie, ist einfach und mit grosser Genauigkeit über Energiezähler erfassbar.

Die Forderung nach hoher Energieproduktion aus der gesamten Staustufe Augst-Wyhlen führte zu einem Konzept (Bild 48), das auf «asymmetrischem» Turbinenbetrieb basiert, d. h. die Straflo-Gruppen in Augst und Wyhlen werden alternierend zugeschaltet (1 × Augst, 1 × Wyhlen). Solange nur die neuen Maschinen betrieben werden, beträgt der Unterschied zwischen Augst und Wyhlen somit höchstens eine Maschine. Beim Zu- oder Abschalten wird jeweils diejenige Seite bevorzugt, die den tieferen bzw. höheren Zählerstand im Wasserkraftzähler aufweist. Berechnungen zeigen, dass mit diesem «asymmetrischen» Betrieb eine Mehrproduktion von ca. 2 GWh pro Jahr erreicht werden kann.

Die automatische Wasserkraftteilung ist solange in Betrieb, bis beide Kraftwerke mit je 6 Straflos voll turbinieren (d. h. bis ca. 1100 m^3/s). Ab diesem Zeitpunkt wird die einfache Aufsummierung in den Wasserkraftzählern ausgesetzt und durch ein neues Regime ersetzt. Bei Maschinenausfällen, z. B. Revision, gelten spezielle Bedingungen mit Einbezug von Francis-Maschinen.

Als Basis für die automatische Wasserkraftteilung wird die «genaue» Energiemessung verwendet. Der Hydraulikleitrechner verarbeitet die kWh-Impulse unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebsbedingungen mittels Korrekturfaktoren.

OW/Q-Regulierung

Die Einhaltung des Stauzieles im Stauraum der beiden Kraftwerke Augst und Wyhlen ist die wichtigste Aufgabe der Wasserstandsregelung. Unabhängig von der stark schwankenden Wasserführung des Rheins muss der Oberwasserpegel konstant gehalten werden. Für diese Aufgabe bewährt sich in Flusskraftwerken die übliche Kaskadenregulierung (Bild 49).

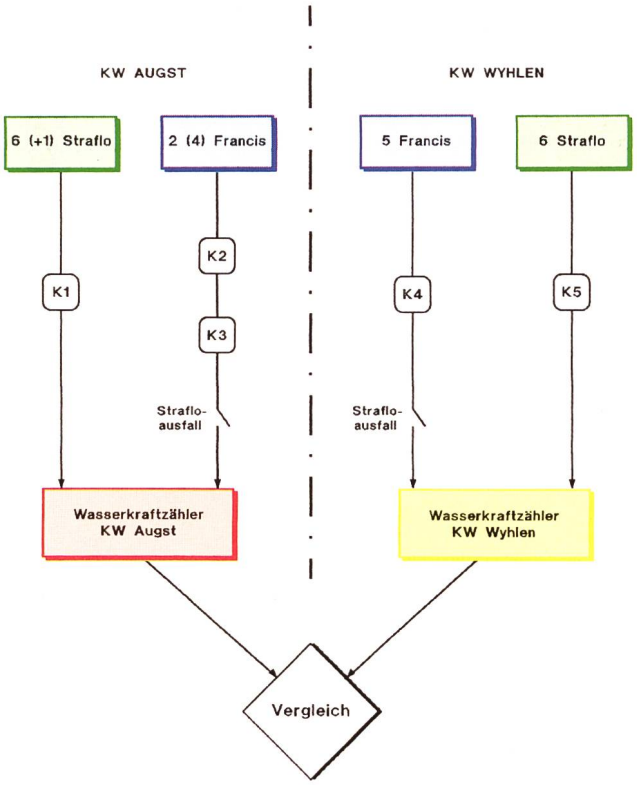


Bild 48. Konzept für die Wasserkraftteilung. K = Korrekturfaktoren.

Die unterschiedlichen, nicht linearen Abflussorgane wie Straflo- und Francis-Turbinen, Rollschützen und Eisklappen erfordern mehrere Abflussregler. Der vorgeschaltete Führungsregler vergleicht den Ist-Pegel mit dem Soll-Pegel und berechnet aus der Differenz eine Abflussvorgabe Q_{Soll}. Entsteht eine Differenz zwischen dem Soll- und Ist-Oberwasserpegel, gibt der Regler umgehend die notwendigen Befehle an entsprechende Stellglieder, bis der Ist-Wasserstand wieder dem Soll-Wert entspricht. Der Führungs- resp. Pegelregler berücksichtigt auch die Pegel des Oberliegers Rheinfelden und der Schleuse. Durch gezieltes Aufteilen auf die verfügbaren Abflussorgane wird das Wasserangebot optimal genutzt. Der vom Führungsregler vorgegebene Abfluss-Sollwert Q_{Soll} wird auf die sechs Abflussregler verteilt. Die Belastung der verfügbaren Turbinen mit optimalem Wirkungsgrad hat erste Priorität. Ein eventuell verbleibendes Wasserangebot wird über das Wehr abgeführt. Es ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Turbinen- und Wehrverschlusstypen gleiches integrierendes Verhalten, aber sehr verschiedene Zeitkonstanten aufweisen. Der ölhydraulisch angetriebene Leitapparat einer modernen Straflo-Maschine wird in etwa einer Minute über den ganzen Bereich verstellt. Die mechanisch angetriebenen Eisklappen benötigen dagegen rund 15 Minuten (Bild 50).

Die ufer- und materialschonende Steuerung der Wehrverschlüsse ist eine weitere wichtige Aufgabe der Oberwasserregelung. Die sogenannte «Vorlaufschaltung» erlaubt die Einstellung eines beliebigen Abflussprofiles. Für die Staustufe Augst-Wyhlen entspricht dieses Wunschprofil ungefähr einer Parabel, d. h. die mittleren Wehrschützen (5 und 6) öffnen zuerst, wobei vorab bereits alle vier Eisklappen geöffnet werden.

Soll Wasser durch eine noch geschlossene Wehrschütze abfliessen, steuert der Regler die entsprechenden Schütze in einem Schritt auf die voreingestellte Minimalöffnung von z. B. 50 cm. Dieser Erstschritt wird durch entsprechende Schliessbewegungen der bereits vorher geöffneten Eisklappen kompensiert.

Die elektrischen Steuerkreise aller Wehrverschlüsse der achtzigjährigen Schützensteuerung wurden dem automatischen Wehrbetrieb angepasst.

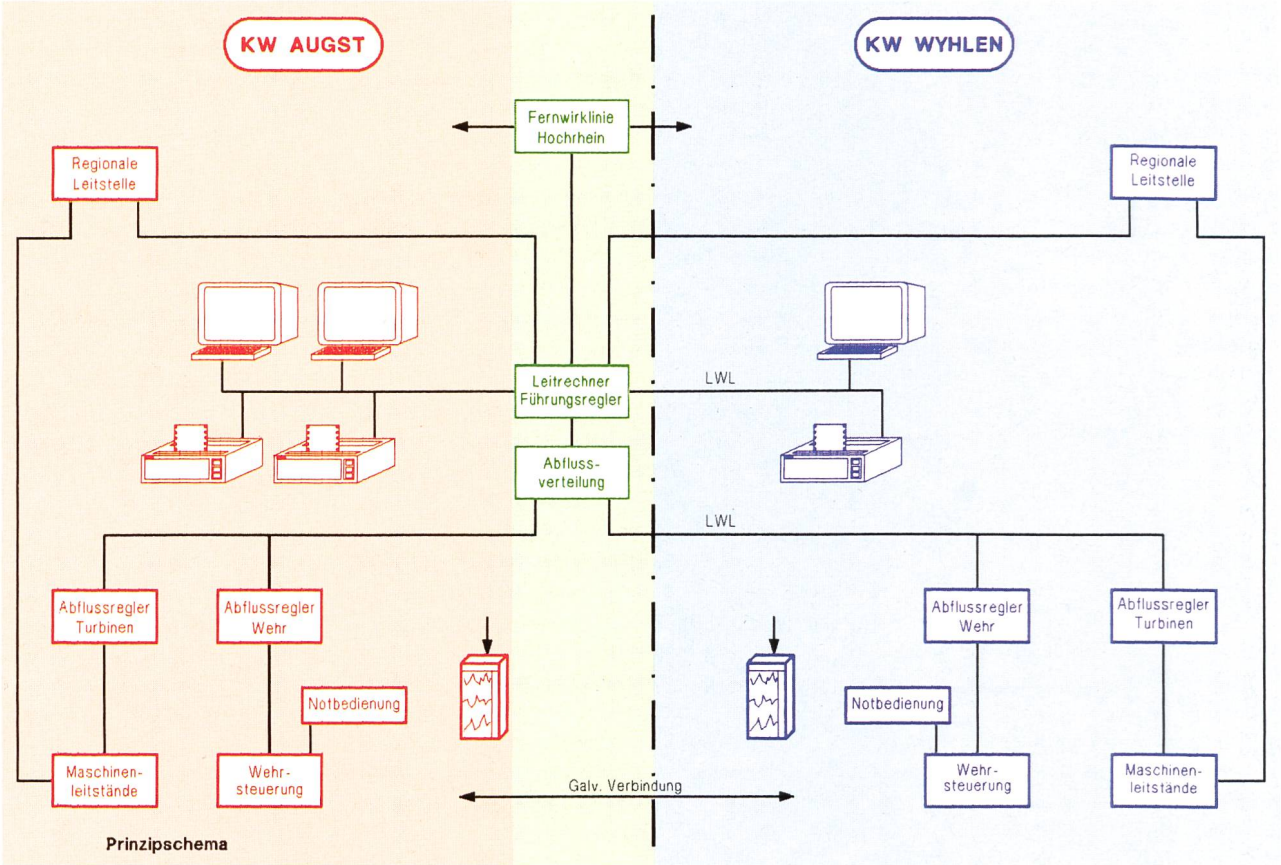


Bild 49. Prinzipschema der OW/Q-Regelung.

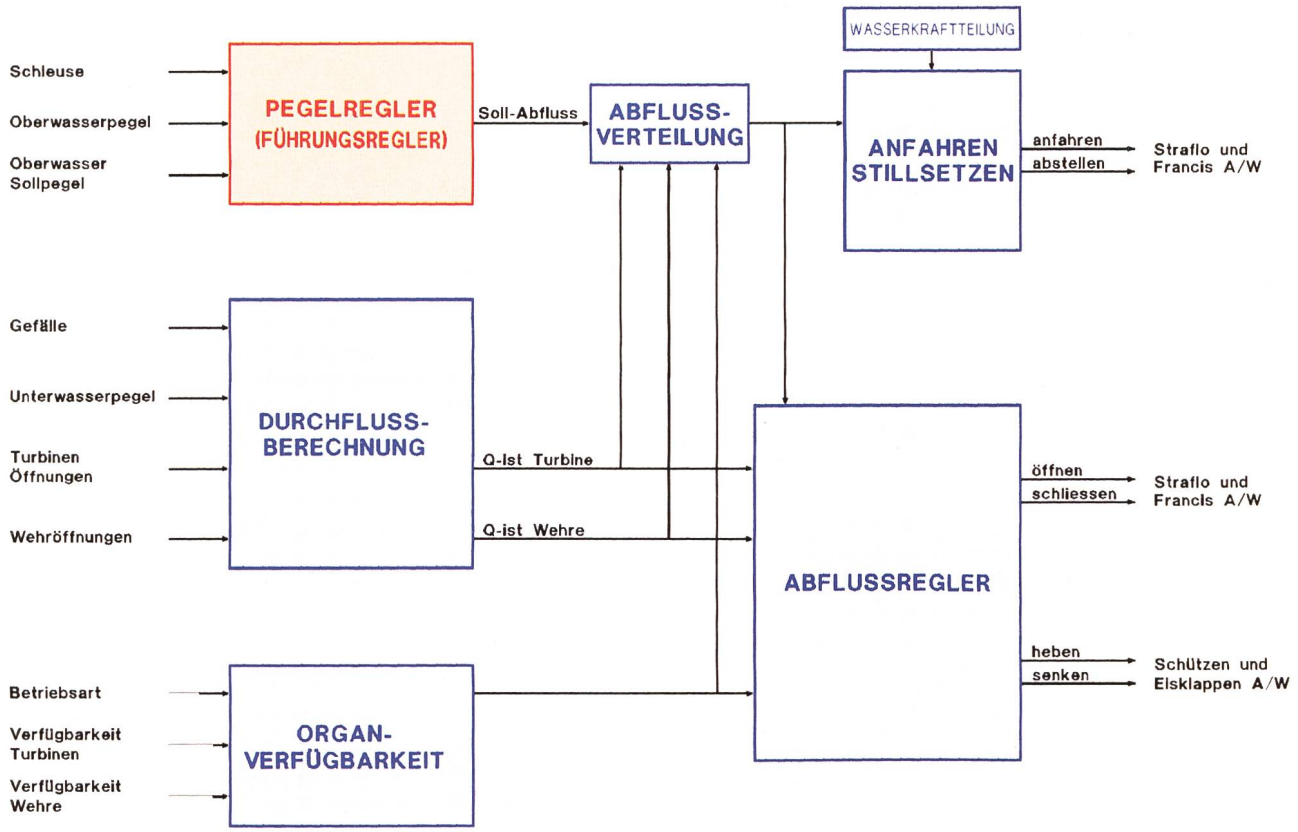


Bild 50. Prinzip der OW/Q-Regelung Augst-Wyhlen.

Der Hydraulikleitstand im Kraftwerk Augst und der Leitstand im Kommandoraum des Kraftwerks Wyhlen erlauben beiden Staustufenpartnern, den Hydraulikleitrechner zu überwachen und unabhängig vom Rechner die Wehrverschlüsse ihrer Wehrhälfte fernzubedienen. Mit Hilfe der sogenannten Zielkotensteuerung kann damit jede Wehrschütze und jede Eisklappe auf eine gewünschte Öffnungsstellung gefahren werden.

Je eine Wehr-Notsteuerung im Leitstand Augst bzw. im Kommandoraum Wyhlen ermöglicht beiden Kraftwerkspartnern, jede Wehrschütze und Eisklappe von Hand fernzubedienen. Das entsprechende Bedienfeld im Notsteuerschrank Augst resp. im Blindschaltbild des Kraftwerkes Wyhlen enthält die notwendigen Anzeigen, Bedienelemente und Registrierungen.

Die Dämpfung von Sunk- und Schwallwellen ist auf der dicht ausgebauten Flussstrecke des Hochrheins von besonderer Bedeutung. Ohne spezielle Massnahmen können sich Schwankungen in der Wasserführung von Staustufe zu Staustufe verstärken. Eine Dämpfung wird erreicht durch optimales Abstimmen der Regelparameter auf die Wasserführung jeder einzelnen Kraftwerksstufe und durch Störgrössenaufschaltung des Oberliegerabflusses. Diese Aufschaltung wird dem Verhalten des Stauraumes exakt angepasst und damit der herannahende Schwall durch Vorabsenken des Stauraumes gedämpft.

Der Schleusenbetrieb wirkt sich ohne Gegenmassnahme störend auf den Wasserhaushalt aus. Eine Schleusenfüllung beeinflusst den Oberwasserpegel Augst, eine Leerung den Unterwasserkanalpegel. Die Schleusentoröffnungen sowie der Kammerpegel werden deshalb dem Oberwasserregler als Störgrössen aufgeschaltet.

Fernwirksystem Hochrhein

In einer Kraftwerkskette ist der Gesamtabfluss des jeweiligen Oberliegers die wichtigste Grösse für die Dämpfung von Sunk- und Schwallwellen. Diese Messwerte werden zusammen mit einigen weiteren wichtigen Signalen über das vorhandene Ridat-Fernwirksystem (die sogenannte «Hochrheinschiene»), welches von den Schluchseewerken betrieben wird, übertragen. Jede der angeschlossenen Kraftwerkstufen erhält die momentanen Abflusswerte eines Oberliegers und übermittelt gleichzeitig seinen eigenen Gesamtabfluss an den Unterlieger. Damit ist ein Daten- und Informationsaustausch via werkseigene oder PTT-Standleitungen sowie TFH-Strecken (Trägerfrequenz über Hochspannungsleitungen) gewährleistet.

Systemtechnik

Die Hardware ist mit wenigen Grundkomponenten modular aufgebaut und jederzeit ausbaubar. Eine Testanzeige ermöglicht die Kontrolle aller Ein- und Ausgänge.

Die Software setzt sich aus Standardmodulen zusammen. Diese bewährten und ausgetesteten Bausteine werden im Dialogverfahren miteinander verknüpft, um so die anlagenspezifischen Funktionen zu realisieren (Konfigurierung). Für den Dialog dienen das Datensichtgerät und die Tastatur. In der Software sind alle für die anwenderspezifischen Verknüpfungen notwendigen Funktionen enthalten. Es ist kein zusätzliches Programmiergerät notwendig. Eine zutreffende Dokumentation kann jederzeit ausgedruckt werden. Die Datenkommunikation zwischen verschiedenen dezentral angeordneten Teilsystemen und dem abgesetzten Leitstand Wyhlen erfolgt via serielle Schnittstellen über Glasfaser- und Signalkabelverbindungen. Ein Hydraulikleitrechner «Ridat HPA» gewährleistet die benutzerfreundliche Prozessführung. Als MMI (Mensch-Maschinen-Interface) dienen hochauflösende Farbbildschirme und Bedientastaturen, welche einen schnellen Zugriff zu den Daten des gesamten Wasserhaushaltes von den Leitständen Augst und Wyhlen aus ermöglichen.

Auf dem Hydraulikleitrechner können Prozessbilder, Ereignisse, Messwerttabellen und Kurvengrafiken dargestellt werden. Archivierungsbausteine ermöglichen es, Mess-

und Zählwerte sowie Meldungen und Alarme nach Bedarf auf Magnetbändern zu speichern und auszudrucken.

Das geschlossene Überspannungsschutz-Konzept verhindert Beschädigungen infolge Blitzschlag oder infolge transienter Überspannungen, die bei Schalthandlungen oder Störungen im Netz auftreten können. Ein angepasstes Sortiment von Schutzgelementen schützt die elektronischen Geräte gegen Überspannungen und Störimpulse.

Messtechnik

Oberwasserpegel

Eine Präzisionsdruckwaage mit Druckluftkompressor und Notstromversorgung misst den Pegel OW1 pneumatisch über den Bereich von ± 1,5 m bezogen auf den Konzessionswasserstand von 261,00 m ü. M. und gibt den Messwert digital, in Gray Code, ab.

Eine zweite, redundante Messung mit einer piezoresistiven Tauchsonde erfasst den Bereich von ± 0,5 m ab Konzessionspegel und überträgt den Messwert als Analogsignal. Die komplette Ausrüstung ist in einer Freiluft-Kunststoffkabine am Rheinufer aufgestellt.

Der Oberwasserpegel ist die wichtigste Grösse für den Wasserhaushalt, der Hydraulikleitrechner wird deshalb mit vier Oberwasser-Pegelmesswerten versorgt. Für die Pegelregelung arbeitet er im Normalfall mit dem Mittelwert der stufenlosen Tauchsonden-Feinmessungen in Augst und Wyhlen. Fällt ein Messwert aus, so erfolgt eine Alarmierung und gleichzeitig eine automatische Umschaltung auf die entsprechende, langzeitstabile Druckwaage. Sollte auch der letzte Pegel ausser Betrieb kommen, wird dessen letzter Messwert eingefroren und gleichzeitig ein Alarm ausgelöst. Der Oberwasserregler kontrolliert auch laufend die Abweichung zwischen den beiden Analogwerten der Tauchsondenmessungen in Augst und Wyhlen und vergleicht diese mit der vorgegebenen zulässigen Pegelabweichung. Bei Überschreiten dieses Wertes erfolgt ein Alarm.

Rechengefälleüberwachung

Die Rechengefälle der Straflo-Maschinen und der Francis-Maschinen Wyhlen werden mit je einem elektromechanischen/pneumatischen Differenzdruckschalter überwacht.

Gefälle der Straflo-Maschinen

Je ein Differenzdrucktransmitter misst pneumatisch das Gefälle zwischen dem Einlauf und dem Saugrohrende jeder Straflo-Maschine. Aus Sicherheitsgründen wurden je 2 Fühlerleitungen einbetoniert für die Erfassung des Plus- resp. des Minusdruckes. Der Regler verwendet das analoge Gefällesignal für die Berechnung des Turbinenabflusses, gleichzeitig wird es an die Turbinenregelung abgegeben.

Unterwasserpegel

Der Unterwasserstand wird mit Präzisionsdruckwaagen an zwei verschiedenen Orten pro Kraftwerk pneumatisch gemessen. Die Waagen sind im Kraftwerksgebäude installiert.

Die Messpunkte (Luftblasenaustritt) sind so angeordnet, dass die Messung an der Auslassseite des Kraftwerksgebäudes zur Berechnung des Bruttogefälles für die Durchflussberechnung der Francis-Maschinen herangezogen werden kann. Der zweite Messpunkt ist auf der Halbinsel West plaziert. Er dient der Ermittlung des Staustufengefälles, des Rückstaues vom Unterlieger Birsfelden und der Abflussberechnung an den Wehrschützen.

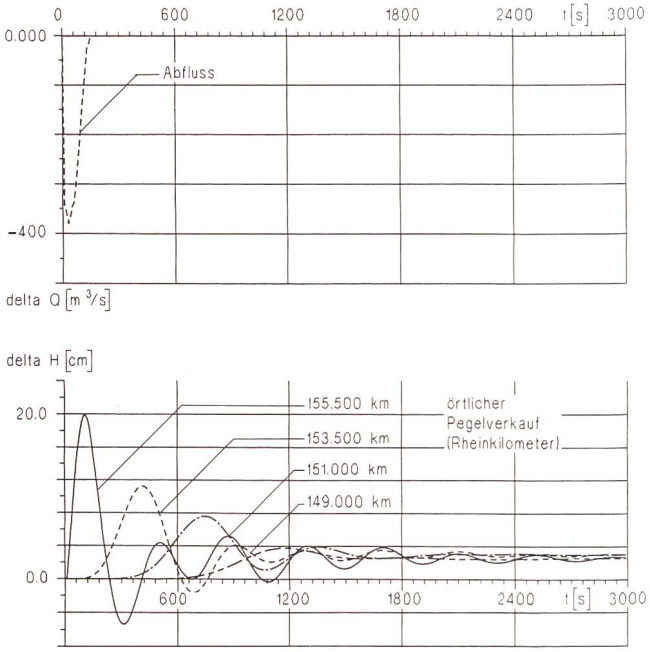


Bild 51. Zeitlicher Verlauf der Pegel an vier verschiedenen Stellen im Oberwasser, nach Notschluss von vier Straflo-Maschinen, bei gleichzeitig eingeleitetem Öffnen von Wehrverschlüssen zur Durchflusskompensation. Die sich flussaufwärts ausbreitende Wellenfront ist deutlich zu erkennen. Die vorerst etwa 20 cm hohe Welle schwächt sich kurz vor Rheinfelden so stark ab, dass sie kaum mehr spürbar erscheint.

Stellungsmessungen

Die Leitapparate der 13 Straflo-Maschinen sind hydraulisch betätigt. Die Bewegung des Stellringes wird über eine Kreuzkette auf den Stromgeber übertragen. Der eingeprägte Gleichstrom des Zweileitersystems übermittelt die Leitapparatstellung in den Ridat-Rechner. Die Live-Zero-Überwachung des Stromsignales und die Stellungslinearisierung zwischen Stellring und Leitschaufeln erfolgt im Rechner. Den Schützenhub wandeln digitale Stellungsgeber in Gray-Code um. Der Antrieb zwischen der Hubwerkwelle auf dem Dienststeg des Wehres und dem Stellungsgeber erfolgt über eine Endlos-Rollenkette.

Die fünf digitalen Stellungssignale jeder Wehrhälfte werden in den Regler geführt und laufend auf Plausibilität überwacht. Der Bedeutung des Wehrbetriebes bei Hochwasser entsprechend sind als redundante Stellungsmessungen die fünf Wehrschützen des Kraftwerkpartners mit zusätzlichen Gray-Code-Gebern ausgerüstet. Somit ist jede Schütze mit zwei Digital-Stellungsgebern bestückt.

Zwei redundante schwerkraftbetätigte Rivert-Winkelgeber pro Klappe wandeln die Winkelstellung der vier Eisklappen in einen eingeprägten Gleichstrom um.

Inbetriebsetzung und Regleroptimierung

Nur ein korrekt ausgelegter und gut parametrierter Pegel-/Durchflussregler ermöglicht ein gutes Funktionieren der Wasserhaushaltautomatik. Die Praxis zeigt aber, dass gerade die Reglerparametrierung häufig problematisch ist. Die wechselnde Flusswasserführung, die unterschiedliche Stauraumdynamik und die verschiedensten Betriebsfälle stellen hohe Anforderungen. Das rein experimentell iterative Vorgehen ist, insbesondere bei grösseren Laufwasserkraftwerken, wegen der empfindlichen Umgebung kaum mehr zuverlässig.

Die Anliegen der Schiffahrt, des Umweltschutzes und des Kraftwerkbetriebes müssen bei einer Inbetriebsetzung

berücksichtigt werden. Der heutige Stand der Technik erlaubt die Inbetriebsetzung einer Wasserhaushaltautomatik ohne grössere Durchflussstörungen. Im Fall Augst-Wyhlen wurden die Rheinflussstrecken «Rheinfelden–Augst-Wyhlen–Birsfelden» mathematisch modelliert und u. a. das Pegelverhalten bei Maschinenausfällen simuliert. Mit einer numerischen, hydrodynamischen Simulation konnte in Abhängigkeit von den Zu- und Abflussänderungen das zeitliche Pegelverhalten abschnittweise im Ober- und Unterwasser berechnet und aufgezeichnet werden.

Das nun dank der Simulation mit guter Näherung bekannte Stauraumverhalten ermöglichte eine Vorausberechnung der Regelparameter. So konnte wiederum computerunterstützt der geschlossene Regelkreis des Oberwasserreglers in seinem Frequenz- und Zeitverhalten untersucht und getestet werden. Mit den getroffenen Vorkehrungen konnte die Wasserhaushaltautomatik ohne nennenswerte Störung der Flusswasserführung gut voreingestellt in Betrieb gehen (Bild 51).

9. Nebenanlagen

Peter Ender

Schleusenmodernisierung und Verlängerung

Die Konzession für die Kraftwerke Augst und Wyhlen verpflichtet die beiden Gesellschaften, die alte Schleuse zu modernisieren und auf den heutigen Stand der Technik zu bringen. Nach Abschluss der Projektierungsarbeiten kamen die zuständigen Schiffahrtsbehörden zusammen mit den Kraftwerksgesellschaften überein, die Schleuse gleichzeitig so zu verlängern, dass auch Schiffe der neu aufkommenden Klasse von 110 m Länge passieren können (Bild 52).

Im Bereich der Unterwassereinfahrt musste eine Leitmole erstellt werden, die gleichzeitig das Turbinenwasser von einer Quer- in eine Längsströmung umlenkt (Bild 53). Die übrigen Einfahrhilfen wurden als gerammte Spundwände erstellt. Die Schleusenbrücke musste durch eine Trägerkonstruktion ersetzt und zugleich erhöht werden, damit das erhöhte Schiffsprofil freigehalten werden konnte. Entsprechend dem heutigen Stand der Technik wurde auf der Oberwasserseite ein neues Segmenttor, auf der Unterwasserseite ein neues doppelflügliges Schwenktor montiert. Beide Tore wurden mit einem Aufprallschutz ausgerüstet.

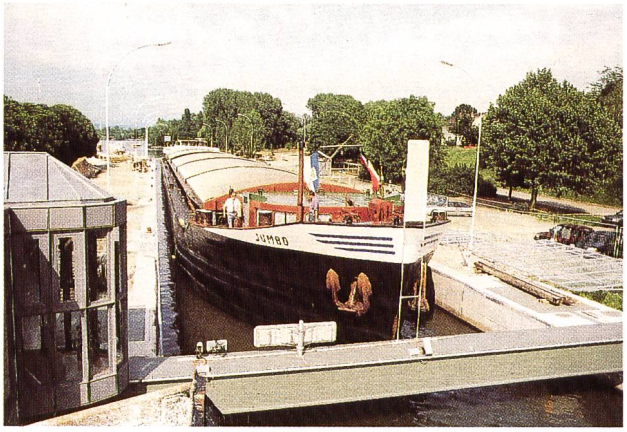


Bild 52. Ein 110 m langes Schiff in der umgebauten Schleuse.

Bild 53. Die Leitmole dient gleichzeitig als Einfahrhilfe und als Strömungsumlenkung.

Die Steuerung der Schleuse wurde automatisiert und so weit vorbereitet, dass zu einem spätern Zeitpunkt eine Fernbedienung und Überwachung möglich wird.

Da sich die Achsen von Schleuse und Unterwasserkanal nicht decken, musste am landseitigen Ufer des Unterwasserkanals als Ein- und Ausfahrhilfe für die langen Schiffe eine kreisförmige, in sich stabile Spundwandkonstruktion erstellt werden, die ein Auflaufen der Schiffe auf die Uferberme verhindert (Bild 54). Die Modernisierung und die Verlängerung der Schleuse mussten wegen der zeitverschobenen Entscheidungen in 2 Baulose aufgeteilt werden. Die dadurch zusätzlich geschaffenen Schwierigkeiten führten dank straffer Schnittstellenbearbeitung zu keinen Problemen. Für die Umbau- und Verlängerungsarbeiten war die Schleuse während 12 Monaten gesperrt.

Die Kosten für die Schiffahrtseinrichtungen beliefen sich auf insgesamt etwa 25 Mio Franken. Der Anteil für die Schleusenmodernisierung, die Einfahrhilfen und die Leitmole ging zu Lasten der beiden Kraftwerksgesellschaften, während bei der Schleusenverlängerung auch die Schweizerische Eidgenossenschaft, das Land Baden-Württemberg und der Kanton Aargau kostenmässig beteiligt waren.

Unterwasserkanal-Austiefung

Um die grössere verarbeitbare Wassermenge ohne wesentlichen Rückstau im Unterwasserkanal abführen zu können und der Schiffahrt bessere Strömungsverhältnisse zu gewährleisten, wurde während der Sperrung der Schleuse auch der Unterwasserkanal um 4 m ausgetieft. Der Auftragnehmer führte diese Arbeiten zu einem pauschalen m^3-Preis aus. Er übernahm auch das geologische Risiko. Für die Arbeiten setzte er Meisselgeräte und einen grossen Löffelbagger auf speziell ausgerüsteten Stelzenpontons ein (Bild 55). Das Ausbruchmaterial, rund 50 000 m^3 Fels, wurde grösstenteils mit Schuten auf die deutsche Seite transportiert und zur Auffüllung einer Kiesgrube verwendet. Eine von den deutschen Behörden zu Unrecht vermutete Kontaminierung des Felsausbruchsmaterials der Schweizer Seite führte zu einer kritischen Terminsituation und beträchtlichen Mehrkosten.

Ein Teil des Materials wurde auch mit Klappschuten durch die Schleuse ins Oberwasser abgeführt und dort zur Verlängerung der Oberwasserinsel verklappt. Die Austiefarbeiten konnten ohne Sprengungen beendet werden.

Kleinbootsübersetzstelle

Die Konzession fordert auch die Erstellung einer Übersetzstelle für Kleinboote. Kanu- und Schlauchboote müssen

Bild 54. Die Uferausweitungsarbeiten im Unterwasserkanal erlauben auch Schiffen bis 110 m Länge ein sicheres Ein- und Ausfahren aus der Schleuse.

ohne Inanspruchnahme der Schleuse die Staustufe passieren können. Bis zur Drucklegung dieser Broschüre sind Lage und Art der Übersetzstelle noch nicht festgelegt, weil die auftretenden Strömungsverhältnisse vorerst untersucht und beurteilt werden sollen.

Bootseinwasserungsstelle

Der Kanton Basel-Landschaft verfügte bis anhin am Rhein über keine Bootseinwasserungsstelle, so dass er seiner Kontrollpflicht über die immatrikulierten Boote nur schwer nachkommen konnte. Auf der Kraftwerksinsel ist nun für die kantonale Wasserpolizei ein Wasserungsplatz geschaffen worden. Eine öffentliche Nutzung ist aber aus Gründen des Naturschutzes und der Zugänglichkeit ausgeschlossen.

Wehr und Wehrübergang

Die Wehrsanierung wird nach Abschluss der Umbauarbeiten in einem separaten Projekt abgewickelt. Zustandsabklärungen und geologische Untersuchungen werden die dazu notwendigen Grundlagen liefern.

In der Konzession wird von den Kraftwerksgesellschaften die Schaffung eines öffentlichen Wehrüberganges gefordert. Als Gegenleistung wird die Aufhebung der bisherigen Motorfähre Kaiseraugst-Herten in Aussicht gestellt. Die Schaffung dieses Überganges bedingt sowohl auf dem Wehr wie auch auf den beiden Kraftwerksarealen zusätzliche Sicherheitsabschrankungen und Tore. Der Übergang erlaubt eine sinnvolle Ablösung des wenig zeitgemässen und unverhältnismässig teuren Fährbetriebes.

Fischpass

Gemäss Konzession sind die Kraftwerksbetreiber verpflichtet, Fischaufstiegstreppen zu erstellen und zu unterhalten. Während die beiden Fischaufstiege auf der Seite Wyhlen gut funktionieren, waren beim alten Fischpass in Augst die Strömungsverhältnisse derart ungünstig, dass er seine Funktion nie zufriedenstellend erfüllte. Abklärungen durch Fischereifachleute sind zum Zeitpunkt der Drucklegung dieser Schrift noch in Arbeit.

Heizung, Lüftung

Die Kraftwerksräume werden zum einen Teil mit Warmwasserradiatoren geheizt, teilweise aber auch über das Lüftungssystem. Mit einer Wärmepumpe wird die dazu

Bild 55. Für die Unterwasseraustiefung wurden Aushub- und Meisseleinheiten auf Stelzenpontons eingesetzt.

Bild 56. Der Ehingerhof, ein schützenswertes Baudenkmal.

benötigte Heizwärme aus dem Kühlwasserkreislauf entnommen. Für den Fall, wo diese Wärmequelle nicht genügt (geringe Wasserführung bei extrem kalter Witterung) dient ein Durchlauferhitzer als zusätzliche Heizquelle.

Ehingerhof

Ausserhalb der normalen Arbeitszeit soll die Eingriffsbereitschaft durch das Personal über einen Präsenz- und Pikettdienst sichergestellt werden. Dies wiederum erfordert, dass zumindest das Präsenzpersonal im Nahbereich des Kraftwerkes wohnt. Um dies sicherzustellen, hat die Kraftwerk Augst AG den Ehingerhof, ein Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten in unmittelbarer Kraftwerksnähe, erworben. Ohne Fahrzeug und auch nachtsüber ist damit gewährleistet, dass das diensthabende Personal spätestens 20 Minuten nach Auftreten eines Alarmes im KW eingreifen kann. Das schöne Gebäude ist als schützenswertes Baudenkmal klassiert (Bild 56).

Instandhaltung

Die Instandhaltungsarbeiten, die Bewirtschaftung des umfangreichen Reservematerials und die Kostenerfassung erfolgt über ein für dieses Projekt angeschafftes EDV-Programm. Die frühzeitige Installation dieses Hilfsmittels erlaubt eine vereinfachte Erfassung allen Betriebs- und Reservematerials bereits bei der Ablieferung und ermöglicht auch die Ausnutzung des beim Montage- und Inbetriebsetzungspersonal vorhandenen Know-how.

Grundwasserpumpwerk Hochbord

Das für das alte Kraftwerk benötigte Kühlwasser wurde bis anhin dem rund 200 m vom Kraftwerk entfernten Grundwasserpumpwerk Hochbord entnommen. Das gepumpte Wasser hat allerdings nicht Trinkwasserqualität und kann deshalb nur zu Kühlzwecken oder nach zusätzlicher Behandlung auch als Sperrwasser eingesetzt werden. Da für die neuen Anlagen im Kraftwerk kein Grundwasser mehr benötigt wird, ist eine Sanierung einstweilen nicht vorgesehen.

Ergolzbrücke, Ergolzmündung

Die beim Bau des Kraftwerks erstellte Ergolzbrücke ist in einem restaurationsbedürftigen Zustand und wird anschliessend an den Ausbau saniert werden (Bild 57).

Der ganze Mündungsbereich der Ergolz wurde bis vor kurzem jährlich ausgebaggert, um das Geschiebe nicht in die Schiffahrtsrinne oberhalb der Schleuse vordringen zu lassen. Hydraulische Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Auspumpen dieses Geschiebes nicht jährlich zu erfolgen hat. Das Intervall kann wesentlich ausgedehnt werden, ist aber stark von der Hochwasserführung der Ergolz abhängig. Die Erfahrungen in den nächsten Jahren werden zeigen, in welchen Intervallen die abgelagerten Sedimente entfernt werden müssen.

Bild 57. Die Brücke bei der Ergolzmündung.

10. Neues Leben auf der Kraftwerksinsel

Esther Bäumler

Für die Landschaftsgestaltung der Insel des Kraftwerks Augst wurden ungewohnte Wege beschritten. Eine Insel mit Steinen, Kies, Sand und Wasserflächen mitten im Rhein soll Flussregenpfeifern, Weidenröschen, Sandlaufkäfern und anderen Pionieren als Standort dienen.

Gemäss Artikel 23 «Landschaftsschutz sowie Natur- und Heimatschutz» der neuen Konzession ist der Kraftwerksbetreiber verpflichtet, einen Landschafts- und Bepflanzungsplan zur Genehmigung vorzulegen. Diese landschaftspflegerische Begleitplanung, wie sie auch in den Auflagen der Baubewilligung enthalten waren, wurde auch durch die Bauherrschaft als wichtige Komponente des Umbauprojektes erkannt. Die Projektierung und Ausführung des Gestaltungsplanes erfolgte im Einvernehmen mit der Abteilung für Natur und Landschaftsschutz des Kantons Basel-Landschaft.

Kies- und Sandbänke, bewachsen und unbewachsen, frisch aufgeschüttet und beim nächsten Hochwasser wieder weggeschwemmt, gehörten in die ursprüngliche Flusslandschaft des Rheins. Bedingt durch Korrekturen, Verbauungen und Stauwerke ist die Dynamik des Rheins heute verschwunden, und Kiesbänke sind Mangelware. Spezialisierte Pflanzen und Tiere, sogenannte Pioniere, brauchen aber genau diese wenig bewachsenen Kiesflächen als Lebensraum. Einer ihrer Vertreter ist der Flussregenpfeifer. Er brütet nur auf nicht oder kaum bewachsenen Kiesflächen. Da wenig bewachsene Kiesbänke heute sehr selten sind, ist er auf Kiesgruben ausgewichen. Sein Bestand in der Schweiz liegt bei ungefähr hundert Brutpaaren. Er ist auf der Liste der gefährdeten und verletzlichen Arten verzeichnet, auf der sogenannten «Roten Liste».

Die neue Umgebungsgestaltung, vor allem bedingt durch den Schleusenumbau, umfasst einen Teil der Kraftwerksinsel sowie das angrenzende Rheinufer. Das ganze Areal wurde naturnah gestaltet mit angepassten Lebensräumen, einheimischen Pflanzen und mit möglichst versickerungsfreundlichen Böden. Im folgenden wird speziell auf die Vogelinsel eingegangen, den Teil der Kraftwerksinsel, welcher vom Kraftwerk nicht genutzt wird. Hier standen für die Gestaltung die Orientierung an der ursprünglichen Flusslandschaft sowie die Aufwertung des Lebensraumes für Pflanzen und Tiere im Vordergrund (Bild 58).

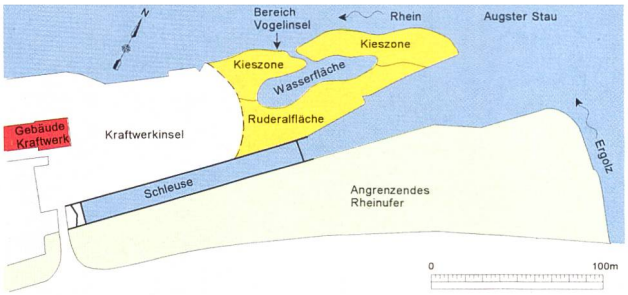


Bild 58. Lageplan mit den neu gestalteten Flächen. Gelb eingefärbt: die Vogelinsel.

Der Augster Stau ist schon seit längerem Vogelschutzgebiet und wichtiger Rastplatz für Wasservögel. Daher wurde versucht, die Vogelinsel als möglichen Brut- und Rastplatz für Wasservögel zu gestalten. Heute besteht im Raum des Augster Staus vor allem ein Mangel an offenen Kiesflächen, wenig bewachsenen Stellen, sogenannte Ruderalflächen und seichten Wasserflächen. Solche Lebensräume wurden neu geschaffen. Für die Kieszone wurde eine speziell zusammengestellte, gewaschene Kiesmischung verwendet. Sie soll möglichst lange vegetationsarm bleiben und Arten wie dem Flussregenpfeifer Brutplätze bieten. Die Ruderalfläche besteht aus dem anstehenden Bauschuttmaterial und wird mit der Zeit schütter zuwachsen. Auch sie bietet seltenen Pflanzen und Insekten Lebensmöglichkeiten. Die Wasserfläche ist in grossen Bereichen seicht mit einer Tiefe von nur 10 bis 20 cm. An solchen Stellen finden Watvögel ihre Nahrung: Würmer, Insekten und andere Kleintiere.

Der Teil Vogelinsel wurde im Spätherbst 1993 fertiggestellt, die übrigen Bereiche folgen 1994. Die Besiedlung der Insel mit Pflanzen und Tieren kann beginnen. Pionierpflanzen und Weidengebüsche werden schon bald Fuss fassen. Verschiedene Wasservogelarten werden die Insel als Brut- oder Nahrungsplatz annehmen. Ob auch der Flussregenpfeifer kommt und wann, bleibt abzuwarten (Bild 59).

Die natürliche Entwicklung würde in einigen Jahren zu einem Weidengebüsch führen. Um die vegetationsarmen, für Pflanzen und Tiere wertvollen Flächen zu erhalten, werden periodische Pflegeeingriffe notwendig sein. Die fehlende natürliche Dynamik des Rheins muss künstlich nachgeahmt werden.

Bild 59. Die Vogelinsel kurz nach Fertigstellung. Von links nach rechts im Bild: Ruderalfläche, seichte Wasserfläche, Kieszone und Rhein.

Am Ausbau Kraftwerk Augst beteiligte Unternehmen

Bauherr
Kraftwerk Augst AG
Geschäftsleitung: Aargauisches Elektrizitätswerk, 5001 Aarau

Projektierung und Bauleitung
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8034 Zürich

Bauherrenberatung
Gruner AG, Ingenieurunternehmung, 4020 Basel

Hydraulische Modellversuche
Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, D-7500 Karlsruhe 1

Grundwasser-Beweissicherung
Geologisches Büro Dr. Schmassmann AG, 4410 Liestal

Rohbau I und Innenausbau
ARGE, Arbeitsgemeinschaft:
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, 5000 Aarau (federführend)
Locher & Cie AG, 8001Zürich
Ad. Schäfer + Cie AG, 5000 Aarau
Preiswerk & Cie AG, 4302 Augst
E. Frey AG, 4303 Kaiseraugst
Helfenstein + Natterer AG, 4303 Kaiseraugst

Unterakkordanten der ARGE für Rohbau und Innenausbau:
Eberhard Bau AG, 8302 Kloten, Abbruch und Aushub
Arge Jet Grouting, 8200 Schaffhausen, Injektionen
Roellin, Betonform plus, 3634 Thierachern, Spezialschalungen
Josef Christen AG, 6026 Rain, Armierungen
Aeschlimann AG, 4450 Sissach, Belagsarbeiten, Abdichtungen
Renesco AG, 8105 Regensdorf, Injektionen
Mensch AG, 4056 Basel, Verputzarbeiten
Metako AG, 4450 Sissach, Schlosserarbeiten
Keller AG, 4302 Augst, Schlosserarbeiten
Eisenring AG, 9243 Jonschwil, Panzertüren
Bodenbau AG, 4123 Allschwil, Unterlagsböden
Aerni Fenster AG, 4422 Arisdorf, Fenster
Pfirter + Co AG, 4133 Pratteln, Malerarbeiten

Gebäuderenovation
Suter + Suter AG, 4010 Basel

Schleusenbrücke
Meier + Jäggi AG, 4153 Reinach, Bau
Berchtold AG, 8483 Kollbrunn, Geländer

Stahlwasserbau
Hans Künz GmbH, A-6971 Hard, Abschlussorgane,-Einlaufrechen, Rechenreinigungsmaschine, Geschwemmselanlage

Krananlagen
R. Stahl AG, 8953 Dietikon

Maschinengruppen
Sulzer-Escher Wyss AG, 8023 Zürich
ABB Kraftwerke AG, 5401 Baden, Unterlieferant für Generator
Moritz AG, 4302 Augst, Deckanstrich Maschinen

Elektrische Ausrüstung
GEC Alsthom – Cegelec Projects AG/Ltd, 5036 Oberentfelden

Unterlieferanten für elektrische Ausrüstung
ABB Kraftwerke AG, 5401 Baden, Leittechnik
ABB Relays AG, 5401 Baden, Leitungsschutz, Maschinenschutz
ABB Sécheron SA, 1200 Genf, Transformatoren
ABB Industrie AG, 5300 Turgi, Erregungseinrichtung
Rittmeyer AG, 6302 Zug, Oberwasserregulierung
Baumann + Schaufelberger AG, 4018 Basel, Haustechnik
Cerberus AG, 8708 Männedorf, Brandmeldeanlage
Hadorn & Co, 3000 Bern 14, CO_2-Anlage

Drainage- und Kühlsystem
Gebrüder Sulzer AG, Pumpen Schweiz, 8439 Rümikon
Subunternehmer
Clemessy AG, 4133 Pratteln, Elektrische Ausrüstung

Heizungs- und Lüftungsanlagen
Lehmann AG, 4800 Zofingen

Schleusensanierung und Unterwasseraustiefung
Colenco Power Consulting AG, 5405 Baden, Projektierung und Bauleitung
ARGE Arbeitsgemeinschaft:
Dyckerhoff & Widmann AG, D-Grenzach-Wyhlen
Hochtief AG, D-Freiburg
Schleith GmbH, D-Waldshut
Schafir + Mugglin AG, Zürich

Subunternehmer der ARGE:
Hirdes GmbH, D-7500 Karlsruhe, Ausbaggerung Unterwasserkanal
Ingenieur- und Vermessungsbüro W. Kammerer, D-7888 Rheinfelden, Vermessung

Schleusenverlängerung
ARGE, Arbeitsgemeinschaft:
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, 5000 Aarau (federführend)
Locher & Cie AG, 8001 Zürich
Ad. Schäfer + Cie AG, 5000 Aarau
Preiswerk & Cie AG, 4302 Augst
E. Frey AG, 4303 Kaiseraugst
Helfenstein + Natterer AG, 4303 Kaiseraugst

Bild 60. Die Vogelinsel kurz nach Fertigstellung. Von links nach rechts: Rhein, Kieszone, seichte Wasserfläche, Ruderalfläche.

Inhalt

		Seite
	Vorwort	59
1.	Vorgeschichte	59
2.	Projektorganisation	61
3.	Das alte Kraftwerk	62
4.	Ausbaustudien	64
5.	Das neue Kraftwerk	65
6.	Bauliche Aspekte	68
6.1	Geologie und Injektionen	68
6.2	Einflüsse des Straflo-Konzeptes auf den Bau	70
6.3	Bauausführung	76
7.	Maschinengruppen	79
7.1	Die Straflo-Turbine	79
7.2	Der Straflo-Generator	82
7.3	Drainage- und Kühlsystem	85
8.	Elektrische Ausrüstung	88
8.1	Das Grundkonzept	88
8.2	Ausführung der elektrischen Ausrüstung	89
8.3	Leittechnik und Maschinenschutz	92
8.4	Oberwasserregulierung	93
9.	Nebenanlagen	97
10.	Neues Leben auf der Kraftwerksinsel	100
	Am Ausbau Kraftwerk Augst beteiligte Unternehmen	101
	Inhalt, Autoren	102

Bild 61. Schalung am Kranhaken.

Autoren

Stephan Bieri, Dr. oec. publ., Vorsitzender der Geschäftsleitung
Aargauisches Elektrizitätswerk, Obere Vorstadt 40, 5001 Aarau

Peter Strauss, dipl. El.-Ing. ETH, Geschäftsbereichsleiter Anlagenengineering
Aargauisches Elektrizitätswerk, Obere Vorstadt 40, 5001 Aarau

Peter Ender, El.-Ing. HTL, Abteilungsleiter Kraftwerke
Aargauisches Elektrizitätswerk, Obere Vorstadt 40, 5001 Aarau

Peter Krebs, El.-Ing. HTL, Stv. Geschäftsbereichsleiter Anlagenengineering
Aargauisches Elektrizitätswerk, Obere Vorstadt 40, 5001 Aarau

Marco Peter, dipl. Bauing. ETH
Elektrowatt Ingenierunternehmung AG, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

Jean-Pierre Gisiger, dipl. Geologe
Elektrowatt Ingenierunternehmung AG, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

Hans Lozza, dipl. Geologe
Elektrowatt Ingenierunternehmung AG, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

Daniel Hegetschweiler, dipl. El.-Ing. ETH
Elektrowatt Ingenierunternehmung AG, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

Klaus-Dieter Steffan, dipl. Ing. Masch.-Bau
Elektrowatt Ingenierunternehmung AG, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

Hans Oehninger, dipl. Bauing. ETH
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Schiffländestrasse 35, 5000 Aarau

Erwin Ganz, Masch.-Ing. HTL
Bell Escher Wyss AG, Obernauerstrasse 4, 6010 Kriens

Jürg Emler, dipl. Masch.-Ing. ETH
Sulzer-Escher Wyss AG, Hardstrasse 319, 8023 Zürich

Janos Gyenge, Ingenieur HTL
ABB Kraftwerke AG, 5401 Baden

Hans Fellmann, El.-Ing. HTL
GEC Alsthom – Cegelec Projects AG, Sprecher Gesamtanlagen, 5036 Oberentfelden

Peter Steiner
GEC Alsthom – Cegelec Projects AG, Sprecher Gesamtanlagen, 5036 Oberentfelden

Holger Brückner, dipl. El.-Ing.
GEC Alsthom – Cegelec Projects AG, Sprecher Gesamtanlagen, 5036 Oberentfelden

Helmut Cvetko, El.-Ing.
ABB Kraftwerke AG, 5401 Baden

Franz Elmiger, Ingenieur HTL
Rittmeyer AG, Postfach 4143, 6302 Zug

Roland Sachs, El.-Ing. HTL
Rittmeyer AG, Postfach 4143, 6302 Zug

Esther Bäumler, Biologin
Oekoskop, Fabrikweg 14, 4460 Gelterkinden