

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 85 (1993)  
**Heft:** 11-12

**Artikel:** Rheinkraftwerk Whylen : Ausbau und Erneuerung  
**Autor:** Haury, Gerhard / Kesslering, Peter / Schrenk, Klaus  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940015>

### **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:** 24.02.2026

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

# Rheinkraftwerk Wyhlen Ausbau und Erneuerung

Dr. Gerhard Haury, Peter Kesselring,  
Klaus Schrenk, Theodor Reumschüssel,  
Wolfgang Biesgen, Erhard Brögelmann

*Das am Hochrhein bei Grenzach-Wyhlen (Baden) gelegene Flusskraftwerk Wyhlen, eigenständiges Kraftwerk des Doppelkraftwerkes Augst/Wyhlen, wurde von 1990 bis 1994 auf 38,5 MW ausgebaut. Dazu wurden fünf der zehn alten Francisturbinen-Generatorengruppen und zwei Erregermaschinen durch sechs Straflomaschinen ersetzt und die verbleibenden fünf Maschinen modernisiert. Der Einbau der Straflomaschinen erfolgte ohne Unterbrechung der Stromproduktion im Rhythmus von drei Monaten. Der freigewordene Platz im Maschinenhaus wurde für die Unterbringung der gesamten neuen elektrischen und mechanischen Anlagen genutzt, die Sohle des Unterwasserkanals zur Vermeidung eines Rückstaus durch die erhöhte Wassermenge vier Meter eingetieft.*

## Einleitung

Das Kraftwerk Wyhlen wurde in den Jahren 1908 bis 1912 zeitgleich mit dem Kraftwerk Augst (Schweiz) erbaut und bildet gemeinsam mit ihm – nach Rheinfelden (1898) – das zweitälteste am Hochrhein gelegene Wasserkraftwerk. Die Grösse der Generatoren erforderte Maschinenhäuser, deren Errichtung damals, ohne die Abführung extremer Hochwasser zu gefährden, nur längs des Rheins möglich war. So wurde entlang der beiden Rheinufer je ein Maschinenhaus gebaut und diese durch ein gemeinsames Stauwehr miteinander verbunden. Damit ist das Zwillingskraftwerk Augst/Wyhlen das erste echte Staukraftwerk am Hochrhein. Das am badischen Ufer gelegene Kraftwerk Wyhlen gehört der Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG, das

auf der Schweizer Seite gelegene Kraftwerk Augst der Kraftwerk Augst AG.

Die alte Turbinenanlage des Kraftwerkes Wyhlen bestand aus zehn weitgehend gleichen Francisturbinen mit einer installierten Leistung von 23 MW. Die Ausbauwassermenge war auf 420 m<sup>3</sup>/s bei einem Nettogefälle von 4,75 bis 8,40 m ausgelegt. Nach dem Einstau durch das 1954 in Betrieb genommene Kraftwerk Birsfelden lag das Gefälle je nach Wasserführung zwischen 4,2 und 6,7 m. Die mittlere Jahresproduktion der Anlage betrug 125 Mio kWh.

Die für den Betrieb der alten Anlagen erforderlichen Konzessionen der deutschen und schweizerischen Behörden, die Ende 1987 ausliefen, wurden zum 7. Februar 1988 für beide Kraftwerke durch neue Konzessionen auf 80 Jahre ersetzt, die eine Reihe von Auflagen enthalten. Die wichtigsten dieser Auflagen betreffen die Ausbauwassermenge, die von 420 m<sup>3</sup>/s auf 750 m<sup>3</sup>/s zu erhöhen ist, die Schleuse, die im Bereich der Kraftwerksanlage Augst angeordnet und die zu modernisieren war, sowie die Schaffung eines stationären Fussgängerüberweges, der die Personenfähre ersetzen soll. Ausserdem sollte das äussere Erscheinungsbild der Anlagen durch die notwendigen Erweiterungsbau-massnahmen möglichst wenig beeinträchtigt werden. Nach einer intensiven Detailplanungsphase wurde im Sommer 1990 mit den eigentlichen Bauarbeiten begonnen. Die erste von sechs neuen Maschinen ging im Oktober 1992, die letzte im Dezember 1993 ans Netz.

Die nachstehenden Artikel, die von der Projektleitung des Bauherren, KWR, und der Bauleitung des planenden Ingenieurs, EWI, in Zusammenarbeit mit Experten der Zulieferfirmen verfasst wurden, beschreiben einige Schwerpunkte und den Verlauf der Erweiterungsmassnahmen im Kraftwerk Wyhlen. In einer zweiten Artikelserie über die entsprechenden Arbeiten im Kraftwerk Augst, die Mitte 1994 erscheinen wird, werden die Schwerpunkte etwas anders gelagert sein und es wird insbesondere auch auf die umfangreichen Arbeiten zur Modernisierung und Verlängerung der Schleuse Augst eingegangen werden.



Bild 1. Gesamtansicht rheinaufwärts der Kraftwerke Wyhlen (links im Bild) und Augst.



## Geologie

Die weitere Umgebung des Kraftwerkes Augst/Wyhlen gehört tektonisch zur sogenannten «Dinkelbergscholle», einem kristallinen Grundgebirgssockel, der gegenüber dem benachbarten Schwarzwaldmassiv um einige hundert Meter abgesunken ist. Die Sedimentüberdeckung ist auf permischen und triadischen Gesteinen aufgebaut.

Im Bereich der Baugruben sieht der Schichtaufbau wie folgt aus:

2 bis 5 m:	Trigonodusdolomit
ab ca. 5 m:	Giebenacheroolith
ab ca. 30 m:	Plattenkalk bzw. Trochitenkalk
ab ca. 70 m:	Anhydritdolomit

Das Fundament des Wehres und des Maschinenhauses ist auf Plattenkalk gegründet. Dieser Plattenkalk ist allerdings dünn- bis mittelbankig mit tonigen Schichtfugen und 3 bis 5 cm mächtigen Lagen mergeligen Dolomites durchdrungen. Es wurden zahlreiche Störungen und Klüfte vorgefunden, die in bezug auf mögliche Wassereinträge ein erhebliches Risiko darstellten. Um dieses Risiko zu minimieren, wurden aussergewöhnlich umfangreiche Untergrundinjektionen erforderlich. Die Bilder zeigen die Baugrube S1, wie sie sich nach der Abteufung darstellte.

## Bestehende Bausubstanz

Der Stampfbeton für das Kraftwerk Wyhlen wurde mit den damaligen, sehr bescheidenen Mitteln in den Jahren 1907 bis 1912 hergestellt. Kenntnisse der materialtechnologischen Zusammenhänge fehlten weitgehend.

Zur Herstellung sind hauptsächlich Portlandzement und Schlackenzement mit einer Zumischung von ca. 170 kg/m<sup>3</sup> für den fertigen Beton verwendet worden. Der Beton wurde damals von Hand gemischt und in Stärken von 40 cm eingebracht, alle 2,0 bis 2,4 m wurde eine Arbeitsfuge angeordnet. Sogenannte «Sickerhorizonte» an den Arbeitsfugen sowie grosse Lufteinschlüsse und starke Entmischungen waren die Regel. Der Massenbeton war weitestgehend unarmiert, allerdings aber sehr grosszügig dimensioniert. Die Druckspannungen waren bei der damaligen Projektierung sehr niedrig angesetzt gewesen (ca. 300 bis 400 N/cm<sup>2</sup>).

Geringe Bewehrung und speziell im Ostflügelteil nur schwach ausgeführte Fundamente machten beim Umbau komplizierte Stützmassnahmen erforderlich.

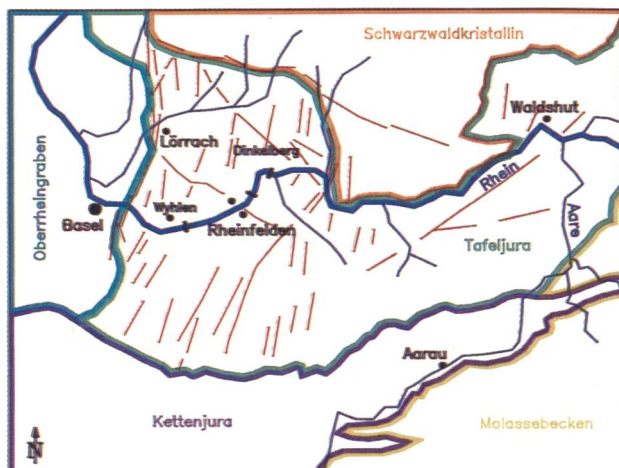


Bild 2. Geologische Übersicht mit Störungen und Klüften.



Bild 3. Blick in die Baugrube für die Straflo-Gruppe 1.

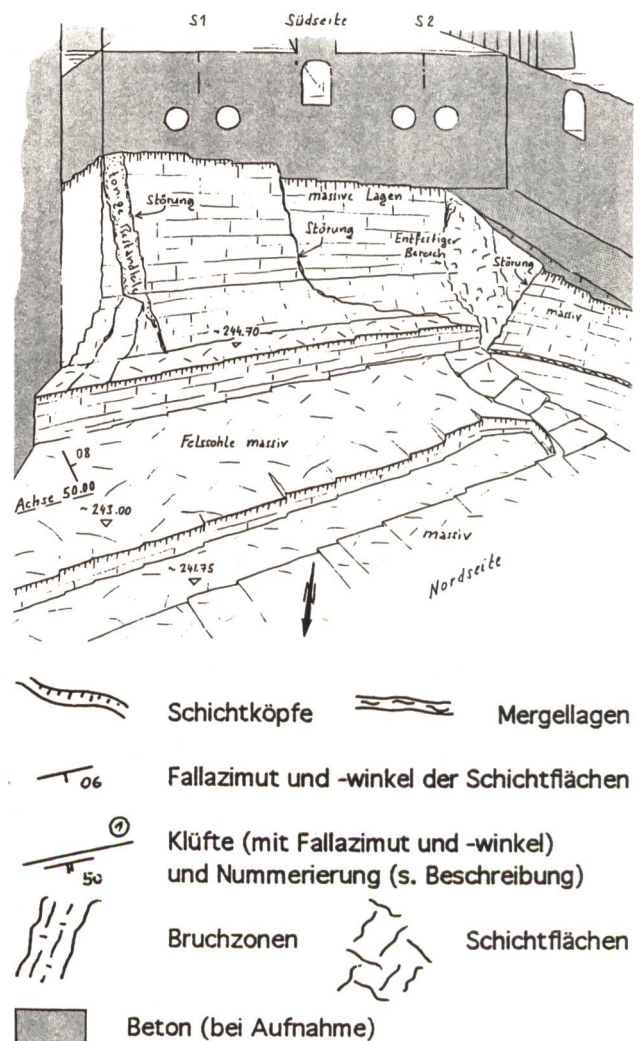


Bild 4. Geologische Detailaufnahme der Baugrube für die Straflo-Gruppe 1.





Bild 5. Alte Bausubstanz aus den Jahren 1908 bis 1912. Der Beton ist nahezu ohne Bewehrung.



## Hydraulische Modellversuche

Da der gesamte Wirkungsgrad von Wasserkraftanlagen massgeblich von den Strömungsverhältnissen des Turbinenzulaufs mitbestimmt wird, wurden die hydraulischen Randbedingungen zur Untersuchung an physikalischen Modellen der technischen Universität Karlsruhe, Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, in Auftrag gegeben.

Neben einem Gesamtmodell im Massstab 1:50 wurde ein Teilmodell im Massstab 1:25 gebaut.

Die bei verschiedenen Abflüssen vorkommenden Strömungsverhältnisse wurden am Gesamtmodell betrachtet. Es wurden aber auch Untersuchungen über das Abflussverhalten im Hochwasserfall bei reduzierter Anzahl der Wehröffnungen sowie die Situation während des Bauzustandes durchgeführt.

Das Teilmodell diente zur Untersuchung und Optimierung der Gesamtanordnung und Auslegung der Geometrie des Einlaufes zu den neuen Straflo-Maschinen. Speziell wurde darauf geachtet, dass in den Einläufen keine Wirbelbildungen entstehen, die zu einer Verschlechterung des Maschinenwirkungsgrades führen könnten. Dies hatte im Fall Augst/Wyhlen ganz besondere Bedeutung:

Da die Maschinenhäuser der Kraftwerke nicht wie üblich quer, sondern parallel zum Fluss angeordnet sind, war ganz speziell die um 90° notwendige Strömungsumlenkung zu den Maschineneinläufen hin unter Berücksichtigung der Kombination alter und neuer Maschinen in verschiedenen Betriebszuständen zu untersuchen und zu optimieren.

Hierbei waren der Einfluss der kurzen Maschineneinlaufstrecken und der relativ hohen Fließgeschwindigkeiten mit dem steilen Gefälle zu den neuen Maschinen mit zu berücksichtigen. Die Vorköpfe der Trennwände zwischen den neuen Maschinen erhielten eine unterschiedlich gekrümmte Formgebung in Anströmungsrichtung. Dabei wurde auch beachtet, dass es nicht zu Geschwemmselehäufungen mit Geschwemmselewalzen vor den Rechen kommt. Hydraulisch optimiert wurde auch die Lage der Rechenträger und der Turbineneinlaufkonstruktion, wobei die prozentuale Abweichung der Geschwindigkeiten in den Quadranten des Turbineneinlaufes mit  $\pm 5\%$  vorgegeben wurde.

Für den Ausbau der unterwasserseitigen Kraftwerkskanäle ist ferner die Gestaltung der Ausbaggerung im Modell untersucht worden.

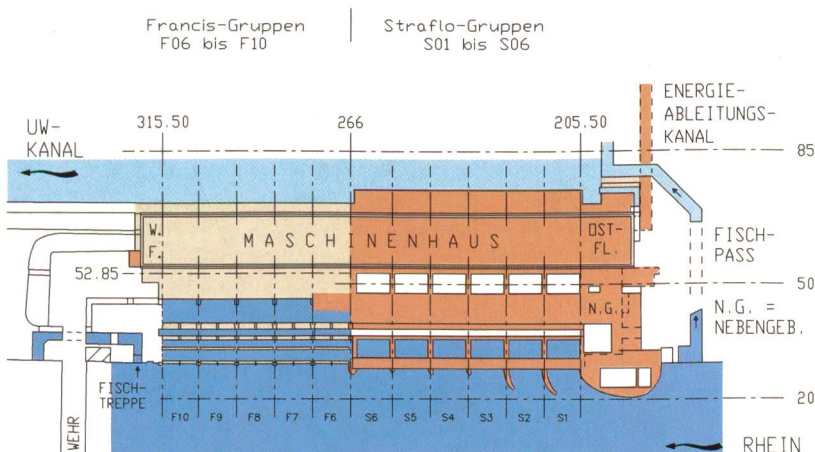


Bild 6, links oben. Hydraulisches Gesamtmodell 1:50 am Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der technischen Universität Karlsruhe. Die Pfeilerköpfe rechts im Bild ermöglichen eine günstige Anströmung der neuen Straflo-Gruppen.

Bild 7, links. Grundriss 1:2000. S1 bis S6 Einläufe zu den neuen Straflo-Gruppen; F6 bis F10 Einläufe der weiter bestehenden Francis-Gruppen.



## Injektionsschleier und Sohlinjektionen

Aufgrund der Ergebnisse geologischer Untersuchungen zeigte sich, dass ohne Behandlung des Baugrundes Wassereinträge in die zu erstellenden Baugruben nicht ausgeschlossen werden konnten.

Um das Risiko von solchen Wassereinträgen zu minimieren, wurden aussergewöhnlich umfangreiche Injektionen durchgeführt. Längs der ober- und unterwasserseitigen Spundwandabschlüsse wurden bis auf eine Tiefe von 31,5 m Injektionsschleier eingebracht. Unter dem neu zu bauenden Turbinenhaus und dem alten Maschinenhaus erfolgten Sohlinjektionen im Rasterabstand von 2 m unter dem Turbinenhaus und im Rasterabstand von 3 m unter dem Maschinenhaus.

Die Injektionsbohrungen und die Bohrungen für das Versetzen der Anker wurden im Imloch-Hammer-Bohrverfahren mit Stiftbohrkrone 85 mm Durchmesser abgeteufelt. Zur Anwendung kamen Lafettenbohrgeräte auf Raupen. Es wurden 819 Injektionsbohrungen und 217 Ankerbohrungen mit einer totalen Länge von 17 424 m ausgeführt.

Die als Verpressmaterial verwendete Suspension ist aus Zement, Kalksteinmehl, Bentonit und einem Plastifizierungsmittel hergestellt worden. Der Ersatz von  $\frac{1}{3}$  des Ze-

ments durch Kalksteinmehl führte zu einer wesentlichen Kostenersparnis. Eine Beeinträchtigung des Abdichtungserfolges konnte nicht festgestellt werden.

Es wurden fast ausschliesslich wasserarme, sedimentationsstabile Suspensionen (Wasser/Feststoff-Verhältnis = 0,45), sogenannte Pasten, verpresst. Diese sind im Vergleich zu wasserreichen Mischungen auch zum Verpressen grösserer Kluftweiten gut geeignet und zeichnen sich durch geringen Materialverbrauch aus. Die erforderliche Homogenisierung wurde durch Verwendung eines hochtourigen, automatisch gesteuerten Mischers erzielt. Die Einwaage der Stoffe erfolgte programmgesteuert. Die Injektionszentrale war mit vier hydraulischen Kolbenpumpen ausgerüstet. Insgesamt wurden über die Bohrlöcher mit pneumatischen Einfachpackern von unten nach oben 2450 t Feststoffe verpresst. Die Anfangsdrücke beim Verpressen lagen bei bis zu 6 bar, es sind Maximaldrücke von bis zu 12 bar aufgebracht worden. Drücke und Verpressmengen wurden mit Schreibern registriert.

Die Injektionsschleier, Sohlinjektionen und eingebauten Verankerungen haben sich bewährt. Es kam nicht zu Wassereinträgen, und die Baugruben blieben – mit Ausnahme einer leichten, aber üblichen Leakage – während der gesamten Bauzeit praktisch trocken.

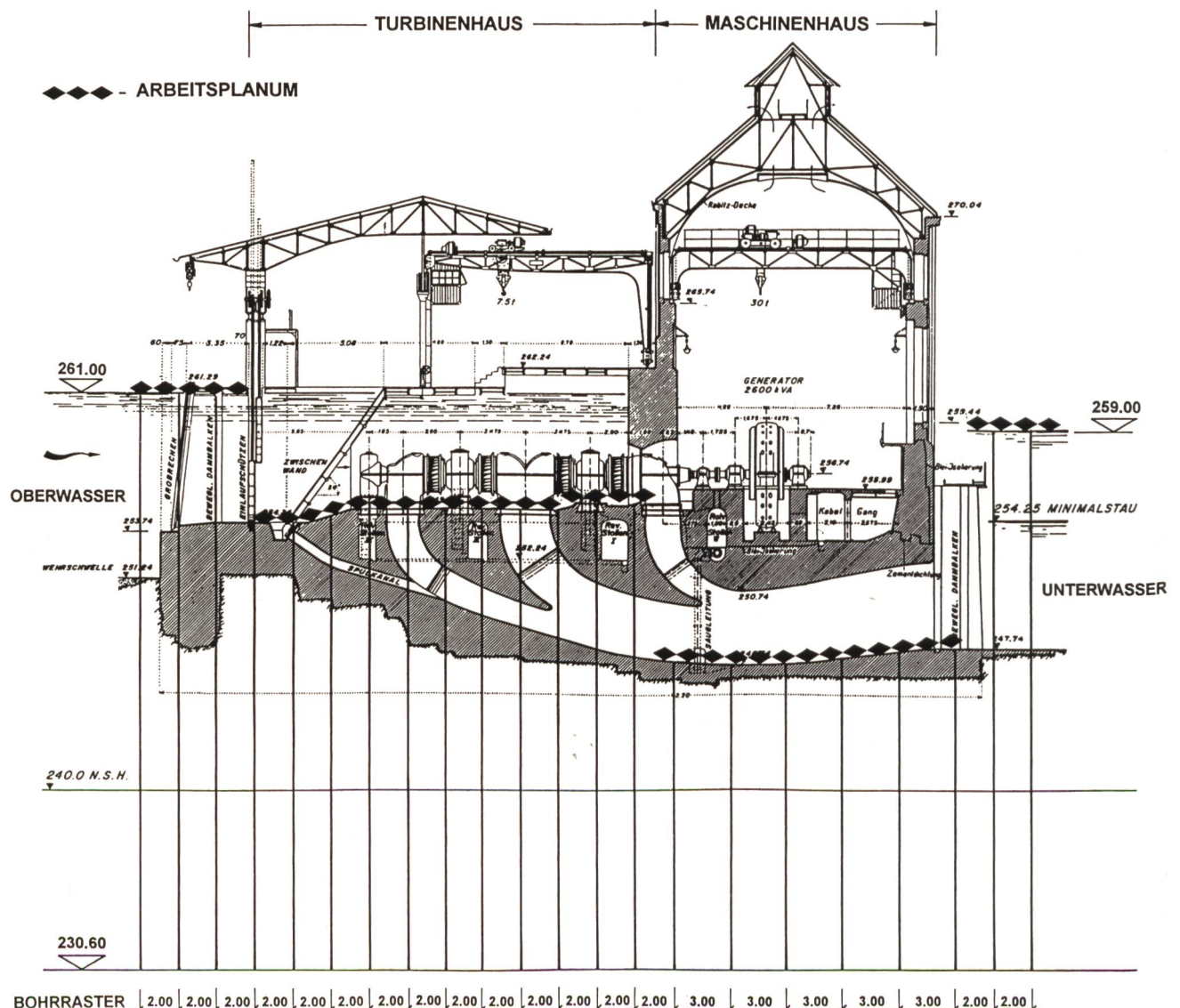


Bild 8. Injektionsbohrungen, typischer Querschnitt 1:360 mit Bohrraster und Arbeitsplanum.



## Bauliche Massnahmen

### Überblick

Nach gründlichen Voruntersuchungen wurde der Ersatz von fünf Francisturbinengruppen und der zwei Erregergruppen durch sechs neue Strafloturbinen geplant und realisiert. An Stelle der beiden Erregergruppen konnte beim Umbau eine neue Strafloturbine eingebaut werden.

Die Strafloturbinen wurden etwa 10 m tiefer als die Francisturbinen gelegt.

Die Tieferlegung, neue Einlaufformen, neu zu erstellende Abschlüsse, Rechen, Kran und Maschinenwiderlager machten den totalen Abbruch der alten oberwasserseitigen Anlagen in diesem Bereich erforderlich, bevor mit dem Neubau begonnen werden konnte.

Die Saugrohre unter dem Maschinenhaus und die Ausläufe auf der Unterwasserseite mussten durch teilweisen Abbruch und Neubau den neuen Gegebenheiten angepasst werden.

Der östliche Bereich des Maschinenhauses und der Ostflügel wurden innen umgebaut. Im Maschinenhaus wurden über den Saugrohren neue Kabelkeller erstellt, und in der Ebene darüber wurden Räume für die Aufnahme der 6,8-kV-Schaltanlage neu geschaffen. Der Ostflügel wurde zunächst bis auf die alte Gründungssohle ausgebrochen, danach wurden drei neue Untergeschosse aufgebaut, um den Batterieraum, die Eigenbedarfsanlage, die Niederspannungsverteilung sowie Sozialräume aufzunehmen.

Hervorzuheben ist, dass trotz der gravierenden Umbaumassnahmen das äussere Erscheinungsbild der Kraftwerksanlage erhalten werden konnte.

### Terminplan

Für die gesamte Umbaumassnahme wurde ein Terminprogramm erstellt, das alle wesentlichen Einzelabläufe enthielt. Massgebliche Kriterien für die Entwicklung des Terminplanes und die Durchführung der Umbauarbeiten waren:

- Die Gesamtstabilität aller bestehenden Bauwerksanlagen während des erforderlichen Abbruchs und des anschliessenden Felsausbruchs zur Erstellung der neuen Gründungssohle im Turbinenbereich muss in allen Bauphasen gegeben sein.
- Für die Umbauzeit muss der durch die Baumassnahmen bedingte Ausfall an der Gesamtenergieproduktion auf ein Minimum beschränkt werden.

Aus Gründen der Stabilität lag es nahe, die umzubauenen Turbinengruppen als einzelne Bauabschnitte zu definieren.

Damit ergaben sich kleinere Abbruch- und Neubauabschnitte, so dass in jeder Umbauphase eine Abstützung auf zuvor errichtete Neubauteile für nachfolgende Ausbruchabschnitte möglich war.

Die Bauzeit für eine Gruppe wurde nach dem Terminplan mit 21 Monaten ermittelt. Dabei mussten sowohl das präzise Ineinandergreifen der Sicherungsmassnahmen wie die Erstellung der Spundwände, die Abdichtung der Baugruben durch Injektionen, der Abbruch und der Neubau mit seinen Erst- und Zweitbetonabschnitten auf die nachfolgende Montage der neuen Strafloturbinen und die Montage der elektromechanischen Installationen aufeinander abgestimmt werden.

Durch «Schachteln» der sechs neuen Baugruppen – jeweils im Abstand von drei Monaten wurde eine neue Einzelbaustelle eingerichtet – ergab sich für den Umbau des Kraftwerkes, einschliesslich der Nebenanlagen, eine Umbauzeit von 39 Monaten.

Mit der Demontage der ersten Francisturbine wurde termingerecht Anfang Januar 1991 begonnen.

Die sechste und letzte Strafloturbine konnte noch vor dem Termin bereits Anfang Dezember 1993 in Betrieb genommen werden.

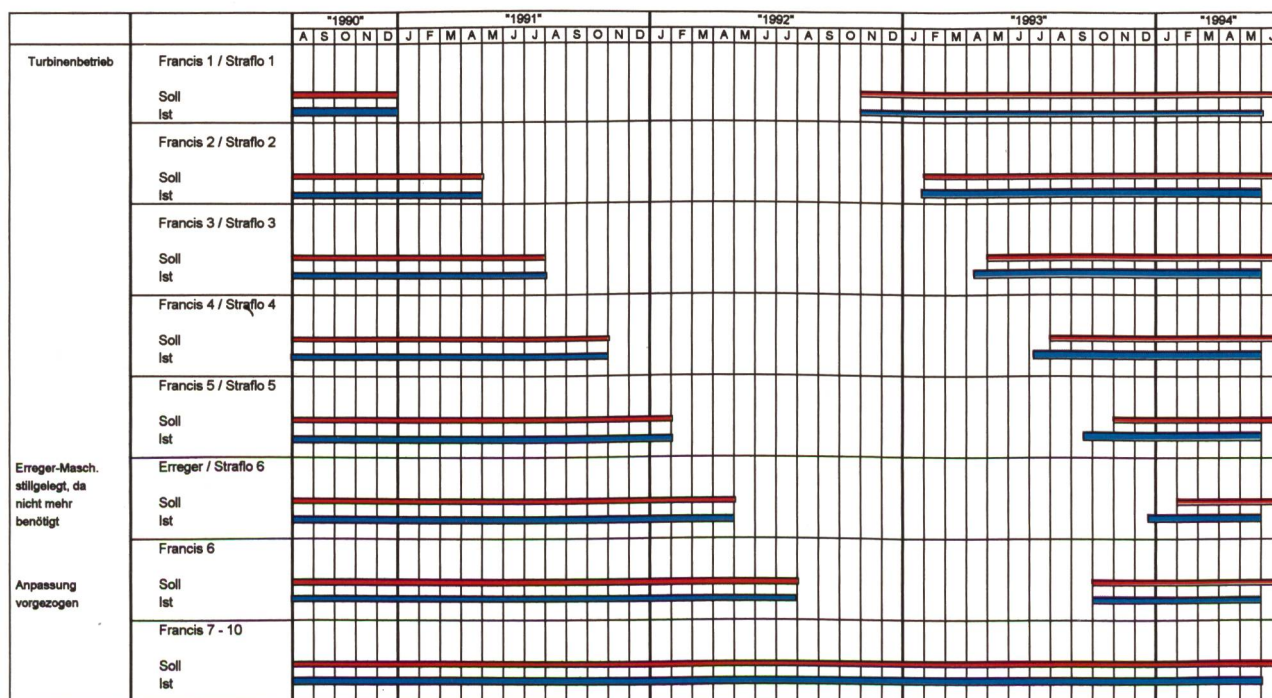
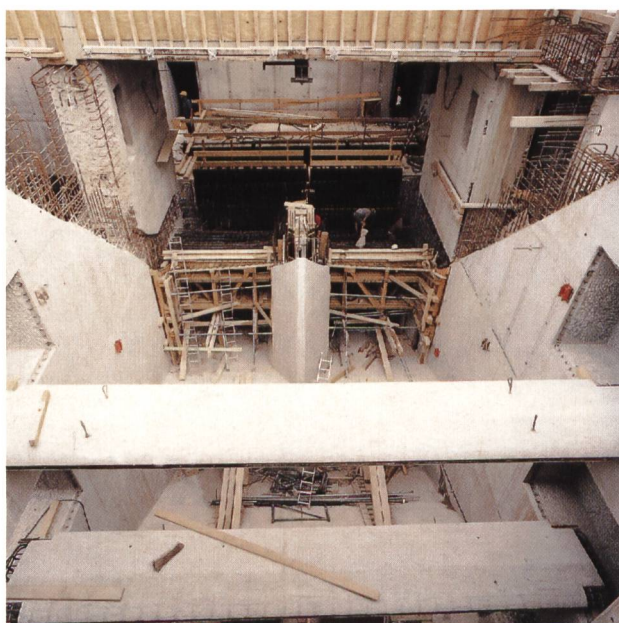
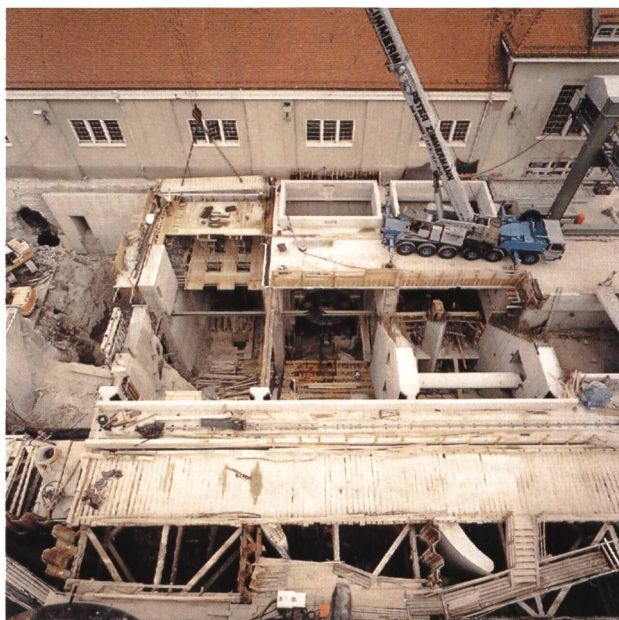


Bild 9. Ausbau Kraftwerk Wyhlen, Bauprogramm mit Soll-Ist-Vergleich.





### Demontagen, Spundwände, Injektionen

Zuerst wurden bei jeder Baueinheit im Schutze der bestehenden Abschlussorgane die Francisturbine und der Generator demontiert.

Gleichzeitig wurden die Spundbohlen im Oberwasser gerammt (Eindringtiefe in den Fels ca. 60 cm) und im Unterwasser in einen zuvor bei der Unterwasseraustiefung vorbereiteten Graben gestellt. In den von der Spundwand umschlossenen Teil zwischen Aussenmauer und Spundwand wurde bewehrter Unterwasserbeton eingebracht, der das untere Auflager der Spundwand bildet. Die vorgefertigten Bewehrungskörbe und der Unterwasserbeton wurden mit Taucherhilfe eingebracht. Nach dem Erhärten des Betons wurde dieser mit Vorspannkern im Felsuntergrund verankert.

Zur Abstützung gegen das bestehende Bauwerk wurden die Spundwände im Ober- und im Unterwasser durch in zwei Lagen angeordnete Stahlrahmen ausgesteift.

Entlang der Trennwand zur nächsten noch in Betrieb befindlichen Turbine wurde vom Ober- bis zum Unterwasser durch Injektionen ein Dichtungsschleier geschaffen, in dessen Schutz die Abbrucharbeiten und der weitere Felsabbruch erfolgen konnten. Auf die ursprünglich vorgesehenen Füllinjektionen unter der Sohle konnte, wie sich bei den Aushubarbeiten ergab, verzichtet werden.

### Abbruch und Aushub

Mit dem Abbruch der bestehenden Betonkonstruktion wurde im Bereich des zukünftigen Turbinenschachtes begonnen; hier war zusätzlich der anstehende Fels bis auf die neue Gründungssohle auszubrechen und auszuheben. Danach wurde die neue Gründungssohle betoniert. Darauf wurde die Trennwand zur nächsten Einheit in Abschnitten von unten nach oben im Erstbeton erstellt.

Die Decke über dem neuen Turbinenschacht wurde mit Stahlbetonfertigteilen und darauf zum Verbund aufgebrachtem Ortbeton ausgeführt.

Während dieser Bauphase mussten die alten Trennwände im Einlaufbereich, die vorher noch durch Spannanker im Felsuntergrund gesichert worden waren, als Widerlager der Spundwände bestehenbleiben.

Nahezu gleichzeitig wurde der vordere Pfeilerbereich unter lagenweisem Umspriessen abgebrochen und mit den vorgesehenen Einlenkpfählen neu aufgebaut.

Über den neuen Einlenkpfählen wurde dann die wasserseitige trogförmige Kranschienenbrücke über dem Einlauf gebaut. Damit waren die Voraussetzungen für die Montage der Schienen des neuen Portalkranes erfüllt, was für den termingerechten Beginn der Hauptmontage von entscheidender Bedeutung war.

Erst anschliessend konnte dann der Mittelbereich der Trennwand abgebrochen werden, wobei auch hier lagenweise ein Umspriessen auf den bereits erstellten Beton im Bereich des Turbinenschachtes erfolgte.

Die Form des neuen Saugrohres unter dem Maschinenhaus wurde durch den Abbruch der Zwischenwand der al-

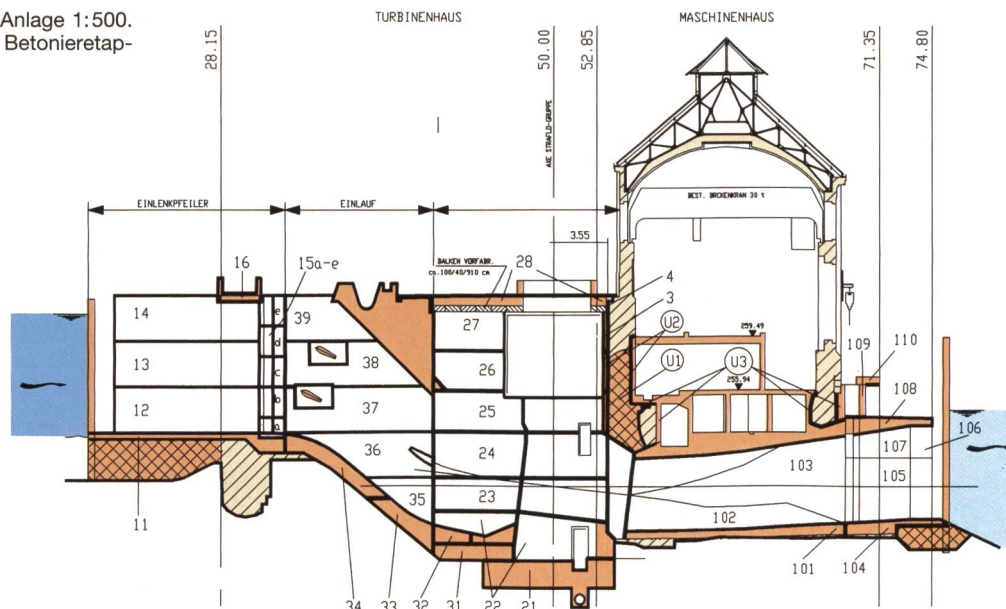
Bild 10, oben. Abbruch der bestehenden Anlagen im Bereich der Turbinenkammern S4 bis S6.

Bild 11, Mitte. Neugestaltete Einläufe S1 (rechts) bis S3.

Bild 12, unten. Turbineneinlauf mit Rechenträgerprofilen im Vordergrund.



Bild 13. Querschnitt neue Anlage 1:500.  
Die Ziffern bezeichnen die Betonieretappen.



ten Zwillingsrohre in jeder Einheit und Ausweitung durch Abschälen der äusseren Wandung erreicht.

Vor den Ausbrucharbeiten im Saugrohr mussten die darüberliegenden Aussenwände des Maschinenhauses ober- und unterwasserseitig durch bewehrte und durch die Wand verankerte sogenannte «Betontapeten» aussen und innen abgefangen werden.

Im Ostflügel wurde in Höhe der oberen Decke zur Stabilisierung während der Ausbruchphase der bestehenden Konstruktion ein Stahlrahmen mit Eckversteifungen eingebaut, der später nach Einbau der letzten Stahlbetondecke wieder entfernt wurde.

Für den Neubau des Nebengebäudes wurde zunächst eine Spundwand bis in den Fels gerammt, danach wurde mit dem Aushub begonnen. Die Spundwand wurde in mehreren Lagen durch schräg in den Untergrund gerichtete Spannanker gesichert.

Als Besonderheit sei erwähnt, dass das Nebengebäude im Felsbereich durch lagenweisen Ausbruch mit anschliessendem Betonieren von umlaufenden Wandabschnitten von *oben nach unten* gebaut wurde. Zur Stabilisierung wurden in Höhe der später einzubauenden Stahlbetondecken Stahlrahmen mit Eckenaussteifung eingebaut. Mit diesem Verfahren war es möglich, während der Bauphase einen genügend grossen Freiraum offenzuhalten, um schweres Gerät beim Felsausbruch einzusetzen.

### Betonarbeiten

Für den Bauablauf – im wesentlichen die Betonarbeiten – waren bestimmte Voraussetzungen von entscheidender Bedeutung:

- Die Gesamtstabilität in Längs- und Querrichtung muss in allen Bauphasen voll gewährleistet sein. In Querrichtung müssen die enormen Druckkräfte aus der Spundwandumschliessung sicher auf bestehende oder neu aufgebaute Betonkonstruktionen abgetragen werden. In Längsrichtung müssen die im Bau befindlichen Einheiten so aufeinander abgestimmt sein, dass genügend neu errichtete Betonkonstruktionen zur Aussteifung zur Verfügung stehen und der in Etappen erfolgende Ausbruch der jüngst in Angriff genommenen Einheit noch den sicheren Betrieb der benachbarten Turbineneinheit erlaubt.

- Für den termingerechten Ablauf der nachfolgenden Hauptmontage der Strafloturbine mit bis zu 50 t schweren Einzelkomponenten muss der Portalkran über die betreffende Einheit fahren können.

Erfüllt wurden die Forderungen u.a. durch eine in den einzelnen Abschnitten exakt aufeinander abgestimmte Betonierfolge und den gezielten Einsatz von Stahlbetonfertigteilen aus Gründen der Zeitersparnis.

Um die erforderliche äusserst genaue Positionierung der Mauerringe, zwischen denen später die Turbine montiert werden sollte, zu ermöglichen, wurden beide Mauerringe mit Hilfe einer Einbaulehre vormontiert, versetzt, genau eingemessen und durch Zweitbeton mit der vorgängig erstellten Betonkonstruktion verbunden.

Die unterschiedlich einzuhaltenden Masstoleranzen des Rohbaus und des Maschinenbaus konnten so auf eindrucksvolle Weise zeitsparend erfüllt werden.

### Schlussbetrachtung

Dank des gut durchdachten Umbaukonzeptes und der konsequenten Umsetzung des Terminplanes konnten alle Ecktermine ohne Ausnahme eingehalten bzw. teilweise unterschritten werden.

Der Produktionsverlust durch die Baumassnahmen betrug 83,193 GWh.

Die Umbaukosten blieben im Rahmen des erstellten Budgets. Die unter Regie ausgeführten Arbeiten und Nachträge konnten in der Summe unter 10 % der Gesamtrohbaukosten gehalten werden.

Es mussten 14 700 m<sup>3</sup> alte Betonkonstruktionen ab- bzw. ausgebrochen und zusätzlich 9500 m<sup>3</sup> Aushubmaterial bewegt werden.

Neu eingebaut wurden 19 400 m<sup>3</sup> Beton und 1600 t Baustahl.



## Straflomaschinengruppen

### Einleitung

Fünf der bisher zehn weitgehend gleichen Francisturbinen mit jeweils vier auf die gemeinsame horizontale Welle wirkenden Laufrädern samt den direkt gekuppelten Generatoren und die eigenständigen Erregermaschinengruppen des Kraftwerkes wurden durch sechs Maschinengruppen grösserer Schluckfähigkeit ersetzt. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten mussten die vorhandenen Achsabstände zwischen den Maschinengruppen beibehalten werden. Damit war die räumliche Vorgabe für den Einbau der sechs neuen Maschinen gegeben. Neben der Kosten/Nutzen-Rechnung sprachen technische Argumente, wie ausreichendes Schluckvermögen, einfacher Einbau sowie gute Zugänglichkeit und insbesondere die kompakte Konstruktion, für die Wahl der Strafloturbinen. Die fünf für den Weiterbetrieb verbleibenden Francisturbinen wurden saniert und mit modernen Turbinenreglern ausgerüstet. Sie erhielten ferner eine statische Erregung, eine neue Hydraulik und wurden in das neue Leittechnikkonzept eingebunden.

### Turbinengeneratorgruppe

Die Strafloturbine ist eine Propellermaschine, deren hydraulisches Profil dem einer Rohrturbine ähnelt. Die Maschine ist einfach reguliert, d. h. die Laufradschaufeln sind feststehend. Der Wirkungsgrad der Maschine wurde bei einem vorgegebenen Gefälle auf einen bestimmten Wasserdurchfluss optimiert. Der Aussenkranz der Turbine ist mit Lippendichtungen ausgerüstet. Für eine einwandfreie Funktion ist eine begrenzte Leckwassermenge erforderlich. Die Funktionskontrolle der Dichtungen erfolgt deshalb durch eine kontinuierliche Überwachung des Leckwassers. Die Dichtungsart erlaubt es, auf die Zuführung von Sperrwasser samt dessen anspruchsvoller Aufbereitung zu verzichten. Die Lagerung der Maschine erfolgt innerhalb der Laufradnabe und besteht aus zwei Radiallagern und einem beidseitig wirkenden Axiallager. Der Lagerträger ist über den inneren Leitradkonus und Zuganker oberwasserseitig so mit dem Bauwerk verbunden, dass auf dem kürzesten Weg die Kräfte ins Fundament eingeleitet werden.

Die Strafloturbine hat eine um  $6,5^\circ$  zur Horizontalen geneigte Achse. Kennzeichnend ist die konzentrische Anordnung des Generators um das Laufrad. Die kurze Bauweise der Strafloturbine ermöglichte die Umbauarbeiten hinter Spundwänden im Bereich der bestehenden Abschlussorgane. Die sechs neuen Straflomaschinen mit einem Laufraddurchmesser von 3,80 m und einer installierten Leistung von je 4,5 MW verarbeiten zusammen mit den verbliebenen fünf Francisturbinen eine Wassermenge von  $750 \text{ m}^3/\text{s}$ , was der Hälfte der konzessionierten Gesamtwassermenge entspricht.

### Stator

Das Gehäuse des Stators ist eine einteilige, sehr steife Schweisskonstruktion, die für die bei Störfällen, wie z. B. Stosskurzschluss, auftretenden Kräfte dimensioniert ist. Zum Transport und zur Montage sind zwei Anhängepoller im Gehäuse integriert, die das Anhängen an eine Tragkonstruktion zum Einfahren und Montieren des Stators erlauben. Die auf den Stator wirkenden Kräfte werden über drei Einspannstellen in die Fundamente eingeleitet. Dies geschieht durch zwei als Federn ausgebildete, seitlich am Generator integrierte Füße und über den Abstützbock an der Unterseite des Statorgehäuses. Diese Aufstellungsart erlaubt die freie radiale Dehnung des Stators bei Erwärmung und garantiert die Einhaltung des konzentrischen

Luftspaltes. In Umfangsrichtung ist der Stator jedoch fest eingespannt.

Das Blechpaket ist ohne radiale Luftschlitze aus kaltgewalzten, verlustarmen und gegeneinander isolierten Dynamoblechen von 0,5 mm Dicke durchgehend überlappt geschichtet. Mit Doppelschwalbenschwanzkeilen ist das Blechpaket mit dem Statorgehäuse radial und tangential verbunden. Diese Statorkeile sind gleichzeitig Zuganker für die Pressung des Blechpaketes. Die Blechsegmente liegen oberwasserseitig auf der durchgehenden Gehäuseewange, unterwasserseitig sind segmentierte Pressplatten zur Übertragung der Presskraft eingebaut.

Die Wicklung der Maschine ist eine Zweischicht-Schleifenwicklung aus Ganzformspulen, die im Vakuum mit Kunstharz imprägniert und deren Spulenschenkel anschließend in einer Ausbackform auf Mass gepresst und ausgehärtet wurden. Nut- und Bügelteil der Spulen sind mit einem Glimmschutzanstrich versehen. Die Wicklung ist in die offenen Nuten des Blechpaketes eingelegt, die mit Keilen aus glasfaserverstärkten Laminaten verschlossen sind.

Die einzelnen Windungen der Spulenseiten bestehen aus parallel geführten isolierten Teilleitern. Die Spulen sind über Verbindungen zu Spulengruppen geschaltet. Die Verbindungsstellen sind hartgelötet. Die Wicklungsenden der parallelen Kreise sind über Rundverbindungen in die Statorklemmenkasten herausgeführt. Mit harz imprägnierten Glasfaserkordeln werden die Spulenköpfe untereinander distanziert und abgestützt.

Die Kühlung der Maschine erfolgt in einem geschlossenen Kühlluftkreislauf. Die Kühlluft strömt in axialer Richtung durch die Maschine und nimmt dabei die Verlustwärme auf. Als äusserer Luftabschluss und zum Schutz gegen Spritzwasser sind am Gehäuse Verschalungen befestigt, an deren innerem Umfang eine Labyrinth-Dichtung mit

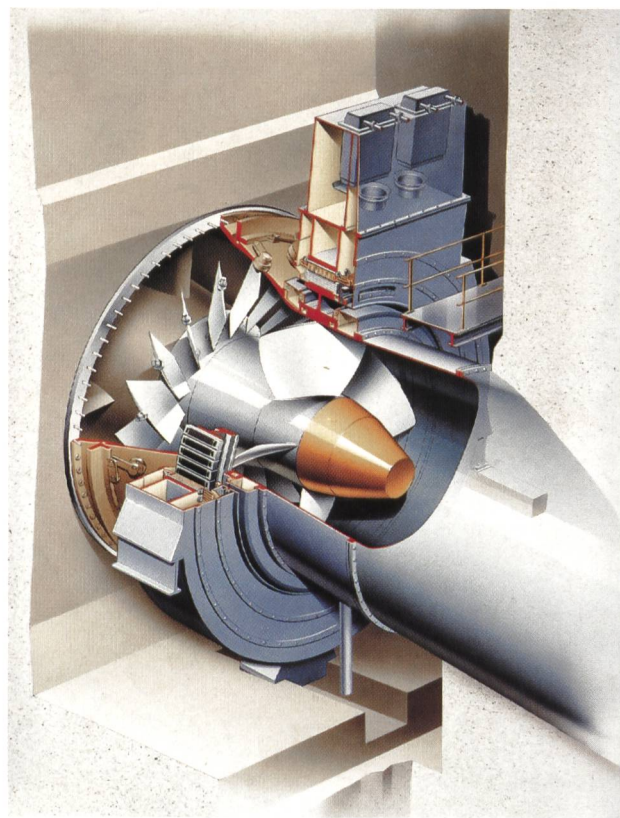


Bild 14. Schnittzeichnung einer Straflo-Turbine mit Aussenkranz-generator vom Unterwasser her gesehen.



Wasserfänger angebaut ist. Im Bereich der Kohlebürsten befinden sich zwei aufklappbare Sichtfenster zu Inspektionszwecken.

## Rotor

Der Aussenkranz der Turbine dient als Polradkranz, auf dem die einzelnen Pole mit Dehnschrauben befestigt sind. Der axial verlängerte Aussenkranz der Turbine ist oberwasserseitig als Bremsring ausgebildet, unterwasserseitig sind die Schleifringe angebaut. Wegen des grossen Durchmessers der Schleifringe können nur sehr geringe Ovalitäten zugelassen werden.

Der Polkörper aus lamellierten Stahlblechen mit 1 mm Stärke wird in einer Vorrichtung geschichtet und gepresst. Nach dem Einsetzen der durchgehenden Stahlbolzen in das unter Pressdruck stehende Polblechpaket werden die Stahlbolzen mit dem jeweiligen Endpaket verschweisst.

Die einzelnen Windungen der Polspulen sind aus gezogenen Hartkupferprofilen gefertigt. Die Isolation zwischen den Windungen besteht aus vorimprägniertem Nomex. Die isolierte Spule wird unter Druck zu einem festen Verband verbacken. Zur Verbindung der Polspulen untereinander sind die Anfangs- und Endwindungen jeweils mit einem Anschlussbügel versehen. Die Verbindung von Polspule zu Polspule erfolgt durch Laschen, die Verbindung zwischen Polspule und Schleifring über lamellierte, isolierte Ableitungen.

## Erregung

Eine statische Erregungseinrichtung mit Spannungsregler liefert den Erregerstrom für die Polrad-Erregung. Die Übertragung des Erregerstromes erfolgt durch Kohlebürsten auf die Schleifringe, welche über die Erregerstromverbindungen den Erregerstrom der Rotorwicklung zuführen. Der Nennerergerstrom beträgt 619 A, die Nennererregerspannung ist 122 V. Die Schleifringe sind aus einer Buntmetalllegierung hergestellt und besitzen einen Durchmesser von 5140 mm. Die spiralförmige Rillung ihrer Laufflächen bewirkt eine gute Kühlung und verhindert das Ansammeln von Kohlestaub unter den Bürsten.

Die Konstruktion der Bürstenbrücke ermöglicht das Abheben der beiden Bürstenträger-Segmente mitsamt den

Tabelle 1. Technische Daten.

	Kraftwerk vor Umbau	Kraftwerk nach Umbau
Ausbauwassermenge	420 m <sup>3</sup> /s	750 m <sup>3</sup> /s
Nettogefälle	4,2 – 6,7 m	4,2 – 6,7 m
Installierte Leistung	23 MW	38,5 MW
Nennspannung	6,8 kV	6,8 kV
Turbinentypen	10 Francisturbinen	5 Francisturbinen 6 Strafturbinen
Nennndrehzahl	107,14 U/min	93,75 U/min
Mittlere Jahresproduktion der Anlage	125 Mio kWh	203,5 Mio kWh

Kohlebürsten von den Schleifringen. Dies erfolgt durch einen doppelwirkenden pneumatischen Druckzylinder, der zwischen den beiden Bürstenbrücke-Segmenten eingebaut ist. Die in ihren Halterungen gleitenden Bürsten werden von einer Rollbandfeder auf die Schleifringe gedrückt. Der Strom wird der Kohlebürste über Litzen zugeführt.

Links und rechts der Bürstenbrücke befindet sich der Schleifringraum, aus welchem der durch Abrieb anfallende Kohlestaub mittels einer Absaugvorrichtung entfernt wird, wobei vor dem nachgeschalteten Sauggebläse ein Filter eingebaut ist.

## Kühlung, Bremsanlage, Stillstandsheizung

Die Generatorkühlluft wird über Luft/Wasser-Rippenrohrkühler rückgekühlt. Die Kühlluft wird mit Fremdventilatoren umgewälzt, die über dem Generatorstator eingebaut sind. Die Abwärme der Generatoren wird in zwei Wärmepumpen zur Kraftwerksheizung genutzt, wobei diese in Serie zu den Luft/Wasser-Wärmeaustauschern geschaltet sind. Die Abwärme wird durch den Sekundärkreislauf des Kühlsystems abgeführt.

Die Not- und Stillstandsbremsung erfolgt durch eine pneumatisch betätigte Bremsvorrichtung. Bei normaler Maschinenabschaltung wird die Bremse aktiviert, wenn die Rotordrehzahl auf 20 % der Nennndrehzahl abgesunken ist. Die Bremsvorrichtung ist jedoch so ausgelegt, dass bei Notabschaltung die Bremsung zum Stillstand bereits bei 30 % der Maschinennennndrehzahl eingeleitet wird. Vier

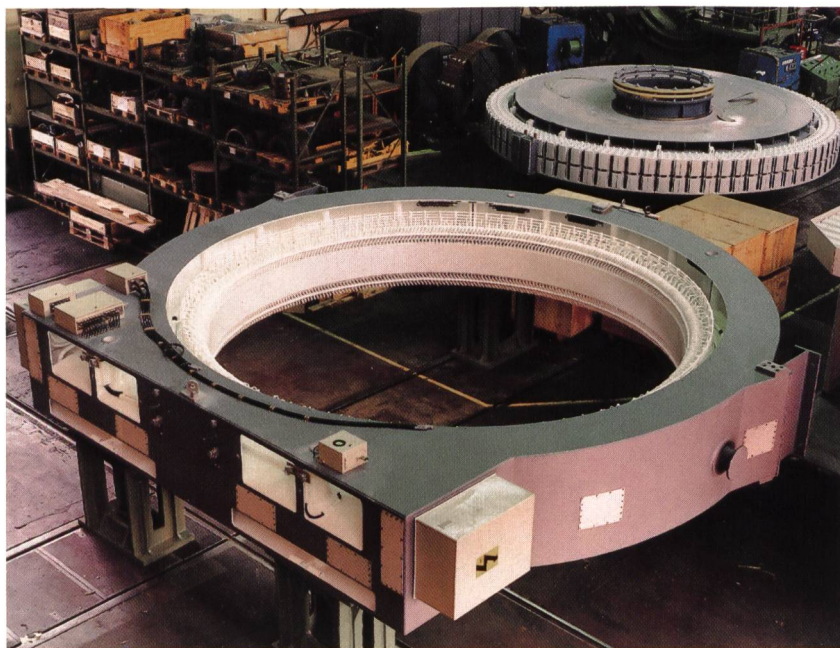


Bild 15. Montagefertiger Stator in der Werkhalle.

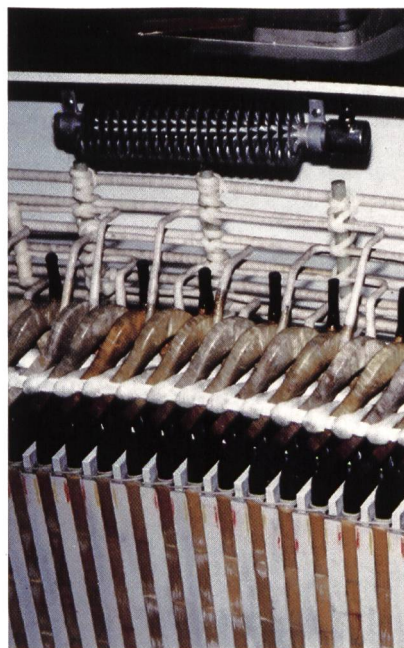
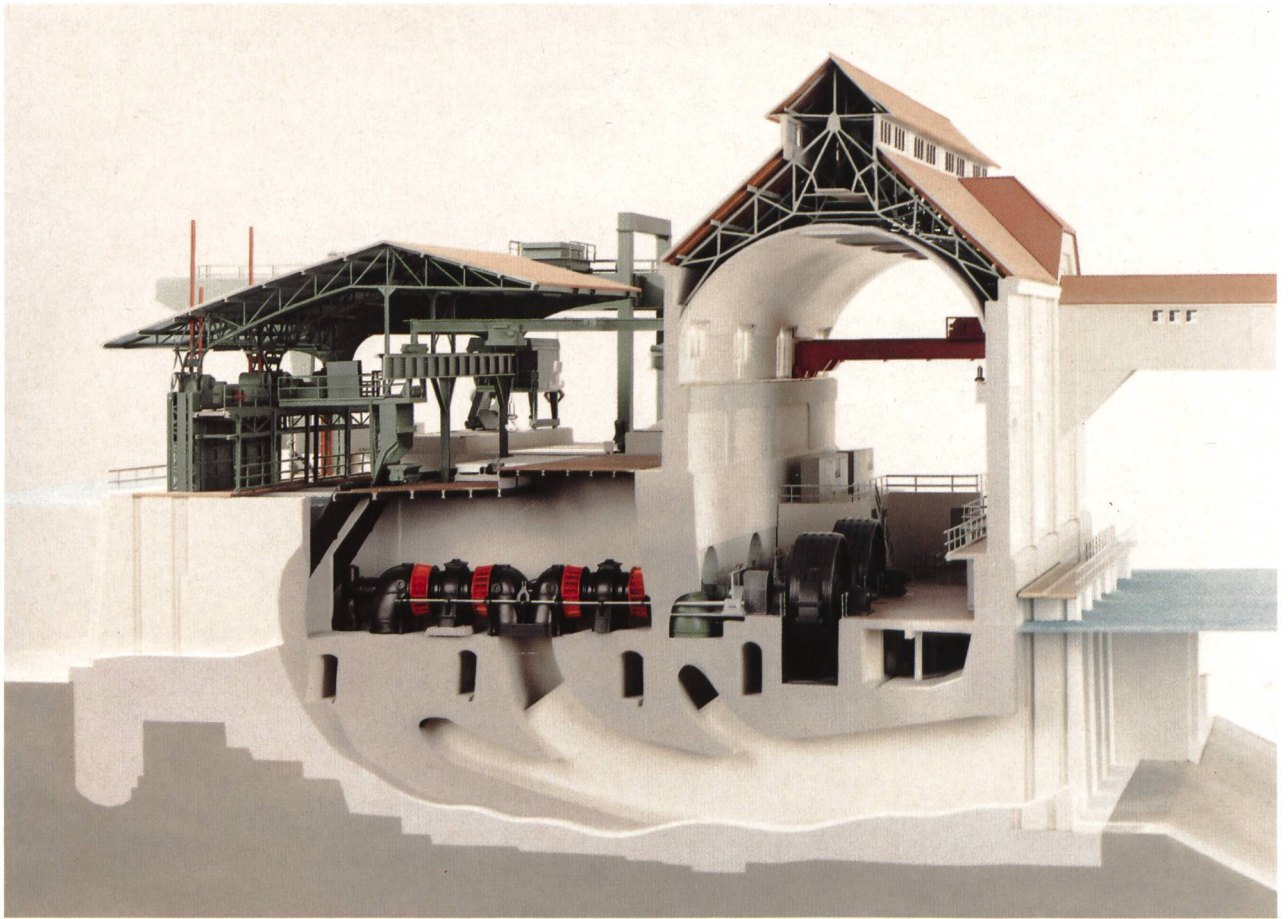


Bild 16. Wickelköpfe, Statorspulen und Stillstandsheizung.





Bilder 17 und 18. Aufgeschnittene Modelle, oben der alten Anlage und unten der umgebauten Anlage.

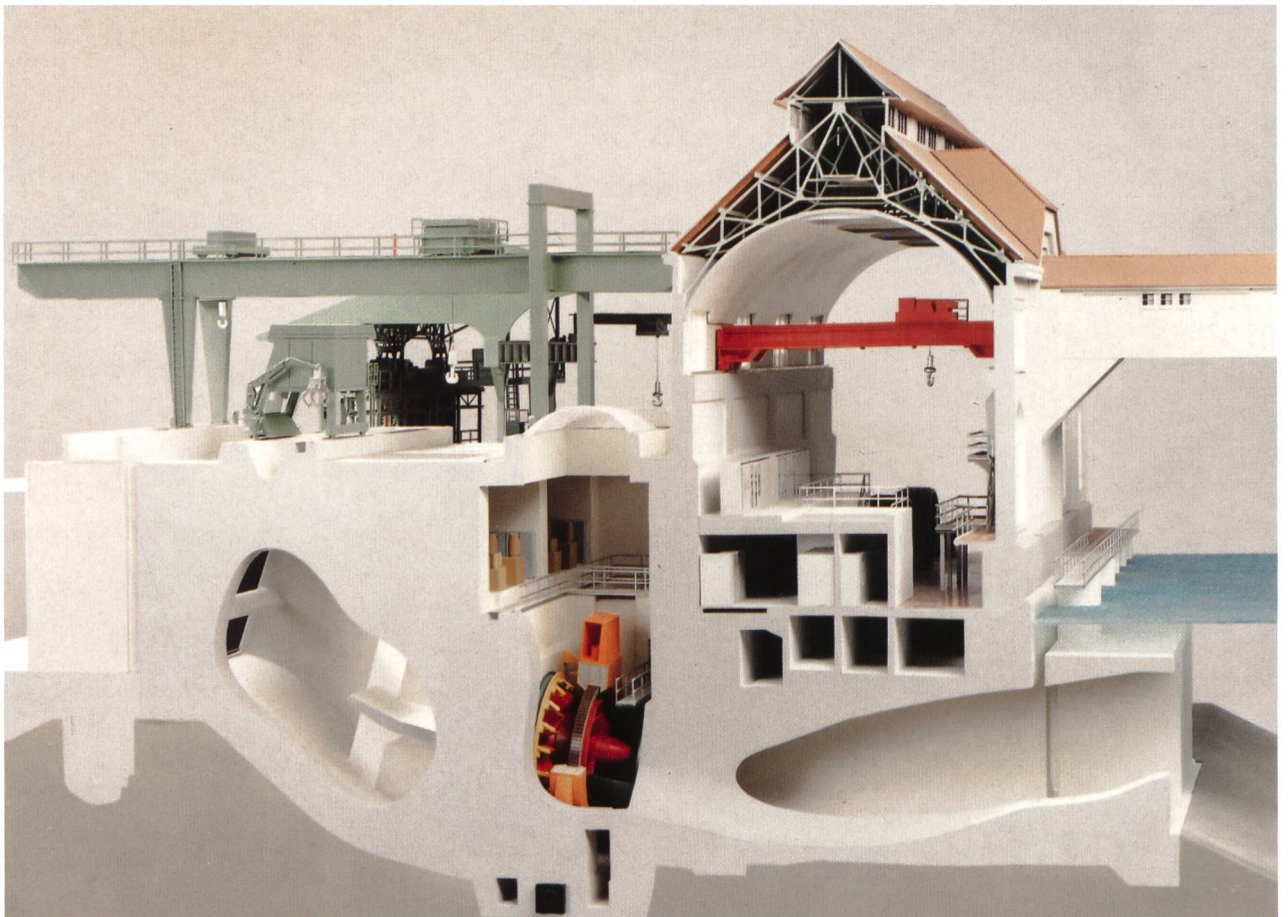




Bild 19. Schnitt 1:500 durch die bestehende Anlage mit Francis-Gruppen.

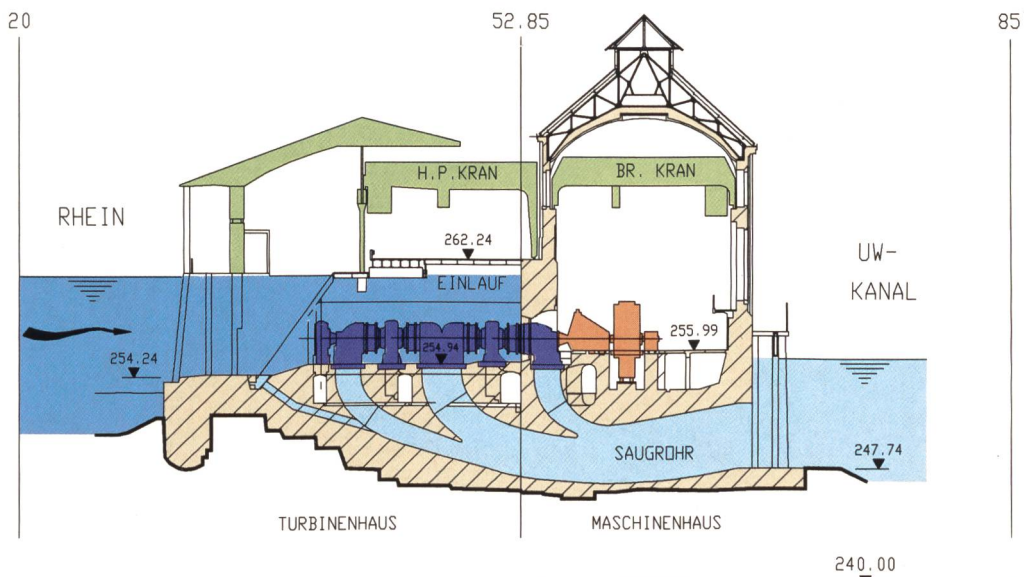


Bild 20. Schnitt 1:500 durch die neue Anlage mit Straflo-Maschinengruppen.

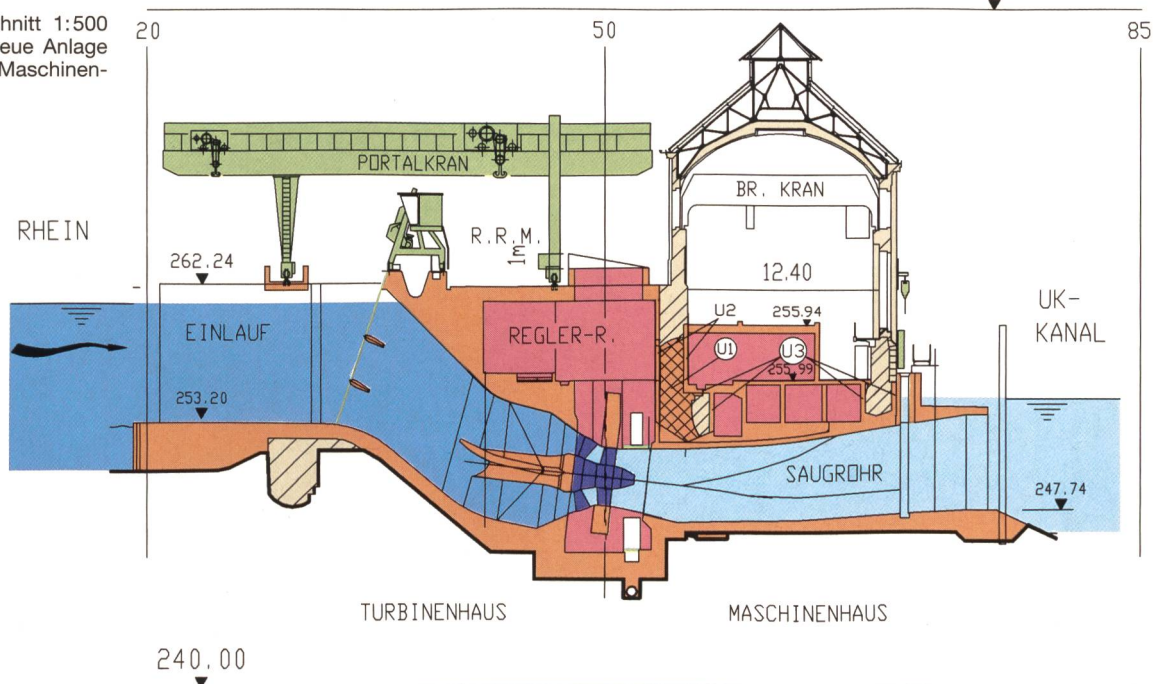
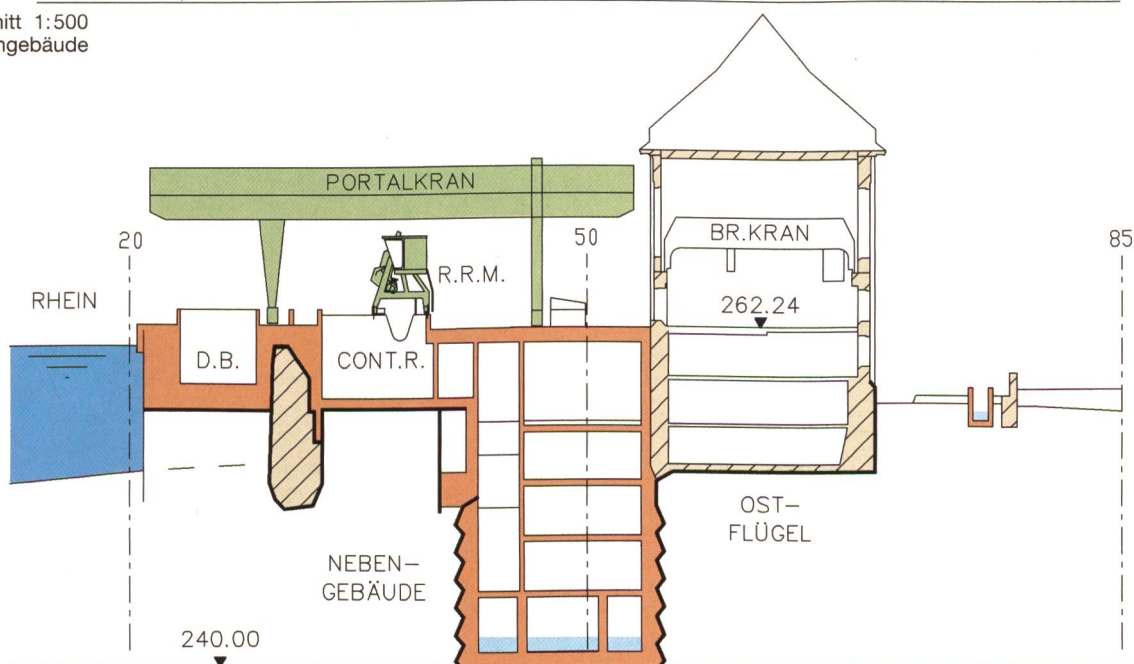


Bild 21. Schnitt 1:500 durch Nebengebäude und Ostflügel.





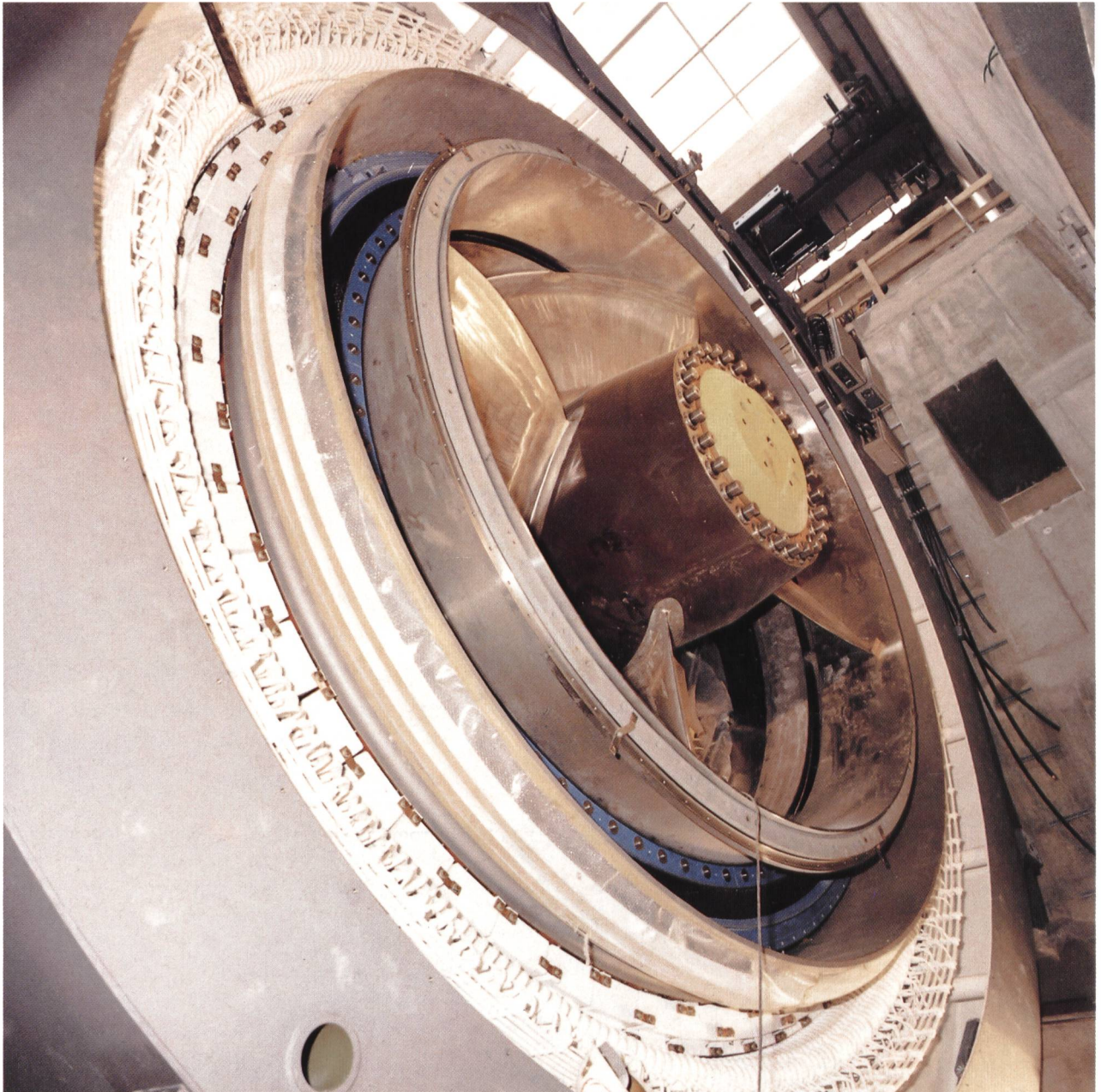


Bild 22. Der Stator wird über das bereits montierte Laufrad geschoben.

Bremszangen wirken auf den oberwasserseitig als Bremsring verlängerten Polradkranz.

Kondensatwasserbildung bei längerem Maschinenstillstand wird durch eine thermostatisch gesteuerte Stillstandsheizung, die in den Wickelkopfräumen des Stators eingebaut ist, vermieden.

## Energieableitungskanal mit Hochstromschienenverbindung

### Einleitung

Das Umspannwerk des Kraftwerkes Wyhlen wurde 1908 nicht als Freiluftanlage, sondern als Gebäude konzipiert. In diesem Gebäude befindet sich eine Warte mit Steuer- und Überwachungseinrichtungen für den Kraftwerks- und Netzbetrieb sowie diverse Nebenanlagen. Zur räumlichen Verbindung zwischen der 6,8-kV-Schaltanlage im Kraft-

werk und dem Umspannwerk wurde ein unterirdischer, ca. 200 m langer begehbare Betonkanal gebaut. Anstelle der im Umspannwerk befindlichen alten 6,8-kV-Schaltanlage wurde eine neue 6,8-kV-Schaltanlage im Bereich der ausgebauten Generatoren im alten Kraftwerksgebäude erstellt.

Durch den begehbaren Betonkanal werden auch die Trassen für MS- und MSR-Kabel geführt, Raum für eine eventuelle spätere Erweiterung ist vorgesehen.

### Hochstromschienenverbindungen

Für die Ableitung der elektrischen Energie durch den Betonkanal wurde ein System gewählt, das auf dem vorhandenen Platz ohne Probleme untergebracht werden konnte, einfach zu montieren war, keine künstliche Belüftung benötigt sowie berührungssicher und wartungsfrei ist. Folgende technischen Daten der Anlage waren vorgegeben:

Nennleistung 40 MVA, Betriebsspannung 6,8 kV, thermischer Kurzschlussstrom 1 s 50 kA, Stosskurzschlussstrom 125 kA, Betriebsfrequenz 50 Hz, Umgebungstemperatur



minimal  $-20^{\circ}\text{C}$ , maximal  $+40^{\circ}\text{C}$ , Luftfeuchtigkeit bis 90 % relative Feuchte. Zur Ausführung kamen zwei Hochstromschienensysteme für eine Nennspannung von 12 kV und einem maximalen Betriebsstrom von 3400 A. Der Querschnitt pro Leiter beträgt  $3829\text{ mm}^2$ .

Jede einzelne Phase der eingesetzten Hochstromschienenverbindungen ist separat isoliert und geerdet, hat kleine Abmessungen, kleine Biegeradien und besitzt eine vollständige berührungssichere Isolation.

### *Duresca-Hochstromschienen*

Der elektrische Leiter ist ein Hohlkörper, genauer ein run-der Rohrleiter aus der Aluminium-Legierung Ac 041. Direkt über dem elektrischen Leiter liegt die Duresca-Isolation, eine Metallfolie als Erdbelag für die kapazitive Erdung und darüber ein lackiertes Metallschutzrohr als Stossschutz sowie Berührungsschutz, das durch eine dünne Isolierschicht vom Erdbelag elektrisch getrennt ist. An den Enden der Isolation bilden leitende Einlagen die Kondensatorsteuerung, die das elektrische Feld axial gleichmässig abbaut.

Die Gleitstrecken sind zum Verhindern von Kriechströmen bei Kondensatbildung mit einem Silikon-Anstrich versehen. Im Gegensatz zu Hochspannungskabelverbindungen, die Endverschluss, Kabel, Endverschluss beinhalten, werden Kriechströme bei der kondensatorgesteuerten Schiene von nur einem homogenen Körper gebildet. Der Erdbelag ist ganz in der Isolation eingebettet und schirmt die Umgebung der Schiene über die ganze Länge von einem Belagsende zum anderen elektrisch vollständig ab.

Durch eine spezielle Herstellungstechnik und die unter Vakuum vorgenommene Epoxyharzimprägnierung der Duresca-Isolation ist sichergestellt, dass bei allen vorkommenden Betriebszuständen keine Teilentladungen auftreten. Die Schienen wurden in Teilelementen von 10 m Länge hergestellt. Dies sind starre Gebilde, die bei der Montage nicht mehr nachgebogen, abgeschnitten oder verlängert werden können. Über den gebogenen Partien der Leiter der Schienen liegt jeweils ein aus CrNi-Stahl gezogener, 0,2 mm dicker Welschlauch, der auf beiden Seiten metallisch mit den Schutzrohren verbunden ist.

Isolierzylinder sind über Verschraubungsstellen zwischen den Schienen montiert. Sie dienen zur Vollisolierung dieser Verschraubungen und bestehen aus einem Isolierrohr, das

in einem Metallrohr liegt. Durch Isolierzylinder können kleinere bauliche Massabweichungen ausgeglichen werden. Wärmedehnungen der Schienen werden durch die flexiblen Verbindungselemente aufgenommen. Die Hochstromverschraubungen sind so ausgeführt, dass sie keine übermässige Erwärmung erzeugen und keine Oxidation entsteht.

Die Befestigung der Schienen ist mittels Schellen aus Kunststoff mit Glasfaserverstärkung ausgeführt worden. Je nach Bedarf sind die Befestigungspunkte «fest» oder «gleitend»: Bei Temperaturschwankungen ändern sich die Schienenlängen. Diese Änderungen werden von den Schienenbefestigungen aufgenommen. Die Lage und die Anzahl der Befestigungen jeder Schiene werden durch die Kurzschlusskräfte bestimmt.

### *Verbindung Schaltanlage und Transformatoren*

Die Verbindungen der Hochstromschienen zur Schaltanlage erfolgen durch flexible Übergangsstücke aus Aluminium, die in Flachanschlüssen enden. Diese Flachanschlüsse sind über Kontaktscheiben mit den Kupferschienen der Schaltanlage verschraubt.

Zu den Transformatoren hin wurden über den Hochstromschienenenden 24-kV-Porzellanüberwürfe montiert. Im Freiluftbereich erfolgt die Energieableitung durch verkupferte Aluminium-Flachanschlüsse. Der 6,8-kV-Transformatoranschluss wurde mit Kupferdehnungsbändern ausgeführt.

### *Erdung*

Die kapazitive Erdung der Hochstromschienen erfolgt über den als Metallfolie in der Duresca-Isolation eingelegten Erdbelag, der durch Erdbandagen mit der Erde verbunden ist.

Das als Stossschutz dienende lackierte Metallrohr über den Hochstromschienen, das auch als Berührungsschutz dient, ist ebenfalls geerdet. Dies gilt auch für alle übrigen Metallteile des Hochstromschienensystems wie Isolierzylinder mit äusserem Metallschutzrohr, Befestigungen und Tragekonstruktionen.



Bild 23. Anbindung des Energieableitungskanals ans Umspannwerk.

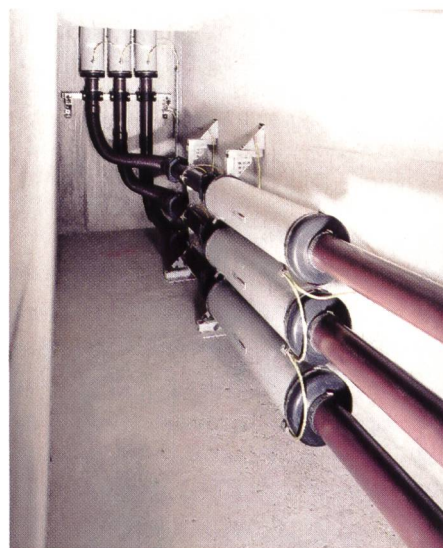


Bild 24. Hochstrom-Schienensystem mit Erdung.





Bild 25. Einführung der Generatorableitungen über Steckverbindungssysteme in die 6,8-kV-Schaltanlage.

## 6,8-kV-Schaltanlage

### Einleitung

Die 6,8-kV-Schaltanlage ist ein wesentliches Bindeglied zwischen den Generatoren und der Fortleitung der elektrischen Energie in das Mittel- und Hochspannungsnetz. Ihre Aufgabe zur Aufrechterhaltung der Energieversorgung muss die Schaltanlage betriebssicher, zuverlässig und wirtschaftlich mit einem Höchstmass an Sicherheit für den Bedienenden erfüllen.

### Wahl der Bauform

Die vorhandene 20-kV- und 110-kV-Netzkonfiguration, in die die 6,8-kV-Schaltanlage einzubinden war, schrieb die Bauart als Doppelsammelschienenanlage vor.

Als wesentliche elektrische Kenngrösse war der sehr hohe Nennkurzzeitstrom von 50 kA bei einer Nennkurzschlussdauer von 1 s und einer Nennspannung von 12 kV vorgegeben. Diese Vorgabe schränkte zum Zeitpunkt der Vergabe die Auswahl der auf dem Schaltanlagenmarkt angebotenen typgeprüften Bauformen und ihrer Varianten sowie den Kreis der möglichen Lieferanten erheblich ein.

Tabelle 2. Anlagen-Nennndaten

Nennspannung	12 kV
Isoliervermögen	Liste 2
Betriebsspannung	6,8 kV
Nennstossstrom	125 kA
Nennkurzzeitstrom	50 kA
Nennkurzschlussdauer	1 s
Sammelschienen-Nennbetriebsstrom	3400 A
Nennbetriebsstrom Ableitungsfelder	3400 A
Nennbetriebsstrom Generatorfelder	1250 A

Für die Auswahl der Schaltanlage wurde von dem Betreiber ein umfangreicher Anforderungskatalog erstellt, in dem neben den elektrischen Kenngrössen Kriterien für höchste Personensicherheit, Betriebssicherheit und Anlagensicherheit festgeschrieben wurden.

Wesentliche Forderungen waren z. B.:

- Die Schaltfelder müssen störlichtbogengeprüft sein und die Kriterien 1 bis 6 von DIN VDE 0670, Teil 601, PEHLA-Richtlinie Nr. 4 und IEC 298, Appendix AA, erfüllen für die Anlagen-Nennndaten.
- Das System der allseitigen Schottung ist konsequent auch im Kabelanschlussbereich einzuhalten.
- Die Dauerstromtragfähigkeit und die Einhaltung der geforderten Temperaturwerte sind vom Lieferanten nachzuweisen.
- Es sind Massnahmen gemäss DIN VDE 0670, Teil 6, und IEC 298 vorzusehen zur Verminderung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und zur Begrenzung der Auswirkungen von Störlichtbögen. Entsprechende Schutz Einrichtungen müssen bei kleinen Fehlerströmen ab 4 kA auslösen. Die Ansprechzeit darf 20 ms nicht überschreiten.
- Die Leistungsschalter müssen ohne Wartung mindestens 10 000 Ausschaltungen mit Nennbetriebsstrom und 50 Ausschaltungen mit Nennkurzschlussausschaltstrom beherrschen. Die Antriebe müssen nur alle 10 Jahre geschmiert werden.

Bei Berücksichtigung der Anlagen-Nennndaten und der Anforderungen des Betreibers wurde als Bauform eine trennerlose, luftisolierte, typgeprüfte, metallgekapselte und metallgeschottete Anlage mit Vakuumleistungsschaltern in Einschubtechnik ausgewählt. Die Aufstellung erfolgte in Duplex-Ausführung einreihig Rücken an Rücken, wobei die einzelnen Schaltfelder der Doppelsammelschienenanlage vollständig mit Leistungsschaltern bestückt wurden.

### Disposition der Schaltanlage

Bei der Aufteilung der erforderlichen Schaltfelder wurde grosser Wert auf eine übersichtliche und symmetrische Anordnung gelegt.

Die Doppelsammelschienenanlage wird in der Mitte durch Längstrennungen in vier Teilabschnitte unterteilt. Die Längstrennungen wurden nicht mit Leistungsschaltern bestückt, da für den normalen Betrieb ein Auftrennen der Sammelschienen nicht gefordert wurde. Eine Vorgabe des Betreibers war, bei einem Störfall innerhalb der Schaltanlage jeweils eine Hälfte der Sammelschiene für Reparaturmassnahmen spannungsfrei schalten zu können. Dazu wurden die Längstrennungen mit einfachen Kupferschienen ausgeführt, die auf Einschüben lastfrei ein- und ausgefahren werden können.



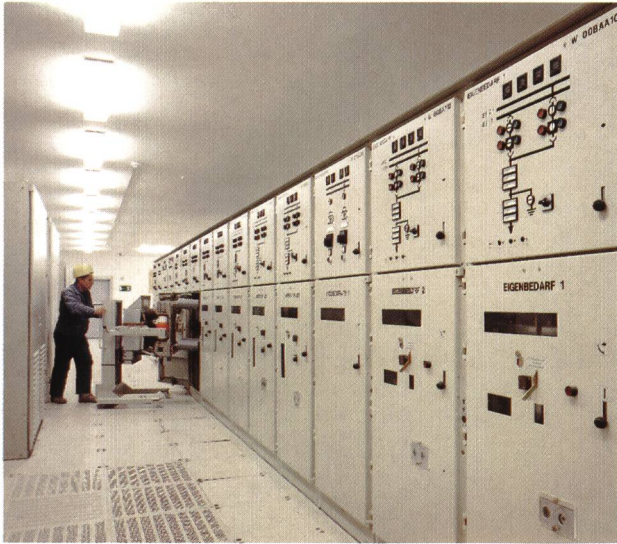


Bild 26. 6,8-kV-Schaltanlage, Hauptfeldseite.

Links und rechts der Längstrennungen ist eine Querkupplung angeordnet. Im Anschluss daran folgt jeweils ein Energieableitungsfeld. Von diesen Ableitungsfeldern führen Hochstromschienen zu zwei Dreiwickler-Transformatoren, die die Verbindung zum 20-kV- und 110-kV-Netz herstellen. Die Kupplungs- und Ableitungsfelder sind aus Redundanzgründen für den Nennstrom der Sammelschiene ausgelegt, so dass die Fortleitung der gesamten Energie über ein Ableitungssystem möglich ist.

Die Ableitungsfelder wurden bewusst in der Mitte der Sammelschiene angeordnet, um bei Ausfall eines Ableitungssystems und der daraus folgenden Fortleitung der Gesamtenergie über nur ein System eine günstige Stromaufteilung auf der Sammelschiene zu erreichen.

Im Anschluss an die Ableitungsfelder folgen im Sammelschienenabschnitt 1 die Einspeisefelder für sechs Straflo-generatoren bzw. im Sammelschienenabschnitt 2 die Einspeisefelder für fünf Francisgeneratoren.

Jedem der Sammelschienenabschnitte ist ein sogenannter Erdungstransformator fest zugeordnet, dessen Belastungseinrichtung im Falle eines Ständererdschlusses in einem der Generatoren das notwendige Messkriterium für eine selektive Abschaltung des fehlerbehafteten Generators liefert.

Links und rechts am Ende der Schaltanlage sind jeweils zwei Schaltfelder zur Einspeisung in die Eigenbedarfseinrichtungen angeordnet.

### Aufbau der Schaltfelder

Die einzelnen Schaltfelder sind mit Stahlblech in die Bereiche Sammelschiene, Leistungsschalter und Kabelanschluss geschottet. Jeder geschottete Raum besitzt eine eigene Druckentlastung, wobei alle Druckentlastungskanäle nach oben aus dem Schaltfeld geführt sind. Durch die Sammelschienenraumschottung ist eine hohe Verfügbarkeit der Sammelschiene bei einem Störlichtbogenfehler im Leistungsschalterraum und/oder im Kabelanschlussraum gewährleistet.

Vom Betreiber wurde grosser Wert darauf gelegt, dass das System der allseitigen Kapselung an keiner Stelle, insbesondere auch nicht im Bereich der Kabel- bzw. Hochstromschienenanschlüsse, durchbrochen wird. Um diese Forderung zu erfüllen, erfolgte der Anschluss aller Mittelspannungskabel über Kabelstecksysteme.

Die äussere Umhüllung der einzelnen Schaltfelder besteht ebenfalls aus Stahlblech, wobei die Schaltanlagenfelder ohne Sammelschienen-Querschottung ausgeführt wurden.

Die Sammelschienen sind in Standard-Flachkupper ohne Isolierung gefertigt. Die Schienen wurden von Feld zu Feld gelascht, damit im Fehlerfall ein leichter Austausch möglich ist.

Die nach DIN VDE 0670, Teil 6, geforderten sehr kurzen Auslösezeiten bei Störlichtbogenfehlern werden durch den Einsatz von pneumatischen Druckschaltern realisiert, die jeden geschotteten Raum auf Druckanstieg überwachen. Bei einem Fehler im Kabelanschlussraum wird das betroffene Feld selektiv abgeschaltet. Bei einem Fehler im Sammelschienenraum wird die gesamte fehlerbehaftete Sammelschiene von den Schutzeinrichtungen freigeschaltet.

Im oberen Teil der Schaltfelder befindet sich ein Niederspannungsschrank, wobei dieser Schrank gegen das übrige Schaltfeld vollkommen geschottet aufgebaut ist. In der Tür des Niederspannungsschranks sind auf der Hauptfeldseite alle Betätigungseinrichtungen und Anzeigeelemente auf einem Blindschaltbild für eine Bedienung vor Ort angeordnet.

### Zusatz-einrichtungen bei den Generatoreinspeisungen

Bei den Schaltfeldern der Generatoreinspeisungen konnten nicht alle erforderlichen elektrischen Komponenten, wie Spannungswandler, Schutzbeschaltung usw., in den Standardfeldern untergebracht werden. Zum Einbau dieser Geräte verwendete man leere typgeprüfte Schaltfelder, in die die Komponenten individuell eingepasst werden konnten. In diesen Schränken wurden jeweils zwei Spannungswandlersätze, die Überspannungsableiter sowie die dem Erregertransformator vorgeschalteten Hochspannungssicherungen eingebaut.

Der ausreichende Platz gestattete es ferner, eine einfache Schienen-Trennstelle zum Generator einzubauen. Mit dieser Trennstelle kann mit einfachen Mitteln die Verbindung der Generatorableitungen zur Schaltanlage für die turnusmässig auszuführenden elektrischen Prüfungen am Generator geöffnet werden, ohne Wandler- oder Kabelverbindungen auftrennen zu müssen.

### Aufstellung der Schaltanlage

Die Schaltanlage wurde in einem Raum aufgestellt, dessen Grad der Zugänglichkeit als Typ A gemäss DIN VDE 0670, Teil 601, ausgebildet wurde, d.h. dieser Raum darf nur Elektrofachleuten und auf dem elektrotechnischen Gebiet unterwiesenen Personen zugänglich sein. Die Druckfestigkeit des Raumes wurde unter Berücksichtigung von Druckentlastungsöffnungen rechnerisch ermittelt.

Die freistehende einreihige Aufstellung ergibt je einen Bedienungsangang auf der Hauptfeldseite und auf der Gegenfeldseite. Die Bedienungselemente für die elektrische Betätigung der Einschübe und Leistungsschalter vor Ort wurden für beide Sammelschienen auf der Front der Hauptfeldseite angeordnet.

Durch die konsequente Schottung der Schaltfelder in Verbindung mit den im Dachbereich der Schaltanlage angeordneten Druckentlastungsöffnungen ist das bedienende Personal im Fehlerfall bis auf die akustische Gefährdung bestmöglich vor austretenden heissen Störlichtbogengasen und Verqualmungen geschützt. Auch nach schweren Fehlern ist das sofortige Betreten der Bedienungsgänge und damit die Durchführung von eventuellen Umschaltungen möglich.



Die Einführung der Hochstromschienen, der Mittelspannungskabel sowie der Steuer- und Meldekabel erfolgt von unten in die Schaltfelder. Hierzu wurde unterhalb der Schaltanlage ein ausreichend dimensionierter Kabelkeller erstellt.

### Zusammenfassung

Bei der Planung und Beschaffung der 6,8-kV-Schaltanlage waren der Schutz des Bedienenden, eine hohe Verfügbarkeit, lange Wartungsintervalle sowie Reparaturfreundlichkeit wichtige Kriterien. Die Betriebstüchtigkeit und der Personenschutz vor direkten Störlichtbogenauswirkungen sind gewährleistet, wenn bestimmte Prüfungen gemäss den Bestimmungen nach DIN VDE 0670 durchgeführt und nachgewiesen werden.

Wird die Anlage mit dem Gebäude als eine Einheit geplant, kann durch entsprechende bauliche Massnahmen der Bedienende im Störfall auch vor indirekten Störlichtbogenauswirkungen, wie Qualm und heissen Gasen, geschützt werden.

### Leittechnische Ausrüstungen

#### Einleitung

Für den Betrieb des Kraftwerkes Wyhlen gelten einige Randbedingungen, die einen massgeblichen Einfluss auf die ausgewählte Leittechnikstruktur hatten.

Die Kraftwerke der Staustufe Augst/Wyhlen werden von verschiedenen Eigentümern betrieben. Der Stauraum muss jedoch zwangsläufig gemeinsam bewirtschaftet werden. Die Konzession schreibt vor, dass die Wasserkraft des Rheins hälftig auf beide Partner aufzuteilen ist.

Beide Kraftwerksbetreiber streben einen weitgehend automatischen und unbesetzten Betrieb an, wobei jeweils unterschiedliche Betriebs- und Bedienphilosophien verfolgt werden.

Im Automatikbetrieb übernimmt eine Oberwasserabflussregelung (OWQ-Regelung) die Führung der beiden Anlagen. Beide Kraftwerksanlagen und das gemeinsame Stauwehr werden von dieser übergeordneten Automatik angesteuert.

Bedingt durch die unterschiedlichen Betriebskonzepte der Eigentümer wurde die Idee einer gemeinsamen leittechnischen Ausrüstung für beide Kraftwerksanlagen frühzeitig aufgegeben. Somit konnten beide Betreiber ihre leit-



Bild 27. Schaltwarte mit Mosaiktafel und Mensch-Maschinen-Kommunikations- (MMK-)Stationen.

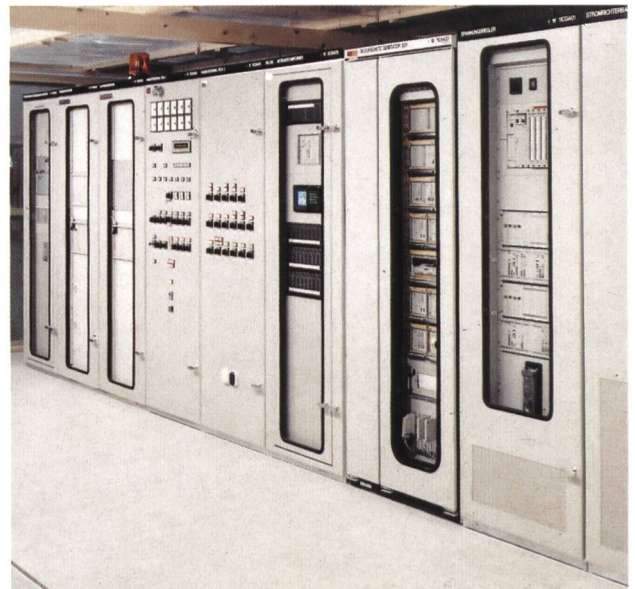


Bild 28. Vorort-Leitstand einer Strafflogruppe.

technischen Konzepte für die jeweilige Kraftwerksanlage nach eigenen Vorstellungen realisieren, allerdings mit den Vorgaben, dass kein Datenaustausch zwischen den Leitsystemen stattfindet und ein übergeordneter OWQ-Regler für die gemeinsame Stauzielregelung in beide Anlagen einzubinden ist.

#### Anlagenkomponenten / Signalumfang

Im Kraftwerk Wyhlen waren folgende Anlagenkomponenten leittechnisch auszurüsten:

- 6 Straflomaschinengruppen
- 5 Francismaschinengruppen
- Stauwehr (10 Schützen, 4 Eisklappen)
- 1 Mittelspannungsschaltanlage mit 24 Schaltfeldern
- Eigenbedarfseinrichtungen
- Nebensysteme, wie z. B. Drainage, Kühlung

Die fünf alten Francismaschinengruppen wurden bereits Mitte der 80er Jahre modernisiert und mit einem Leitsystem ausgerüstet, wobei dieses ältere Leitsystem über eine entsprechende Schnittstelle in die neue leittechnische Ausrüstung einzubinden war.

Eine frühzeitig vor der Auftragsvergabe ausgeführte Prozessanalyse lieferte den Verarbeitungsumfang der leittechnischen Komponenten. Es waren gesamthaft ca. 5000 binäre und ca. 600 analoge Signale bzw. Zählwertsignale zu verarbeiten. Für Änderungen während der Detailprojektierung wurde eine installierte Reserve von 15 % und für spätere Ergänzungen eine Erweiterbarkeit von 35 % vorgesehen.

Für die leittechnischen Ausrüstungen wurde vor der Vergabe ein detailliertes Pflichtenheft ausgearbeitet, in dem die Vorgaben des Betreibers zur technischen Ausführung und zu den Betriebs- und Bedienkonzepten festgeschrieben wurden.

#### Betriebsführungskonzept

Die Bedienung und Überwachung der Kraftwerksanlage erfolgt heute noch im Schichtbetrieb, d. h. die Anlage ist auch ausserhalb der normalen Arbeitszeit ständig mit Personal besetzt. Ferner stehen für die Ausführung von Revisions- und Unterhaltsarbeiten weitere ca. 20 Mitarbeiter zur Verfügung.



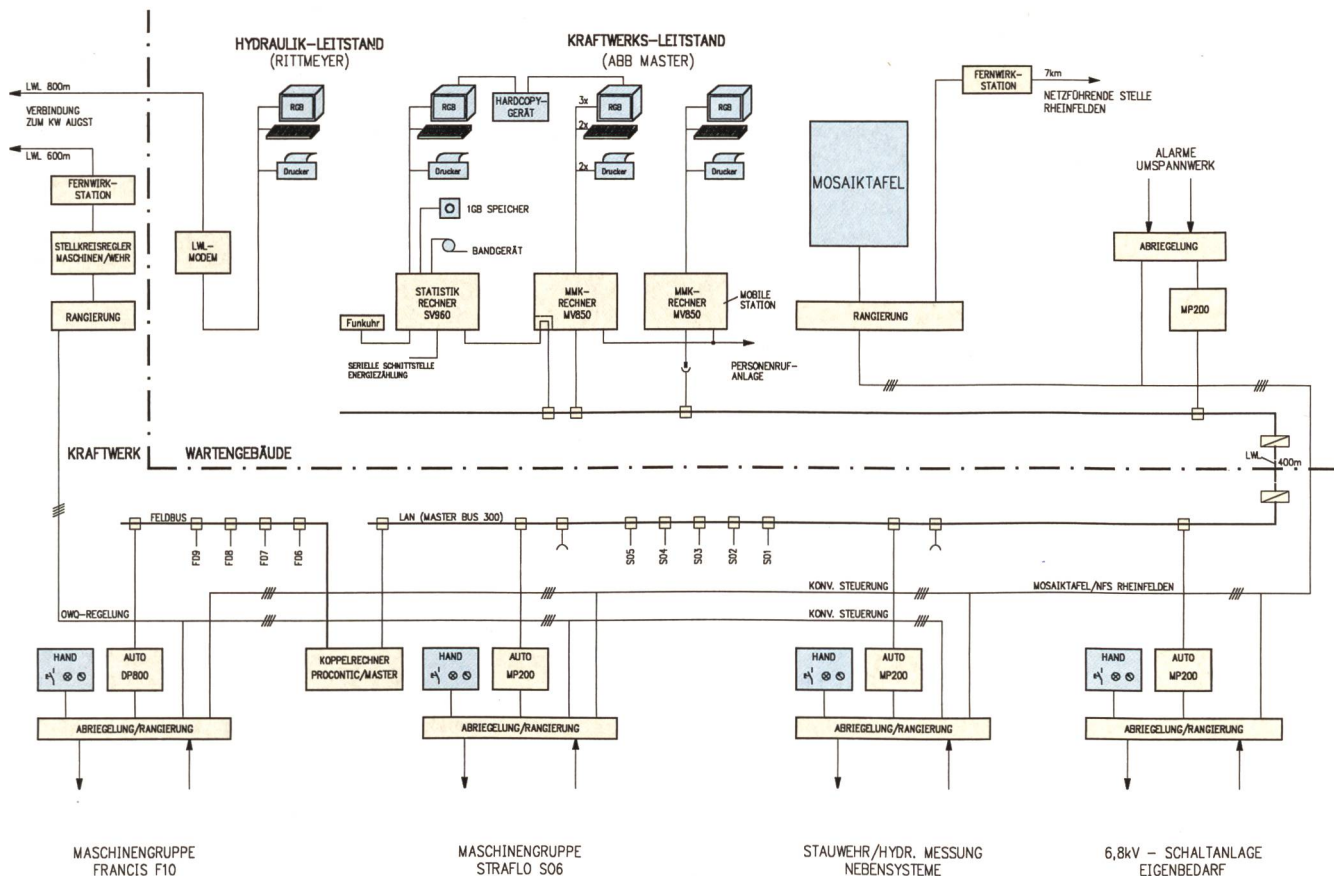


Bild 29. Prinzipschema der Leitsysteme.

Als mittelfristiges Ziel wird angestrebt, den Schichtbetrieb einzustellen, das Kraftwerk ausserhalb der normalen Arbeitszeit unbesetzt zu betreiben, die Revisionsarbeiten zu verlagern und künftig vom Personal der Zentralen Instandhaltungswerkstatt ausführen zu lassen. Neben der Einsparung des Schichtpersonals kann durch die Verlagerung der Revisionsarbeiten das Stammpersonal, das an Werktagen für Wartungs- und Unterhaltsarbeiten in der Anlage tätig sein wird, auf ca. 10 Mitarbeiter reduziert werden. Das im Kraftwerk frei werdende Personal wird der Zentralen Instandhaltungswerkstatt zugeordnet.

Ausser den in der Einleitung angesprochenen Randbedingungen im Hinblick auf das Partnerkraftwerk Augst bildeten die Vorgaben zum mittelfristigen Personaleinsatz im Kraftwerk weitere Kriterien für die Auslegung der leittechnischen Ausrüstungen.

Die Bedienung und Überwachung des Kraftwerkes wird nach Fertigstellung des Projektes von zwei Leitstellen mit unterschiedlichen Aufgaben erfolgen. Eine Leitstelle befindet sich vor Ort im Kraftwerk, eine zweite ist in der ca. 7 km entfernten Netzleitstelle Rheinfelden eingerichtet.

In der Kraftwerkswarte ist der gesamte Kraftwerksprozess detailliert abgebildet. Hier stehen alle Informationen der Anlage zur Verfügung, und von hier kann die Anlage bei einem Ausfall des OWQ-Reglers vom Betriebspersonal gefahren werden. Alle Zustandsänderungen des Prozesses und Bedieneingriffe werden protokolliert. Die für eine sichere und wirtschaftliche Betriebsführung erforderlichen Daten werden von einem Statistikrechner ausgewertet und für eine langfristige Dokumentation abgespeichert. Nachdem das Kraftwerk im Normalfall vom OWQ-Regler geführt wird, muss diese Leitstelle nicht ständig besetzt sein. Eingehende Alarime werden tagsüber dem anwesenden Betriebspersonal über eine Personenrufanlage mitgeteilt. Die

Leitstelle Wyhlen wird also nur im Ausnahmefall mit Personal besetzt.

Ausserhalb der normalen Arbeitszeit wird das Kraftwerk von der Netzleitstelle Rheinfelden überwacht, wobei der Informationsumfang stark verdichtet wurde. Detailliert abgebildet wird nur der Schaltzustand der Maschinenschaltanlage. Von den Generatoren und den restlichen Anlagenkomponenten werden nur die wesentlichen Messwerte, Zustands- und Alarmmeldungen übertragen. Die Aufgabe der Netzleitstelle Rheinfelden ist bewusst auf eine Überwachungsfunktion ohne Eingriffsmöglichkeiten in den Prozess eingeschränkt worden. Bei Störungen innerhalb der Kraftwerksanlage wird der entsprechende Anlagenteil von den schutztechnischen und leittechnischen Einrichtungen in einen sicheren Betriebszustand gefahren. Zur Netzleitstelle Rheinfelden werden nur Meldungen mit wichtigen Informationen für das Bereitschaftspersonal weitergegeben. Bei Störung oder Ausfall des OWQ-Reglers muss das Kraftwerk vom Bereitschaftspersonal besetzt und die Anlage von der Leitstelle Wyhlen gefahren werden.

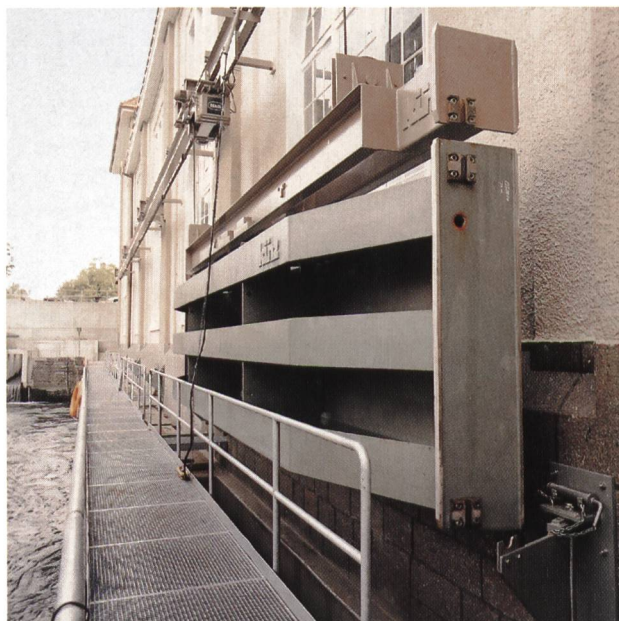
### Bedienkonzept

Für das Kraftwerk wurde ein Bedienkonzept festgelegt, das konsequent und durchgängig für alle Anlagenteile berücksichtigt wurde.

Auf der lokalen Ebene nahe am Prozess wird an Vor-Ort-Leitständen oder einfachen Steuertafeln die Betriebsart Hand oder Automatik und der Betriebsort Lokal oder Fern durch Schüsselschalter vorgewählt. Die Anwahl der Fernbedienung ist nur zulässig, wenn gleichzeitig die lokale Steuereinheit aktiv ist und zur Verfügung steht.

Die Betriebsart Hand ist eine echte Handbedienung, d. h. jede Anlagenkomponente kann auf der lokalen Ebene unabhängig von den leittechnischen Einrichtungen bedient





und überwacht werden. Hierzu wurde die Einzelantriebssteuerebene in konventioneller Relais-technik ausgeführt. Ferner erfolgt die Alarmverarbeitung auf lokaler Ebene unabhängig von der Automatiksteuerung. Vom Prozess eingehende Alarme werden sowohl der lokalen Handsteuerung als auch der Automatiksteuerung zur Verfügung gestellt. Für beide Systeme werden die gleichen Prozesskriterien verwendet, um ein asynchrones Verhalten bei der Alarmverarbeitung zu vermeiden.

In der Betriebsart Automatik übernimmt eine Prozessstation (Automatiksteuerung) die Funktion des Bedieners. Bei den Generatoren ist z.B. in der Prozessstation die Anfahr- und Abstellsequenz für die Maschine abgelegt.

Als zentrale Führungselemente für die Anlage dienen Bildschirmbedienerplätze (MMK-Stationen), Mensch-Maschinen-Kommunikations-Stationen in der Warte des Kraftwerkes.

Als weitere zentrale Bedienstelle steht ausserdem in der Warte eine Mosaiktafel zur Verfügung. Auf dieser Mosaiktafel ist der Kraftwerksprozess in Form eines Blindschaltbildes abgebildet. Die Auswahl der Betätigungselemente, Zustandsanzeigen und Alarmanzeigen wurde so festgelegt, dass das Kraftwerk von der Mosaiktafel im Notfall bedient und überwacht werden kann.

Die Fernüberwachung im unbesetzten Betrieb übernimmt die bereits beschriebene Netzleitstelle Rheinfelden.

Die Einbindung des OWQ-Reglers erfolgte auf der unteren Prozessebene. Für den Betrieb des Kraftwerkes unter dem Regime des OWQ-Reglers muss nur die lokale Automatiksteuerung der jeweiligen Maschine verfügbar sein. Das Kraftwerk kann damit auch dann vom OWQ-Regler geführt werden, wenn die Leitstelle Wyhlen oder die Netzleitstelle Rheinfelden im Störfall nicht zur Verfügung stehen.

### Leitsystemstruktur

Der gesamte Kraftwerksprozess ist funktionell in eigenständige Prozessabschnitte aufgegliedert worden. Das Leitsystem ordnet jedem Abschnitt eine Prozessstation zu.

Die Prozessstationen übernehmen für die jeweiligen Abschnitte die eigentlichen Datenerfassungs- und Automatisierungsaufgaben sowie die Datenvorverarbeitung. Die Verbindung der einzelnen Prozessstationen untereinander und zur Bildschirmbedienstation (MMK-Station) erfolgt über einen Datenbus. Die Daten der Prozessabschnitte stehen nicht nur der eigenen Prozessstation, sondern auch allen weiteren am Bus angeschlossenen Teilnehmern zur Verfügung. Mit dieser Konfiguration werden zentrale Einrichtungen entlastet und die Verfügbarkeit der Gesamtanlage erhöht.

Im Kraftwerk sind insgesamt 10 Prozessstationen installiert. Die Bus-Verbindung ist einfach, die MMK-Station redundant ausgeführt. Eine der MMK-Stationen ist mobil und kann an lokalen Stellen des Prozesses auf den Bus geschaltet werden. Die wesentlichen Funktionen der MMK-Stationen sind:

Bild 30, oben. Lager für die Oberwasserdambalken zum Abschluss der Turbineneinläufe. Im Hintergrund hängt ein Dambalken am Kran.

Bild 31, Mitte. Unterwasserseitige Front des Kraftwerks mit der Laufschiene. Im vierten Feld hängt der Zangenbalken für die Dambalken.

Bild 32, unten. Zangenbalken mit angehängtem Dambalken zum unterwasserseitigen Abschluss der Turbinenausläufe.



- Informationsdarstellung in Form von Fließbildern, Gruppenbildern und Trendkurven.
- Erfassen und Auflisten von Ereignissen und Störmeldungen.
- Dialogfunktionen mit dem Prozess, wie z. B. Vorgabe von Sollwerten, Befehle zum Schalten von Leistungsschaltern.
- Erstellen von Berichten bzw. Protokollen auf Basis der vorverarbeiteten Werte der einzelnen Prozessstationen.
- Informationsweitergabe an die Personenrufanlage.

Für die Archivierung und Langzeitspeicherung ist am Datenbus ein Statistikrechner angeschlossen, in dem historische Daten zu Berichten, Statistiken und Protokollen verarbeitet werden.

### *Zusammenfassung*

Für den umfangreichen und komplexen Prozess in der Kraftwerksanlage Wyhlen wurde ein hierarchisch strukturiertes Leitsystem ausgewählt. Die untere Prozessebene ist nach Kraftwerksabschnitten gegliedert, denen einzelne Prozessstationen zugeordnet sind. Auf der übergeordneten Kraftwerksebene erfolgt über MMK-Prozessbedienstationen die Kraftwerksführung, Optimierung und Protokollierung.

Besondere Randbedingungen waren die zukünftige Personaleinsatzplanung und der Betrieb zweier Kraftwerke mit verschiedenen Eigentümern an der Staustufe Augst/ Wyhlen unter der Führung eines OWQ-Reglers.

### *Ober- und unterwasserseitige Abschlussorgane*

Für Unterhalts- und Revisionsarbeiten an den sechs Strafloturbinengruppen und für den Notfall, dass sich der Leitapparat einer Turbine nicht schliessen lässt, stehen drei ober- sowie zwei unterwasserseitige Dammbalkensätze zum Schliessen der Turbinengruppen zur Verfügung.

#### *Oberwasser-Dammbalken*

Der zweiteilige Dammbalken wird mit einem halbautomatisch arbeitenden Zangenbalken und dem 85-t-Portalkran gesetzt bzw. gezogen. Die vollkommen geschweissten Dammbalken haben durch die eingebauten Rollen die erforderliche Notschlussauglichkeit bei geöffnetem Leitapparat und einer Wassergeschwindigkeit von ca. 2 m/s. Mit den Notenprofil-Seitendichtungen sowie den Wulstprofil-Brustdichtungen und der Flachdichtung als Schwelldichtung wird die geforderte Dichtheit der Dammbalken erreicht.

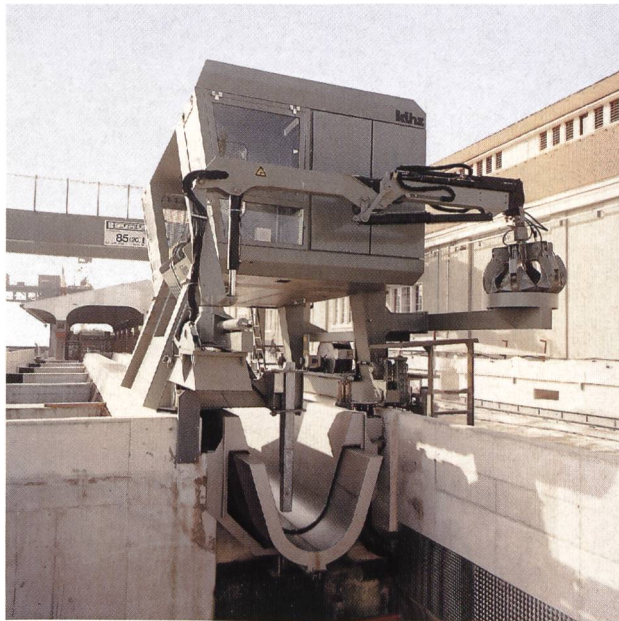
Bereits in der Bauphase dienten die Dammbalken zur Sicherheit und wurden hinter der Spundwand als zusätzlicher Baugrubenschutz eingesetzt.

Die Lagerung der Dammbalken erfolgt in einem versenkten Dammbalken-Depot, das im Einlaufbauwerk platziert wurde.

Bild 33, oben. Einläufe der Turbinen S1, S2 und S3. Links im Bild steht die Rechenreinigungsmaschine. Die Geschwemmselrinne führt zu den versenkten Containern, die das Rechengut aufnehmen.

Bild 34, Mitte. Rechenreinigungsmaschine mit ausgefahrenem Stempel zum Räumen der Geschwemmselrinne.

Bild 35, unten. Die zwei in einer Grube versenkten Container können je 30 t Geschwemmsel aufnehmen, das durch die Geschwemmselrinne rechts im Bild ankommt.





Spannweite	9160 mm
Verschlusshöhe	8700 mm
Gesamtgewicht:	
oberer Dammbalken	135 kN
unterer Dammbalken	142 kN
Aufzugskraft	195 kN

#### *Unterwasser-Dammbalken*

Das Saugrohr wird mit einer 3teiligen geschweissten Gleitdammtafel verschlossen, deren drei Teile an der Maschinenhauswand jeweils über den Saugrohren in zwei schwenkbaren Konsolen aufgehängt sind.

Mittels zweier gekoppelter Elektrozüge wird der Zangenbalken für das Setzen und Ziehen der Dammbalken an einer in der vertikalen Versetzungsebene liegenden Transportschiene in die jeweilige Position gebracht. Bezüglich Form und Tragfähigkeit sind alle Dammbalken gleich dimensioniert, so dass sie beliebig austauschbar sind und in jedem der sechs Ausläufe eingesetzt werden können.

Der dichte Saugrohrabschluss auch bei Hochwasser wird mit einer Wulstprofildichtung an der Oberkante der Dammbalken sichergestellt.

Mit der Nahtstellenbearbeitung zum Rohbau durch den Stahlwasserbaulieferanten wurde sichergestellt, dass die sehr engen Toleranzen für den Betonanschluss der Dammbalkennuten eingehalten wurden.

Die Dammbalkennuten wurden im Erstbeton positioniert und mit dem Zweitbeton des Wandaufbaus fertig vergossen.

Spannweite	8100 mm
Verschlusshöhe	5850 mm
Gesamtgewicht	3 × 54 kN
Aufzugskraft	100 kN

Bild 36. Diagonal versteifter Einlaufrechen vor der Straflo-Turbine.





## Geschwemmselentsorgung

### Rechenanlage

Die gesamte Rechenanlage befindet sich *hinter* den Oberwasser-Dammbalken und konnte im Trockenbau erstellt werden. Die beiden Rechenränder wurden mit vorfabrizierten Betonfertigteilen ausgeführt, wohingegen die Geschwemmselrinne mit Ortbeton erstellt wurde. Allerdings wurden dabei an der Unterseite (= Decke des Einlaufes) Fertigbetonplatten als verlorene Schalung eingesetzt. Dies machte den wegen der Schräge des Absturzes komplizierten Schalungseinbau inkl. der Abstützung überflüssig.

Der Rechen selbst hat einen Stababstand von 145 mm und besteht aus einem Rechteckprofil, das an der Anströmseite angefast ist (5 mm × 45 °). Zur Vermeidung von Schwingungen wurde eine diagonale Verstrebung mit Rundeisen gewählt. Dies erforderte eine besondere Vorbereitung bei der Fertigung: schräge, unter einem Winkel von ca. 10° verlaufende Bohrungen und eine von einem Automaten zu schweisende *ovale* Schweissnaht.

Der Rechen weist eine Beschichtung mit folgendem Aufbau auf:

- Epoxidharz-Zinkstaubfarbe Fiazinc R-A
- Inertol Poxitar (2 Komponenten)

Die geforderte Mindestschichtdicke des gesamten Anstriches betrug 450 µm.

### Rechenreinigungsmaschine

Die Harke der Rechenreinigungsmaschine hat die halbe Einlaufbreite und arbeitet in zwei Geschwindigkeitsstufen:

- langsam beim Absenken bis zur Wasseroberfläche,
- unter Wasser mit Schnellabsenkung.

Tabelle 3. Allgemeine Daten Kraftwerk Wyhlen

Erbaut	1908 bis 1912
Neue Konzession für den Weiterbetrieb auf 80 Jahre	1988
Ausbau des Kraftwerkes	1990 bis 1994
Kosten für den Ausbau	190 Mio DM
Technische Daten	
Ausbauwassermenge	750 m³/s
Nettogefälle	4,2 bis 6,7 m
Installierte Leistung	38,5 MW
Francismaschinen	5
Straflomaschinen	6
Installierte Leistung pro Francismaschine	2,3 MW
Installierte Leistung pro Straflomaschine	4,5 MW
Mittlere erwartete Jahresproduktion der Anlage	203,5 GWh
Wehr: 10 Schütze, (davon 4 mit Eisklappen) mit Ketten betätigt	
OWQ-Regelung für	5 Francisturbinen Wyhlen 6 Strafloturbinen Wyhlen 7 Strafloturbinen Augst 2 Francisturbinen Augst 10 Schütze 4 Eisklappen
	34 Stellglieder

Neben dem hydraulisch betätigten Greifer für grössere Holzteile weist die Rechenreinigungsmaschine noch eine Besonderheit auf: In die Geschwemmselrinne kann hydraulisch ein sogenannter «Räumstempel» abgesenkt werden. Damit ist es möglich, Geschwemmselteile, die nicht vom Spülwasser wegtransportiert werden, mit der Rechenreinigungsmaschine wegzuschieben.

Die Maschine ist für unbesetzten, automatischen Betrieb ausgelegt. Kann ein Einlauf nach zweimaligem Versuch nicht ohne Überlast- oder Schlaffseilmeldung gereinigt werden, wird eine Alarmmeldung zur Warte und von dort per Funkruf an den Bereitschaftsdienst abgesetzt. Ein Putzvorgang aller sechs Einläufe dauert 30 Minuten. Alle Hydrauliksysteme der Rechenreinigungsmaschine verwenden das biologisch abbaubare Panolin-HLP-Synth 32.

### Transporteinrichtungen

Das Geschwemmsel wird mit 300 l/s (Spülwasserpumpe) in zwei Containern mit einem Volumen von je 30 m³ gespült. Die Spülrinnennase (Teleskoprinne) ist hydraulisch ausfahrbar. Das Umsetzen der Container geschieht mit dem 85-t-Portalkran, wobei je nach Füllung auch der 20-t-Hilfszug zum Einsatz kommt.

Der Abtransport der Container erfolgt mit herkömmlichen Container-Fahrzeugen. Das Material wird auf die in der unmittelbaren Nähe des Kraftwerkes befindliche KWR-eigene Kompostieranlage gebracht und dort nach dem Entleeren der Container manuell vorsortiert.

### Kompostieranlage

Die Kompostieranlage ist ausgelegt für einen Jahresdurchsatz von ca. 4800 m³ Grobgut und verarbeitet auch das Geschwemmsel aus den übrigen KWR-Kraftwerken. Auf vier Flächen zu je 375 m² werden die einzelnen Rottephasen aufbereitet:

- Geschwemmsellagerung (Anlieferung)
- Zerkleinerung (Mulch)
- Trapezmieten
- Flächenmieten

Da das aus dem Rhein stammende Geschwemmsel quasi «gewaschen» ist, kommt der Rotteprozess nur schwer in Gang. Das Geschwemmsel wird daher mit Pferdemist des nahegelegenen Bauernhofes «geimpft».

Betrieb der Anlage und Aufbereitung des Kompostes wurden einer Fremdfirma in Auftrag gegeben.



## **Am Ausbau Kraftwerk Wyhlen beteiligte Unternehmen**

### **Bauherr**

Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG, Rheinfelden

### **Projektierung und Bauleitung**

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich

### **Prüfstatik**

Ingenieurbüro Flösser, Bad Säckingen

### **Hydraulische Modellversuche**

Universität Karlsruhe

### **Bauarbeiten und Innenausbau**

ARGE, Arbeitsgemeinschaft:

Dyckerhoff & Widmann AG, Grenzach-Wyhlen

Hochtief AG, Freiburg

Metzger Bau GmbH, Rheinfelden

*Subunternehmer der ARGE für die Bauarbeiten:*

Ernesti, Waldshut

Baugrubenaushub/Abbrucharbeiten

Eurosond, München

Injektionen

Friedrich, Bremerhaven

Spundwände

Kammerer, Rheinfelden

Vermessungsarbeiten

Köberlin, Weil

Schlosserarbeiten/Stahlbau

Martin, Basel

Eisenflechtarbeiten

Schmutz, Grenzach-Wyhlen

Gerüstbauarbeiten und Malerarbeiten

Stefany & Wild, CH-Basel

Taucherarbeiten

*Subunternehmer der ARGE für den Innenausbau:*

Beckert, Wembach

Fliesenarbeiten

Hodapp, Achern

Türen

Mero, Würzburg

Doppelböden

Nepple, Grenzach-Wyhlen

Putz-/Gipserarbeiten

Rufle, Bad Säckingen

Estricharbeiten

Schmid, Lörrach

Malerarbeiten

Schmidt, Eimeldingen

Sanitärarbeiten

### **Blechner- und Dachdeckerarbeiten**

Wunschel, Lörrach

### **Stahlwasserbau**

Hans Künz GmbH, A-Hard

Abschlussorgane, Einlaufrechen, Rechenreinigungsmaschine, unterwasserseitiger Dammbalkenversetzkran, Geschwemmselcontainer

### **Mechanische Ausrüstung**

Bell Escher Wyss AG, Kriens

Strafloturbinen

Brunnhuber GmbH, Augsburg

85-t-, 35-t-, 20-t-, 4-t-, 1,5-t-Krananlagen

Babcock GmbH, Rheinfelden

Rüdtlin, Schopfheim

Scheu + Wirth AG, Frankfurt

Sanitär-, Heizungs- und Lüftungs-, Drainage-, Kühlungs- sowie Pneumatikinstallation

Kramer GmbH, Rheinfelden

Isolierarbeiten und Brandschottungen

Stahlbau Lang GmbH, Wittlingen

diverse Stahlkonstruktionen und Schwerlastbühne

### **Elektrische Ausrüstung**

ABB AG, Mannheim

Generatoren mit Zubehör und leittechnische Ausrüstung

AEG AG, Freiburg

Niederspannungsschaltanlagen, Gleichspannungsversorgung, unterbrechfreie Stromversorgung, Haustechnikinstallationen, Mittelspannungskabel

Clemessy Pratteln

Sauter-Cumulus GmbH, Freiburg

Elektroinstallationen, Schalttafeln und Geräte für Heizung, Lüftung, Sanitär-, Kühl- sowie Drainageanlagen

Moser Glaser AG, Muttenz

Hochstromschienensystem

Rittmeyer AG, Zug

Oberwasserregulierung, Wasserteilung und hydraulische Messungen

Schorch GmbH, Stuttgart

40-MVA-Transformator

Siemens AG, Freiburg

Generatorschaltanlage, Generatorschutzeinrichtungen und Brandmeldeanlagen

### **Austiefung Unterwasserkanäle**

Colenco Power Consulting AG, Baden

Projektierung und Bauleitung

ARGE, Arbeitsgemeinschaft:

Austiefungsarbeiten

Dyckerhoff & Widmann AG, Grenzach-Wyhlen

Hochtief AG, Freiburg

Schleith GmbH, Waldshut

*Subunternehmen der ARGE:*

Hirdes GmbH, Karlsruhe

Ausbaggerung der Unterwasserkanäle

### **Autoren**

Dr. rer. nat. *Gerhard Haury*, Mitglied des Vorstandes der KWR.

*Peter Kesselring*, Prokurist, Leiter der Hauptabteilung «Stromerzeugung und Projekte» und verantwortlich für die übergeordnete Projektsteuerung.

*Klaus Schrenk*, Handlungsbevollmächtigter, Leiter der Abteilung «Kraftwerksplanung» und verantwortlich für die Projektleitung.

*Wolfgang Biesgen*, Betriebsleiter des Kraftwerkes Wyhlen, im Projekt als Fachprojektleiter verantwortlich für E- und Leittechnik.

*Erhard Brögelmann*, Abteilung «Kraftwerksplanung», im Projekt als Fachprojektleiter verantwortlich für Stahlwasserbau, Stahlbau, Hebezeuge und Rohrleitungssysteme.

*Theodor Reumschüssel*, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich, Chefbauleiter der gesamten Umbaumaßnahmen.

Adresse: Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG, KWR, Rheinbrückstrasse 5/7, D-79618 Rheinfelden (Baden).