

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 86 (1994)  
**Heft:** 7-8

**Artikel:** Rheinkraftwerk Laufenburg  
**Autor:** Rehmann, Erwin / Malleis, Konrad / Grob, m Eduard  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940794>

#### **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:** 22.02.2026

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

## 1. Vorwort

Das Kraftwerk Laufenburg (KWL) beliefert über 300 000 Menschen in der Schweiz und in Deutschland mit elektrischer Energie. Mit dem Angebot weiterer Energiedienstleistungen leisten wir einen substantiellen Beitrag zur rationalen, umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Energieanwendung.

Das Rheinkraftwerk Laufenburg wurde in den Jahren 1909 bis 1915 erbaut. Seine Errichtung galt damals aufgrund seiner technischen Dimension und seiner Bauart als eine gewagte Pionierleistung. Im Laufe der Zeit wurden die hydraulischen und elektrischen Anlagen des Werks in mehreren Stufen der technischen Entwicklung angepasst.

Das Rheinkraftwerk ist nicht nur die Wiege unseres Unternehmens, es bildet auch heute noch eine bedeutende Basis für unsere Tätigkeit auf beiden Seiten des Rheins. Es trägt mit dazu bei, unseren Kunden Elektrizität mit einem hohen Anteil an erneuerbarer und umweltfreundlicher Primärenergie bereitzustellen.

Im Jahre 1986 erteilten das Land Baden-Württemberg und die Schweizerische Eidgenossenschaft KWL neue Wasserrechtskonzessionen. Diese sahen unter anderem einen Ausbau des Kraftwerks auf eine Schluckwassermenge von maximal 1420 (bisher 1080) Kubikmeter pro Sekunde vor. Zweck dieser Auflage ist eine bessere Nutzung der Wasserkraft bei Laufenburg. Dies macht Sinn, ist doch die Wasserkraft die einzige einheimische erneuerbare und zugleich CO<sub>2</sub>-freie Energie, die auf absehbare Zeit einen wesentlichen und wirtschaftlich vertretbaren Beitrag zur Elektrizitätsversorgung leisten kann.

Eingehende Variantenstudien zeigten, dass eine umfassende Erneuerung des Kraftwerks unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten die langfristig gesuchte optimale Lösung bildete. Nach einer über 15jährigen Bewilligungs- und Projektionszeit wurde der Umbau in den Jahren 1988 bis 1994 realisiert. Die Erneuerung umfasste alle wichtigen technischen Einrichtungen von den Turbinen bis zur Energieableitung. Trotz fast vollständiger Auskernung wurde das markante äussere Erscheinungsbild des Kraftwerks weitgehend erhalten. KWL investierte in diese grundlegende Erneuerung gegen 400 Mio Franken.

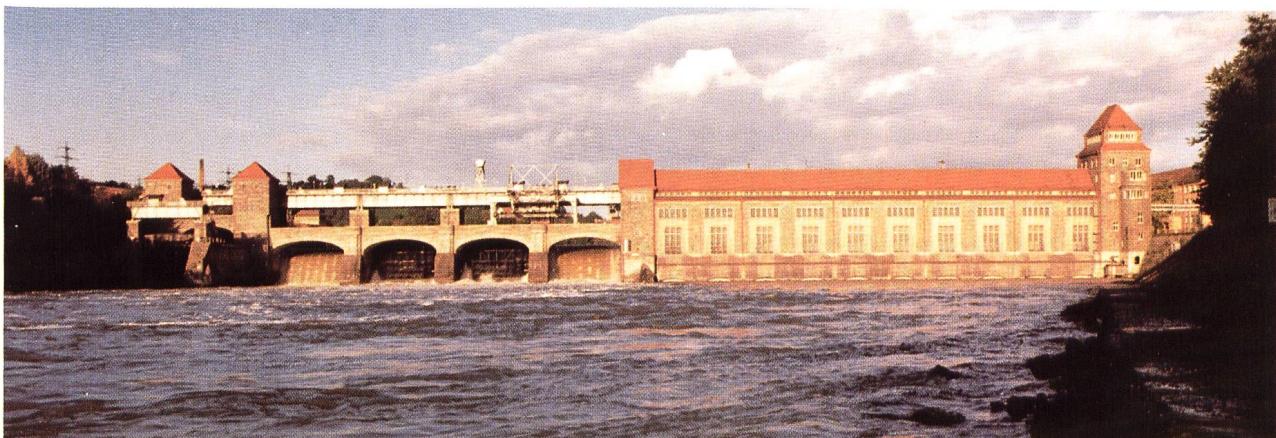
Der Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg stellte an alle Beteiligten hohe Anforderungen. Es ist das erste grössere Flusskraftwerk aus der Jahrhundertwende, das in diesem Umfang erneuert worden ist. Sowohl in der Planungs- als auch in der Projektierungsphase waren deshalb neue Ideen gefragt. Die Ausbauarbeiten wurden dadurch erschwert, dass während der gesamten Bauzeit die Stromerzeugung im Werk in bedeutendem Umfang aufrechterhalten wurde. Die Konzessionsauflage, grössere Aufträge je zur Hälfte nach Deutschland und in die Schweiz zu vergeben, begünstigte die Gründung deutsch-schweizerischer Konsortien.

Trotz der Schwierigkeiten, die mit einem so komplexen Bau verbunden sein mussten, konnte der Umbau termingerecht und innerhalb des vorgesehenen Kostenrahmens realisiert werden. Erste Betriebserfahrungen zeigen, dass sich das neue Werk bewährt.

Das Kraftwerk Laufenburg möchte allen am grossen Werk Beteiligten herzlich danken:

- Die Behörden auf beiden Seiten des Rheins haben die vielen, meist neuen und kniffligen Bewilligungsfragen sachverständigen Lösungen zugeführt. Darüber hinaus haben sie das Projekt in der Ausführungsphase wohlwollend begleitet.
- Die Planer und Ingenieure unter der Federführung der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG und der Göhner Merkur AG haben das komplexe Werk umsichtig projektiert und den anspruchsvollen Bauablauf mustergültig geleitet.
- Über 400 Unternehmen waren am Ausbau beteiligt. Ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter meisterten die schwierigen Aufgaben gekonnt, zielstrebig und kreativ; sie trugen die Hauptlast des erfolgreichen Ausbaus.
- Danken wollen wir den Kapitalgebern für das Vertrauen sowie unseren KWL-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeitern für ihren massgeblichen Beitrag zum Gelingen.
- Nicht zuletzt gebührt unser Dank den vielen Nachbarn im Umfeld des Kraftwerks, die den Ausbau trotz gelegentlicher Geräusch- und Verkehrsbelästigungen mit sympathischem Interesse akzeptierten.

Geschäftsleitung Kraftwerk Laufenburg



## 2. Der Rhein bei Laufenburg – seine politische und wirtschaftliche Bedeutung

Erwin Rehmann

In geologischer Frühzeit soll der Rhein mit der Aare durch das Wutachtal in die Donau geflossen sein. Erst nach der grossen Landabsenkung zwischen Schwarzwald und Vogesen habe er seinen eigenen Weg in die Nordsee gefunden. Später, nachdem er seine erste Talstrecke mit einer 30 bis 40 Meter starken Kiesschicht angefüllt hatte, musste sich beim heutigen Laufenburg die südlichste Gneisnase des Schwarzwaldmassivs gelöst und parallel zur Talsohle eine gegen 50 Meter tiefe Felsschlucht eröffnet haben. «Louffen» nannte man im Mittelalter die sich auf 1300 Meter kataraktartig bis zum Schäffigen hindurchstürzende Stromschnelle. Bei Niederwasser verzog sie sich zwar in eine enge Rinne, konnte aber bei Hochwasser über 17 Meter anschwellen, um als breite reissende Flut und gefürchtete Naturgewalt schäumend über das zackige Felsbett hinwegzudonnern.

Dieser Rheinstrom trug in sich einen grossen Fischreichtum. Wohl am meisten geschätzt waren die am Laufen sich stauenden Atlantiklachse. Grund genug für eine erste Fischersiedlung. Bereits zur Römerzeit waren die Louffentlachse bis nach Ravenna eine begehrte Speise. So auch im

Mittelalter und bis in die Neuzeit. Mit Bären, Reusen und Gehren gefangen, in Fässer verpackt und gesalzen, wurden sie durch die zunftmässig organisierten Fischer mit gesalzener Rechnung bis nach Paris und Innsbruck verkauft.

Gleichzeitig bot sich zu Beginn der Felsschlucht eine hervorragende Gelegenheit zu einer Überbrückung, denn nur bei Hochwasser beanspruchte der Rhein die ganze Breite von 89 Metern bis zum hohen Felssockel, auf dem heute das Städtchen steht. Bei Niederwasser stand die tiefergelegene Felsbank bis auf 12 Meter zum nördlichen Ufer trocken. So liessen sich ohne Schwierigkeit Pfeiler errichten, über die man die Brückenfahrbahn legen konnte. Eine solche Brücke ermöglichte erst eine direkte Talstrassenverbindung zwischen Elsass und Bodenseeraum als nördliche Umgehung des unpassierbaren Sumpfgeländes an der Aaremündung.

Neben der Aufgabe zu deren Instandhaltung und dem Recht zum Bezug eines Brückenzolles brachte sie eine weitere wirtschaftliche Entwicklung, nämlich den Aufbau einer grossgewerblichen Verhüttung des Fricktaler Eisenerzes. Ging doch der für die Holzkohle notwendige Waldbestand auf dem Wölflinswiler Kornberg, wo im Tagbau Erz geegraben und in sogenannten Fuchslöchern geschmolzen wurde, langsam seinem Ende entgegen. Mit der Brücke eröffnete sich auf der nördlichen Rheinseite eine neue, unerschöpfliche Waldreserve (Bild 2-2). Zudem konnte hier eine neue Technik zu mechanischer Krafterzeugung zur Anwendung kommen, indem man die Bachwasser durch künstliche Wuhren bis 26 Kilometer weit her quer über den Südhang des Schwarzwaldes auf das Rheinufer-Sturzgefälle ober- und unterhalb Laufenburgs leitete. Mittels daran installierter Wasserräder konnte man grössere Blasebälge für grössere, Blejen genannte Blasöfen betreiben. Gleich-

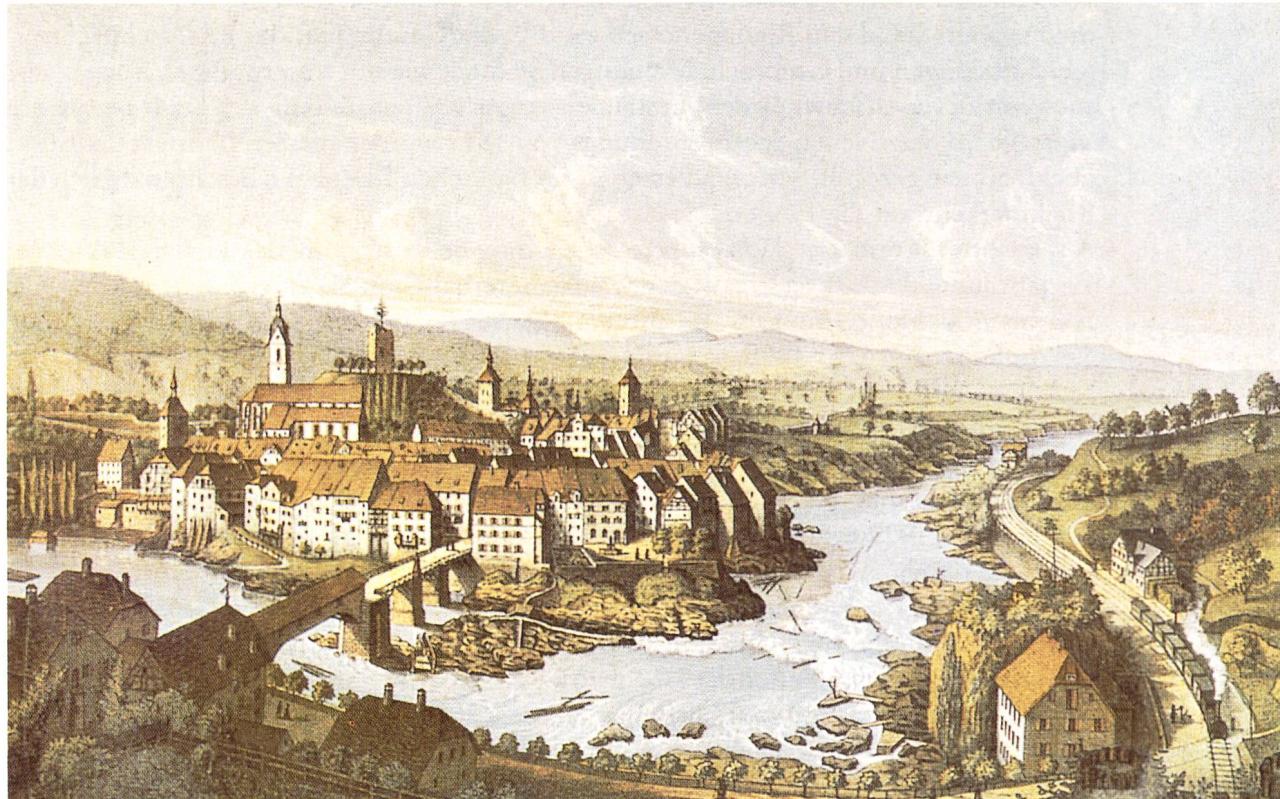


Bild 2-1. Schiffahrt und Flösserei erwuchs ab Mitte des 19. Jahrhunderts durch die Eisenbahn eine erdrückende Konkurrenz. Die Lithographie von Michael Naeher aus dem Jahr 1866 zeigt ein durch den Laufen treibendes aufgelöstes Floss.



Bild 2-2. Holz aus dem Schwarzwald für die Verhüttung von Eisenerz aus dem Fricktal – die Laufenburger Rheinbrücke bildete dafür im Mittelalter das Bindeglied. (Sebastian Münster 1550)

zeitig frischte man die gewonnenen Roheisenmasseln zu Schmiedeeisen mittels bis 1000 kg schwerer Schwanzhämmer, die von den gleichen nockenbesetzten Radachsen angehoben wurden. 18 Hämmer standen hier seit dem Mittelalter zur Verfügung. Man konnte über Jahrhunderte ganz Vorderösterreich, zum Teil auch die Eidgenossenschaft mit Eisen versorgen. Ein einträgliches Geschäft, brachte es jährlich doch um die 20000 Gulden ein.

Wegen der Stromschnellen kamen zwei weitere Gewerbezweige auf: der eine durch die Schiffahrt, der andere durch die Flösserei. Für die schon zur Römerzeit aufkommende Personen- und Waren Schiffahrt bedeutete der Rhein die schnellste Verbindung von der Schweiz nach Frankreich, Norddeutschland und Holland. Auch für den Gotthardverkehr von Italien in die Lande deutscher Zunge benutzte man ab Luzern die Flüsse. Einzig der «Louffen» galt als unpassierbare Stelle. Hier mussten die Schiffe entladen, dann leer durch die Stromschnellen geseilt und die Waren auf Karren in den Schäffigen gekarrt werden. Ähnlich die Flösserei von Rundholz, das von französischen und holländischen Händlern im Berner Oberland, im Mittelland und in den Bündner Tälern eingekauft wurde. Sie liessen das Holz in Paketen von 40 bis 60 Stämmen nach Norden flössen, wo es für den Haus- und Schiffsbau dringend benötigt wurde. Das Flössen, besonders von mehreren aneinandergängten Paketen, war keine leichte Sache. So hatten die Laufenburger ab Stilli das Geleitrecht. Hier, oberhalb des Laufens, mussten die Flösse auseinander gelöst, die Stämme einzeln den Laufen hinuntergelassen und im Schäffigen wieder zusammengebunden werden. Auch das erforderte tüchtige, ortskundige Fachleute. Man nannte sie Laufenknechte.

Wegen all dieser Tätigkeiten kam Laufenburg schon früh zu einer wirtschaftlichen, strategischen und politischen Bedeutung, weshalb die Habsburger als neue Schutzherrn des Klosters Säckingen auf der linksrheinischen Felskuppe ein Schloss bauten und den Ort rittlings über den Rhein als Stadt befestigten: Grosslaufenburg linksrheinisch, Kleinlaufenburg rechtsrheinisch. Der Bau von Stadtmauern, Wehrtürmen, Toren, Stadtgräben und Vorwerken war 1207 praktisch abgeschlossen.

Diese neue städtische Sicherheit begünstigte darauf dann auch das Marktwesen. Es beschränkte sich nicht auf den Verkauf von Fischen und eigenen Produkten wie Stabeisen und andere Eisenerzeugnisse oder Korn, Mehl, Öl und Papier aus den eigenen Mühlen am Hammer- und Andelsbach, sondern man profitierte vom beim Umlad unterbrochenen Handelsverkehr mit Salz, Fellen und Textilien. Hinzu kam ein Grossteil der als Naturalien aus der Innenschweiz herbeigeführten Grundzinsen an das Damenstift Säckingen, die hier besser vermarktet werden konnten als auf der Klosterinsel eine Stunde rheinabwärts. Dass die Habsburger hier bald eigene Münzen schlugen, später auch die Stadt das Münzrecht erwarb, zeugt von der erreichten Handelsbedeutung und dem Wohlstand, den das städtische Gemeinwesen erreicht hatte.

Doch der hemmungslose Erfolg der habsburgischen Machthaber hatte auch seine Schattenseiten. Immer wieder gab es aus politischen Gründen kriegerische Verwicklungen. So lange Zeit mit der sich heranbildenden Eidgenossenschaft, dann mit den angrenzenden Burgunden, dann mit den Franzosen und den ihnen zu Hilfe kommenden Schweden während des Dreissigjährigen Krieges. Wie viele Male zogen doch fremde Heere und Soldaten durchs Land, zerstörten, was ihnen in die Quere kam; in Laufenburg vor allem die ungeschützt vor den Mauern liegenden Einrichtungen des Gewerbes. Allerdings, die letzte habsburgische Regentschaft unter Maria Theresia (1720–1780) ging als wirtschaftlich und kulturell blühendes Jahrhundert in die Geschichte ein. Sie hatte mit ihrem Toleranzedikt und ihren Reformen im Steuerwesen, in der Staatsverwaltung, in Bildung und Kultur, im Kirchen- und Sozialwesen einen bewundernswerten Aufschwung gebracht. Ganz im Gegensatz zu Frankreich, wo die Krone immer mehr Staatsmittel für sich selbst in Anspruch nahm, bis dort die Revolution von unten den Stiel radikal umkehrte, bald aber auch die eigene Lösung «Freiheit – Gleichheit – Brüderlichkeit» wieder Lügen strafte. Denn mit ihrem Heerführer Napoleon, der selbstherrlich die Weltmacht anstrebe, wurde eine neue, absolutistische Zeit eingeläutet. Mit seinem Wahn zwang er auf dem Schlachtfeld auch die Österreicher in die Knie. Das Fricktal musste an Frankreich abgetreten werden, von dem es aber alsbald als Tauschobjekt an die Eidgenossenschaft verschachert wurde. Der Rhein wurde kurzerhand als neue Landesgrenze deklariert und damit die Stadt Laufenburg an zwei Staatswesen verteilt. Welch verheerende Auswirkung diese napoleonische, abstrakte Landkartenpolitik hatte, diese unverständliche Verkennung der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedeutung von Flüssen als Lebensachse und Schlagader einer zusammengehörenden Talgemeinschaft, zeigte sich schmerzlich im sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Niedergang während eines ganzen Jahrhunderts. So jedenfalls für das linksrheinische Fricktal.

Kleinlaufenburg, Säckingen und Waldshut, deren Schicksal in die Hände eines Grossherzogs von hohem staatsmännischen Format gelegt wurde, ging es besser. Er sorgte von Anfang an für eine neue verkehrsmässige Erschließung, das heisst für eine durchgehende Rheintalstrasse bis nach Basel – förderte den Aufbau einer neuen Textilindustrie unter Nutzung der bestehenden Wuhranlagen zur Energiegewinnung, und bereits in den 50er Jahren den Bau einer Rheintalbahn. Was nutzte den neuen Schweizern südlich des Rheins ihre neue Freiheit, wenn ihnen niemand aus ihrem wirtschaftlichen Elend half, im Gegenteil dort gefördert wurde, was ihre Not verschlimmerte! Nach Amerika oder Australien auszuwandern bedeutete meist eine bittere Losung. Für die Daheimgebliebenen gab's nur noch den

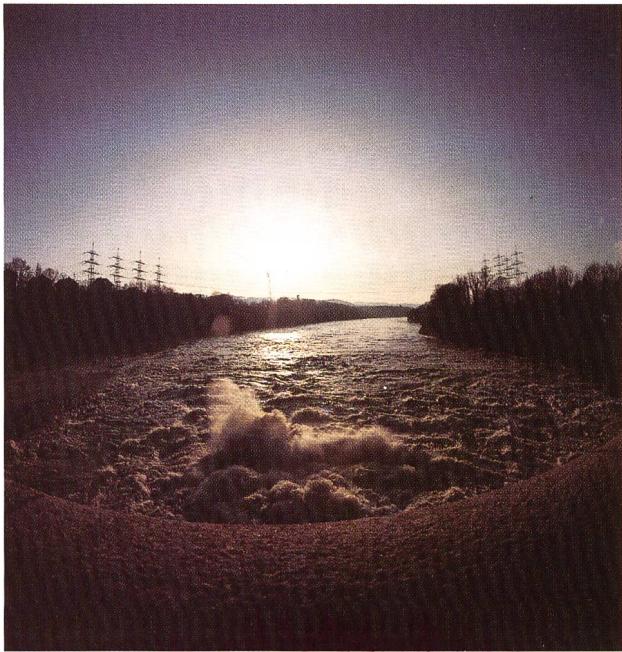


Bild 2-3. «Energiebrücke» über den Rhein bei Laufenburg. Strom im internationalen Verbund für die Menschen in Europa.

täglichen, oft stundenweiten Fussmarsch über die Grenze, um als «Gastarbeiter» in den badischen Textilfabriken das Brot zu verdienen. In Laufenburg selbst hatte man anfänglich zwar noch die Schiffahrt, die Flösserei und die Fischerei. Doch mit dem Ausbau der Straßen verlor die Schiffahrt an Bedeutung, und mit dem Bau der Bözbergstrasse geriet das Rheintal ganz ins Abseits. Und die Eisenbahn war nicht nur eine Konkurrenz, sondern der Todestoss für die Flösserei (Bild 2-1). Ab Mitte des 19. Jahrhunderts blieb eigentlich nur noch die Fischerei, die gerade zum notdürftigsten Überleben reichte. Bittere Armut machte sich in der zunehmend verlotternden Stadt breit.

Erst der Laufenburger Bürger *Alexander Trautweiler*, der als Ingenieur beim Eisenbahnbau in Griechenland tätig war, brachte eine neue Hoffnung: die Idee, die gewaltigen Kräfte des Rheinstroms in elektrische Energie umzuwandeln. In seinem ersten Projekt 1886 sah er eine Kanalabzweigung im Giessen, eine Untertunnelung des Schlossbergs und ein Maschinenhaus in der Badstube. Mit 300 Kubikmeter Wasser pro Sekunde wollte er eine elektrische Leistung von 6000 Pferdestärken gewinnen. Und diese dachte er mittels Luftdruck in die Stadt Basel übertragen zu können. Kurz darauf tauchte ein zweiter, rigoroserer Plan des englischen Ingenieurs *Dierten* auf, der, 1890 von *Sebastian Zian de Ferranti* aus London weiterentwickelt, zu einem konkreten Konzessionsgesuch ausreifte. Er beinhaltete eine Wehr- und Maschinenhausanlage quer über den Rhein im Schäffigen und stellte die damals grösste Wasserkraftanlage Europas mit einer Leistung von 50 000 PS dar. Alexander Trautweiler wurde zum eifrigsten Befürworter dieses Projektes.

Allerdings musste der Laufen als eines der berühmtesten Naturschauspiele geopfert, der Rhein vom Schäffigen her 10 Meter gestaut werden! Ein Entrüstungssturm in der europäischen Presse, die Einschaltung des deutschen und des schweizerischen Heimatschutzes konnten es aber nicht mehr verhindern. Vor allem die Laufenburger selbst, die es am direktesten betraf, hatten zu dieser Operation ja gesagt. Ja, im Vertrauen auf den versprochenen wirtschaftlichen Aufschwung, die Ansiedlung gröserer Industrie und einen allgemeinen Wohlstand.

1906 wurde die Konzession erteilt, 300 000 m<sup>3</sup> Fels aus Enge und Laufen gesprengt, die Ufer neu verbaut, eine neue Rheinbrücke erstellt. Im Schäffigen hoben sich das Wehr mit einer Schiffschleuse und das Maschinenhaus mit zehn Francisturbinen und zehn Generatoren aus dem Wasser. Kamen dazu ein Schalthaus, eine Freiluft-Transformatorstation, ein Büroturm und an beiden Ufern je eine Fischtreppe. 1914 schloss man erstmals die Schleusen und nahm das Werk in Betrieb. Ein grossartiges Gemeinschaftsunternehmen von völkerverbindendem Charakter war geschaffen.

Auf badischer Seite siedelten sich die Ferro-Werke zur Erzeugung von Ferrolegierungen und die Elektro Nitrum AG zur Herstellung von Salpetersäure an. Beide wurden später von *H. C. Starck* übernommen, wo man zur Herstellung von Elektrokorund und seltenen Metallen bis zu 800 Mitarbeiter beschäftigte. Hinzu kamen eine Ventilatorenfabrik, ein Maschinen- und Apparatebau und ein Dampfsägewerk.

Schweizerseits wurde ein elektrochemisches Werk, die Lauffen AG, zur Verhüttung des schweizerischen Eisenerzes gegründet. Doch dieses ging nach den ersten Versuchsjahren wieder ein. So blieb der erhoffte Industrieboom hier aus. Doch daran war nicht das Kraftwerk schuld, sondern der Ausbruch des Ersten Weltkrieges und die Grenzsituation. Wer wollte schon hart an der Grenze zu einem kriegsführenden Staat investieren? Und das ausgegerechnet in Laufenburg, das am Ende einer Sackgasse lag! Von hier führte die Strasse nur noch ins Ausland, denn die Aarebrücke bei Koblenz wurde erst 1936 gebaut. Hinzu kam, dass infolge einer neuartigen Stromübertragungsmethode mittels Hochspannungsdrähten der Standort eines Industrieunternehmens nicht mehr an den Standort des Kraftwerks gebunden war. Trotzdem machten sich die neuen Steuereinnahmen von Kraftwerk und seinen Angestellten positiv bemerkbar, was in einer wenn auch bescheidenen Bautätigkeit zum Ausdruck kam. Nach und nach wurden auch einige Gewerbebetriebe eröffnet: Zur bestehenden Tricoterie kamen eine Strumpffabrik, ein Bauunternehmen, eine Sägerei, ein Hobelwerk, ein Imprägnierwerk und in den 30er Jahren die KERA-Werke AG.

Bis dann der deutsche Nationalsozialismus mit seinem katastrophalen Zweiten Weltkrieg dieser Entwicklung einen vernichtenden Schlag versetzte. Deutschland lag darauf am Boden und mit ihm ganz Europa. Eine derartige Zerstörung hatte es noch nie gegeben.

Nur die alten menschlichen Beziehungen über den Rhein waren geblieben: einige freundschaftliche Bande, die gemeinsame Geschichte und Kultur, die Brücke und das Kraftwerk. Aus diesem gemeinsamen Erbe heraus keimten langsam neue Kräfte: die erste Überlebenshilfe, der Krankendienst, die Feuerwehr, das Vereinswesen, die alten Bräuche, die Vorbereitung einer gemeinsamen 750-Jahr-Feier unter dem Motto «Zwei Nationen – eine Stadt». Zur gleichen Zeit gründete das Kraftwerk Laufenburg 1956 die Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG, die sich als lebenskräftiger Kern eines neuen europäischen Verbundbetriebes erwies (Bild 2-3).

So hat der am Rhein geborene innovative Geist über alle politische Willkür und Exzesse hinweg wieder auf ein grosses Miteinander hingewiesen. Im Bewusstsein, dass unser aller Leben an der gleichen, allen zur Verfügung stehenden Natur dieser Erde hängt und wir alle die gleiche Verantwortung zu deren weiser Nutzung und Erhaltung tragen. In welcher Weise das Kraftwerk Laufenburg hierzu mit dem jetzt abgeschlossenen Ausbau seinen erneuten Beitrag leistet, ist Inhalt dieser Broschüre.

### 3. Aus der Geschichte des Kraftwerks Laufenburg

Konrad Malleis

Das Rheinkraftwerk

Obwohl sich das Kraftwerk Laufenburg in den rund neun Jahrzehnten seines Bestehens vom Elektrizitätserzeuger zum Energieversorgungsunternehmen entwickelt hat, ist der Stellenwert des Rheinkraftwerks für die Unternehmung nach wie vor fundamental. Diese Bedeutung manifestiert sich nicht nur in der mit seinem Bau verknüpften Pionierleistung sowie der wirtschaftlichen und technischen Dimension für die Erfüllung der Versorgungsaufgaben, sondern auch in der Akzeptanz des Werks in der Öffentlichkeit.

Es waren die Bürger Laufenburgs, die sich zu Beginn dieses Jahrhunderts vehement für den Bau «ihres» Kraftwerks einsetzten und die Erteilung der Baubewilligung spontan mit einem Umzug und einem Feuerwerk am 11. September 1905 feierten. Die Bevölkerung beider Laufenburg hatte gegen viele Widerstände die Errichtung des Werks im Interesse des angestrebten sozialen Wohlstandes befürwortet, wenngleich dafür das Naturschauspiel des wilden Laufen einer «romantischen Ethik» geopfert werden musste.

Noch vor der Gründung des Unternehmens am 10. Februar 1908 wurden von den Planern wichtige, den Kraftwerksbau betreffende, prinzipielle Fragen entschieden. So wurde es erstmals gewagt, ein Turbinenhaus mit Stauwehr quer in den Strom zu stellen, was damals angesichts des möglichen Katastrophenhochwassers von 5500 m<sup>3</sup>/s und wegen fehlender Erfahrungen durchaus problematisch war. Das Baukonzept sah das Maschinen- und Krafthaus auf der Schweizer Rheinseite, die Schiffsschleuse am badischen Ufer und vier dazwischenliegende Wehröffnungen vor. Die Gesamtleistung sollte zunächst 50 000 PS betragen; technischer Fortschritt ermöglichte jedoch einen Ausbau auf 65 000 PS (etwa 48 000 kW).

Mit den umfangreichen Bauarbeiten am eigentlichen Kraftwerk und den Rheinkorrekturarbeiten auf 1,5 km Länge sowie den Uferverbauungen wurde im Frühjahr 1909 begonnen. Viele Schwierigkeiten, wie mehrere Hochwässer und Probleme bei den Unterwasserarbeiten in dem reissenden Strom, ergaben Verzögerungen, so dass die für 1913 angestrebte Fertigstellung nicht erreicht werden konnte (Bilder 3-1 und 3-2).

Ihr erstes grosses Erfolgserlebnis hatten die zahlreichen am Bau Beteiligten – man zählte damals auf der Baustelle bis zu 1240 Beschäftigte (!) – erst am 14. Mai 1914, als die erste der 6500-PS-Maschinen ihren Probetrieb aufnahm. Die definitive Inbetriebsetzung am 2. Oktober 1914 wurde vom Beginn des Ersten Weltkrieges überschattet. Nach der Beendigung des technischen Ausbaus im Jahr 1915 wurden 1916, im ersten Jahr des Vollbetriebes, annähernd 215 Mio kWh erzeugt.

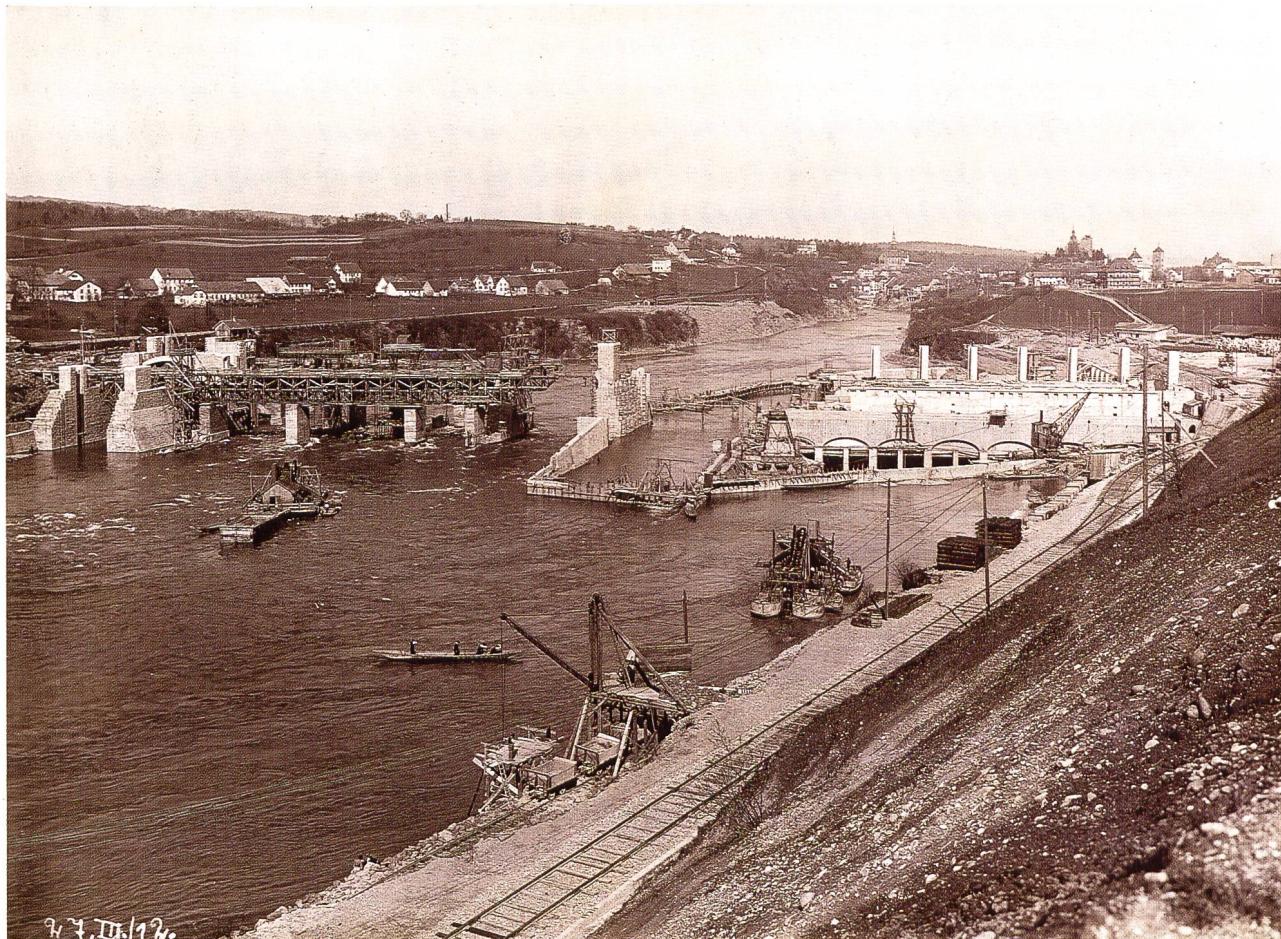


Bild 3-1. Am 27. März 1912: Nach etwa der halben Bauzeit nimmt das Rheinkraftwerk Laufenburg, das damals grösste Laufwasserkraftwerk Europas, Gestalt an.



Bild 3-2. Neben Fachwissen waren Mut und Muskelkraft gefragt bei den Männern, die unter schweren Bedingungen die Pläne der Architekten und Ingenieure in die Realität umsetzten.

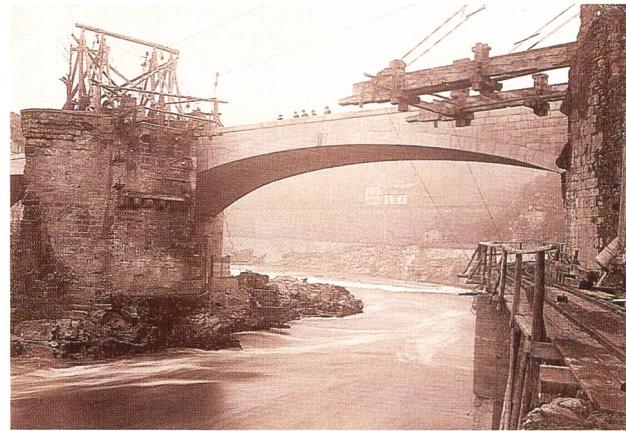


Bild 3-3. Die «neue» Rheinbrücke überspannt 1911 bereits den reissenden Strom – die alte wird in vielen Gemälden und Drucken bildhaft weiterbestehen.

Fortschritt in der Kraftwerkstechnik und erhöhter Strombedarf führten bereits Anfang der zwanziger Jahre zu Überlegungen und später zu konkreten Planungen für den Ersatz der ersten Maschinengeneration durch leistungsfähigere Einheiten. 1929 wurden die ersten beiden Maschinen der neuen Generation mit Leistungen von je 13 500 PS eingebaut und in Betrieb genommen. Die Umbauaktion wurde 1960 abgeschlossen; die Werksleistung betrug danach 81 MW bei einer Nutzwassermenge von 1080 m<sup>3</sup>/s. Die Produktion erhöhte sich dadurch im Mittel der folgenden Jahre auf etwa 580 Mio kWh. Bedingt durch den Bau des Rheinkraftwerks Säckingen ging die Erzeugung in Laufenburg ab 1967 auf einen Jahresschnittschnitt von 490 Mio kWh zurück.

#### Die Brückenfunktion

Fast gleichzeitig mit dem Bau des Rheinkraftwerks wurde im Auftrag des Unternehmens eine neue Rheinbrücke zwischen den beiden Schwesternstädten errichtet. Sie konnte nach einjähriger Bauzeit am 15. Januar 1912 ihrer Bestimmung übergeben werden. Das die Menschen zweier Länder verbindende Bauwerk steht symbolhaft auch für die Brückenfunktion des Kraftwerks Laufenburg (Bild 3-3).

Diese Funktion manifestiert sich deutlich in der kontinuierlich gewachsenen Aufgabe und der Struktur des Unternehmens. Schon im Jahr der Gründung des Kraftwerks Laufenburg wurden Strategien für den Absatz der im Rheinkraftwerk erzeugten Energie und auch für ein grenzüberschreitendes Versorgungsgebiet entwickelt.

Die Zielstrebigkeit dieser Bemühungen führte dazu, dass noch vor der Inbetriebnahme des Werks Stromlieferungsverträge mit vielen Gemeinden und bedeutenden Industrieunternehmen abgeschlossen werden konnten. Entschlossen wurde auch der Aufbau eines leistungsfähigen Hoch- und Mittelspannungsnetzes für die Versorgung der Vertragspartner und potentieller Kunden in Angriff genommen. Ende 1914 bestanden bereits Verträge mit 43 Gemeinden, 6 Elektrizitätswerken, einem Gemeindeverband und 24 Sonderkunden. Die Bemühungen um Energieabnehmer beschränkten sich nicht nur auf die unmittelbare Umgebung von Laufenburg, sondern umfassten auch den gesamten Südschwarzwald bis zum Bodensee mit den Gebieten um Singen, Radolfzell, Villingen und Neustadt im Hochschwarzwald.

Diese Entwicklung setzte sich in den folgenden Jahrzehnten entsprechend den jeweiligen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen kontinuierlich fort, so dass das Kraftwerk Laufenburg heute über ein modernes Versorgungsnetz etwa 300 000 Menschen auf einer Fläche von annähernd 1600 km<sup>2</sup> im Kanton Aargau und im Land Baden-Württemberg mit Strom beliefert.

Tabelle 3-4. Kenndaten des Rheinkraftwerks Laufenburg.

	1. Ausbau 1908–1914	2. Ausbau 1929–1960
Anzahl Maschinengruppen		
Ausbauwassermenge	660 m <sup>3</sup> /s	* 1080 m <sup>3</sup> /s
Gefälle	9-11,2 m	9-11,76 m
Turbinentyp	Doppel-Zwillings-Francisturbinen	Doppel-Zwillings-Francisturbinen
Installierte Turbinenleistung	48 MW	100 MW
Maximale Werkleistung	40 MW	* 81 MW
Gesamtwirkungsgrad		83 %
Mittlere Jahresproduktion	310 Mio kWh	* 580 Mio kWh

\* vor Einstau durch das Rheinkraftwerk Säckingen.

## 4. Die neuen Konzessionen

Eduard Grob

### Verleihungen für weitere 80 Jahre

Unmittelbar im Anschluss an den zeitlichen Ablauf der ersten, im Jahre 1906 für den Bau und Betrieb des Rheinkraftwerks Laufenburg erteilten Konzessionen sind am 15. Dezember 1986 für dieses Werk erneuerte Verleihungen in Kraft getreten. Trägerin dieser Verleihungen wurde wiederum die Aktiengesellschaft Kraftwerk Laufenburg, und erneut wurde ihr das Wassernutzungsrecht auf 80 Jahre erteilt, die gesetzliche Höchstdauer einer Wasserrechtskonzession nach schweizerischem Recht. Für das Kraftwerksunternehmen bedeutete die Konzessionserneuerung die Gewissheit, das Rheinkraftwerk weitere 80 Jahre als eigene Stromerzeugungsanlage bei der Erfüllung seiner Versorgungsaufgabe einsetzen zu können. Zudem war damit die Voraussetzung geschaffen, das Kraftwerk – der Auflage der Konzessionen entsprechend – für eine grössere Schluckwassermenge auszubauen.

Die fristgerechte Erneuerung der Verleihungen und der damit ermöglichte zeitverzugslose Übergang von der ersten zur zweiten Konzessionsperiode war keine Selbstverständlichkeit. Schon allein die volkswirtschaftliche Bedeutung des zweitgrössten Rheinkraftwerks und die Tragweite einer auf Maximaldauer beantragten Konzessionsvergabe liessen erwarten, dass sich die Entscheidungsträger ihre Meinungsfindung nicht leicht machen würden. Hinzu kam, dass der Rhein auf der gesamten genutzten Strecke Grenzgewässer ist. Auf solchen Strecken aber steht die Gewässerhoheit – weil unteilbar – den beiden Uferstaaten gemeinsam zu. Und weil die Berechtigung zum Bau und Betrieb eines Kraftwerks ein Ausfluss dieser Gewässerhoheit ist, bedurfte das Kraftwerksunternehmen Laufenburg zum Weiterbetrieb seiner Anlage je einer Konzession der Schweiz und Deutschlands bzw. des Landes Baden-Württemberg. Selbstverständlich mussten diese beiden Bewilligungen, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollten, in allen ihren wesentlichen Teilen übereinstimmen. Abstimmungsprobleme ergaben sich schweizerseits zudem noch aus dem Umstand, dass hier die Gewässerhoheit zwar beim Kanton Aargau, die Vertretung schweizerischer Anliegen gegenüber dem Ausland dagegen Bundessache ist. Angesichts dieser Vielzahl von Beteiligten und der Unterschiedlichkeit ihrer Interessen erstaunt es nicht, dass die Anfänge der Konzessionsverhandlungen bis ins Jahr 1974 zurückreichen. Schon damals war indessen die übereinstimmende Meinung der verleihenden Behörden feststellbar, dass es nicht im öffentlichen Interesse liegen könne, ohne Not in gesunde, über lange Jahre gewachsene wirtschaftliche Strukturen einzutreten. Die Tatsache, dass das Kraftwerksunternehmen mit Hilfe des Rheinkraftwerks seine Versorgungsaufgabe links und rechts des Rheins während Jahrzehnten und in schwierigsten Zeiten klaglos erfüllt hatte, mag denn auch entscheidend dazu beigetragen haben, dass es zur Erneuerung der Konzessionen an den bisherigen Betriebsinhaber kam.

Ohne spürbare Auflagen und Bedingungen für den alten und neuen Konzessionsträger ist es dabei allerdings nicht abgegangen. Die gewichtigste dieser Auflagen betrifft den

Ausbau der Kraftwerksanlage, dessen Vollendung Anlass zur vorliegenden Druckschrift gegeben hat. Art. 6.2 der neuen Verleihungen statuiert kurz und bündig die Verpflichtung, «... die im Konzessionsprojekt vom November 1984/Mai 1985 zur Erweiterung der Wasserkraftnutzung vorgesehenen Anlagen und Massnahmen auszuführen.» Damit im Zusammenhang zu sehen ist Art. 3, welcher die Dauer der Verleihungen auf 80 Jahre festlegt und damit dem Kraftwerksunternehmen die Zeit einräumt, die mit dem geforderten Ausbau verbundenen namhaften Investitionen abzuschreiben.

### Sonderstatut der Grenzkraftwerke

Es liegt in der Natur der Sache, dass Grenzkraftwerke in mancher Beziehung einem Sonderstatut unterliegen. So ist in den Konzessionsurkunden für das Rheinkraftwerk Laufenburg festgelegt, dass

- das Kraftwerksunternehmen den zuständigen Behörden beider Länder und des Kantons Aargau seine Statuten zu übermitteln und Änderungen derselben jeweils mitzuteilen hat (Art. 4.2). Desgleichen ist diesen Behörden jährlich der Geschäftsbericht zuzustellen (Art. 40).
- das Kraftwerksunternehmen seinen Sitz während der ganzen Dauer der Verleihungen im aargauischen Laufenburg zu belassen und außerdem im Land Baden-Württemberg ein Rechts- und Zustellungsdomizil zu unterhalten hat (Art. 4.3).
- der Verwaltungsrat des Kraftwerksunternehmens zur einen Hälfte aus Schweizer Bürgern mit Wohnsitz in der Schweiz und zur anderen Hälfte aus deutschen Staatsangehörigen mit Wohnsitz in Deutschland bestehen muss (Art. 4.4).
- der schweizerische Bundesrat und das zuständige baden-württembergische Ministerium je einen Kommissär ernennen können, der das Recht hat, an den Generalversammlungen des Kraftwerksunternehmens sowie an den Sitzungen des Verwaltungsrates und seiner Ausschüsse teilzunehmen (Art. 5).
- die im Rheinkraftwerk Laufenburg gewonnene elektrische Energie einschliesslich des Einstauersatzes vom unterliegenden Kraftwerk Säckingen je zur Hälfte auf die Schweiz und das Land Baden-Württemberg entfällt (Art. 29).
- die Verleihungen in Kraft gesetzt werden, wenn die Regierungen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und des Landes Baden-Württemberg einander die ihr Gebiet betreffenden Urkunden zugestellt und durch Austausch von Erklärungen festgestellt haben, dass die Verleihun-

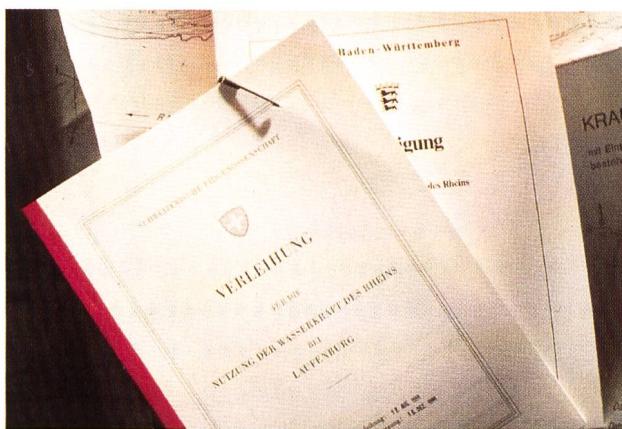


Bild 4-1. Dokumente schweizerisch-deutscher Zusammenarbeit bei der Wasserkraftnutzung am Hochrhein: die neuen Konzessionen für das Kraftwerk Laufenburg.

gen beidseits aufgrund übereinstimmender Pläne erteilt sind und dass die Bedingungen der zwei Verleihungen in allen erforderlichen Punkten übereinstimmen (Art. 44).

Hingewiesen sei auch auf eine andere Regelung, die zwar nicht in die Konzessionstexte eingegangen ist, sich aber ebenfalls aus dem Sonderstatut der Grenzkraftwerke ergibt und für die Anwendung von Ein- und Ausfuhrbestimmungen von Bedeutung ist. Sie besagt, dass der dem einen Staat zustehende Energieanteil als in diesem Staate erzeugt gilt, ganz unabhängig davon, auf welchem Staatsgebiet die diesen Anteil produzierenden Maschinengruppen im konkreten Fall liegen. Beim Rheinkraftwerk Laufenburg betrifft dies den deutschen Produktionsanteil, der zwar aus dem zur Gänze auf schweizerischem Staatsgebiet liegenden Kraft- und Maschinenhaus stammt, rechtlich aber so zu behandeln ist, wie wenn er auf deutschem Gebiet erzeugt worden wäre. Eventuelle Ausfuhrbestimmungen der Schweiz oder Einfuhrbestimmungen Deutschlands können auf diesen Produktionsteil nicht angewendet werden.

Es fehlt hier der Raum, auf weitere oder gar alle Bestimmungen der beiden Verleihungen einzugehen. Im Zug der Zeit liegt es wohl, dass die Vorschriften zum Schutze von Umwelt und Landschaft zahlreich und detailliert ausgefalen sind. Im übrigen aber entsprechen die Texte mit wenigen Abweichungen dem, was schon in den zuletzt erteilten Konzessionen für das Rheinkraftwerk Säckingen verfügt worden war.

Die Verpflichtung Deutschlands und der Schweiz, bei der Nutzbarmachung der Wasserkraft des Grenzwässers Rhein gemeinsam vorzugehen, ergibt sich schon aus völkerrechtlichen Grundsätzen. Darüber hinaus ist sie in zwei Staatsverträgen festgeschrieben worden. Einmal in der «Übereinkunft zwischen der Schweiz und dem Grossherzogtum Baden betreffend den Wasserverkehr auf dem Rheine von Neuhausen bis unterhalb Basels» aus dem Jahre 1879, die – obwohl noch auf die Schifffahrt ausgerichtet – auch den Bau von Wasserkraftanlagen betrifft, und sodann im «Vertrag zwischen der Schweiz und Deutschland über die Regulierung des Rheins zwischen Strassburg/Kehl und Istein» von 1929. In Art. 6 dieses Vertrages sagen sich die beiden Regierungen gegenseitig ausdrücklich zu, «... die Verhandlungen betreffend die Erteilung neuer Konzessionen für Kraftwerke zwischen Basel und dem Bodensee nach den bisherigen Grundsätzen gemeinsam ... zu führen und möglichst zu beschleunigen.»

Bis heute werden die von deutscher und schweizerischer Seite für die Wasserkraftnutzung am Hochrhein erteilten Konzessionen auf die Übereinkunft von 1879 und – seit 1929 – auf den Vertrag aus dem gleichen Jahre abgestützt. Die Erneuerung, respektive Neuerteilung der Konzessionen für die Kraftwerke Laufenburg, Augst-Wyhlen und Rheinfelden sind damit die jüngsten Zeugnisse einer nun schon länger als ein Jahrhundert andauernden, erfolgreichen schweizerisch-deutschen Zusammenarbeit in diesem Bereich.

## 5. Von der Idee zum Bauprojekt

Arnold Baumann, Roland Ruoss, Jürg Vontobel

### Einleitung

Dem Ausbau des Kraftwerks – letztlich als Konsequenz der Konzessionserneuerungen – gingen mehrere Jahrzehnte zurückreichende Überlegungen zur Erhöhung der Wasserkraftnutzung voraus. Mit vertiefenden Studien wurde in den siebziger Jahren begonnen und im Zuge der Konzessionsverhandlungen ein konkretes Projekt erarbeitet. Dieses Konzessionsprojekt vom November 1984, ergänzt im Mai 1985, wurde den Verleihungen für die Wasserkraftnutzung zugrundegelegt.

In den Optimierungsprozess für das aus dem Konzessionsprojekt abzuleitende Bauprojekt flossen ausser den vielfältigen Auflagen der Bewilligung insbesondere die gegenwärtigen technischen Möglichkeiten bei massgeblicher Berücksichtigung der wirtschaftlichen Auswirkungen des Ausbaus für das Unternehmen ein.

Ausgangsbasis bildeten dabei neben den hydrologischen Gegebenheiten vor allem auch die vorhandene bauliche sowie die maschinen- und elektrotechnische Substanz.

### 5.1 Bestehende Anlagen

Das Rheinkraftwerk Laufenburg bestand vor dem Ausbau im wesentlichen aus dem Kraft- und Maschinenhaus mit dem markanten, Büroräume enthaltenden Turm auf der linken sowie dem Wehr und der Schiffsschleuse auf der rechten Flusshälfte. Am linken – Schweizer – Ufer befanden sich zudem das Schalt- und Transformatorenhaus, ferner einige Betriebsgebäude mit Werkstätten und Magazinen (Bild 5-1).

Das *Krafthaus*, dem ein Aussenrechen mit Rechenreinigungsanlage und Vorbecken vorgelagert war, umfasste zur Hauptsache:

- 10 Einlaufschützen (Stoney-Typ) mit Windwerken als Abschlussorgane für Gruppenrevisionen, die auch als Spül-schützen verwendet wurden, 10 Turbinenrechen und Turbinenkammern,
- 10 Einheiten mit je zwei horizontalachsigen Francis-Doppelturbinen mit Leitapparaten in den Turbinenkammern. Die Drehzahl betrug 125 U/min. Die ursprüngliche Leistung von 6500 PS pro Gruppe wurde durch den zwischen 1929 und 1960 durchgeföhrten Einbau von grösseren Turbinenrädern auf 13500 PS (rund 10 MW) erhöht. Die Ausbauwassermenge pro Gruppe betrug nach dem Einstau durch das Rheinkraftwerk Säckingen 102,5 m<sup>3</sup>/s.

Das *Maschinenhaus* enthielt im wesentlichen die 10 Synchron-Generatoren mit einer ursprünglichen Leistung von je 6500 kVA, die im Laufe des Turbinenumbaus durch Maschinen von 13 000 kVA Leistung ersetzt wurden. Sie waren über eine 20 m lange, dreifach gelagerte Welle mit den Turbinen direkt gekuppelt (Bild 5-2).

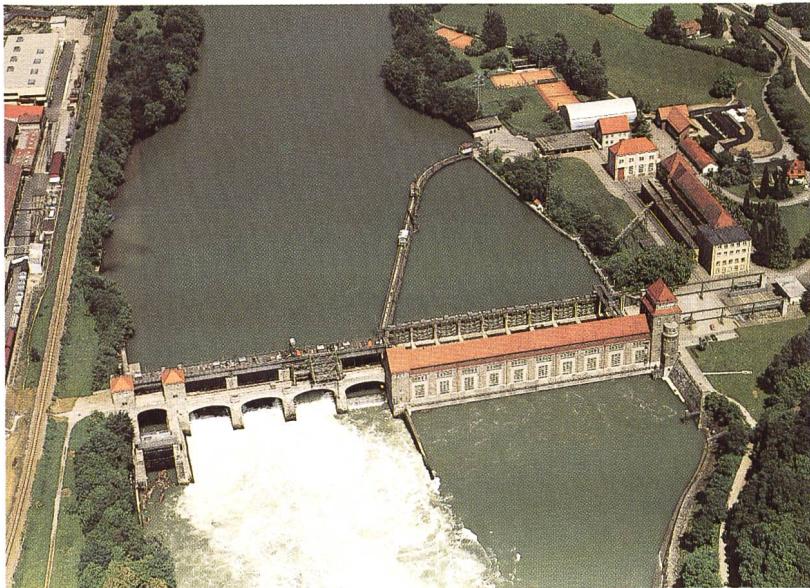


Bild 5-1. Die Kraftwerksanlage vor dem Ausbau (1986).

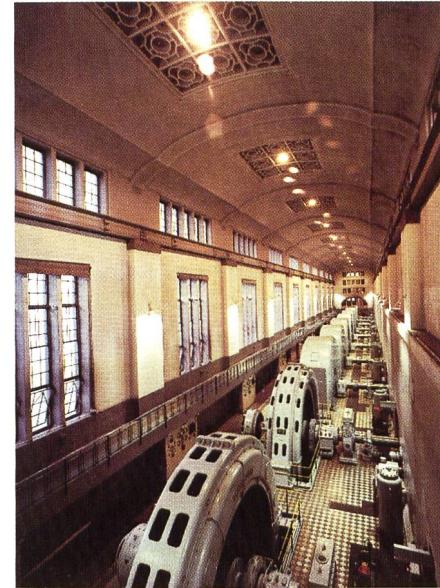


Bild 5-2. Der Maschinensaal vor dem Ausbau.

Die Generatoren mit einer Nennspannung von 6,5 kV speisten auf eine 6,5-kV-Doppelsammelschienenanlage im Schalt- und Transformatorenhaus. Von dort wurde die Energie auf den Spannungsebenen 50 kV und 110 kV nach Deutschland und auf den Ebenen 6,5 kV, 50 kV und 150 kV in die Schweiz abgegeben. Im Schalt und Transformatorenhaus befand sich auch der Kommandoraum.

Das Stauwehr wies wie heute vier Wehrfelder mit Rollschützen von 17,3 m Breite und 14,2 bis 16,7 m Höhe auf. Gemäss den durchgeführten Kontrollen (Gutachten 1974 und Überprüfungen der Wehrstatik 1960) wurde das Stauwehr aufgrund des sachgemässen Unterhalts als weiterhin betriebstüchtig beurteilt.

Die Schiffsschleuse am rechten Ufer dient nach wie vor der Kleinschiffahrt und kann im Bedarfsfall bei Hochwasser eine zusätzliche Wassermenge von 160 m<sup>3</sup>/s ableiten. Auch die Schleuse befand sich in betriebstüchtigem Zustand.

## 5.2 Hydrologische Grundlagen

Das Einzugsgebiet des Rheins bei Laufenburg erstreckt sich über eine Fläche von etwa 34 000 km<sup>2</sup>. Seine Abflussmenge unterliegt starken Schwankungen. Die in Bild 5-3 dargestellten Abflüsse wurden unter Berücksichtigung der im Einzugsgebiet vorhandenen Speicherkraftwerke für die Periode 1933 bis 1984 ermittelt.

Aus der Dauerkurve für die Jahre 1933 – 1984 in Bild 5-4 geht hervor, an wie vielen Tagen im Jahresmittel welche Abflussmengen in m<sup>3</sup>/s vorhanden waren oder überschritten wurden.

Beispiel: Ein Kraftwerk mit einer Nutzwassermenge von 1000 m<sup>3</sup>/s kann an durchschnittlich 170 Tagen im Jahr mit voller Leistung betrieben werden.

Bild 5-4 zeigt ferner die Variation der Jahresdauerkurven der Abflüsse bei Rheinfelden. Die für die Station Rheinfelden durchgeführte Frequenzanalyse ergab dort folgende Hochwasserspitzen:

Wiederkehr-intervall (Jahre)	10	30	50	100	1000	10000
Hochwasser-abfluss (m <sup>3</sup> /s)	3450	3700	4000	4250	4900	5500

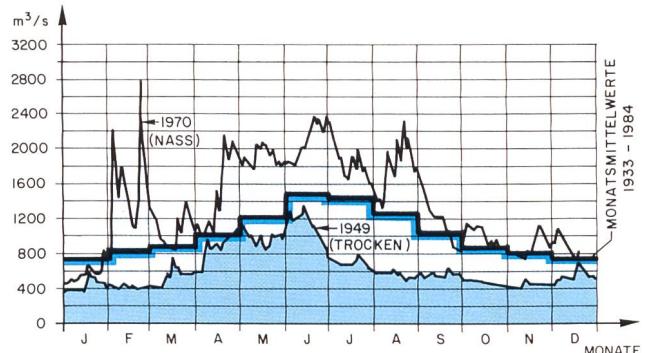


Bild 5-3. Mittelwerte der Rheinabflüsse in den Jahren 1933 – 1984. Extreme Rheinabflüsse waren in den Jahren 1949 (trockenes Jahr) und 1970 (nasses Jahr) zu verzeichnen.

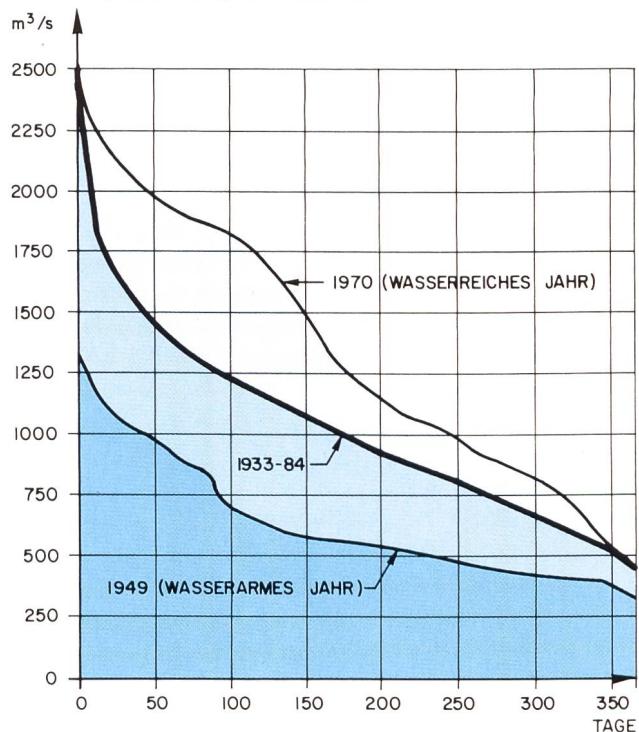


Bild 5-4. Variation der Jahresdauerkurven der Abflüsse beim Pegel Rheinfelden.

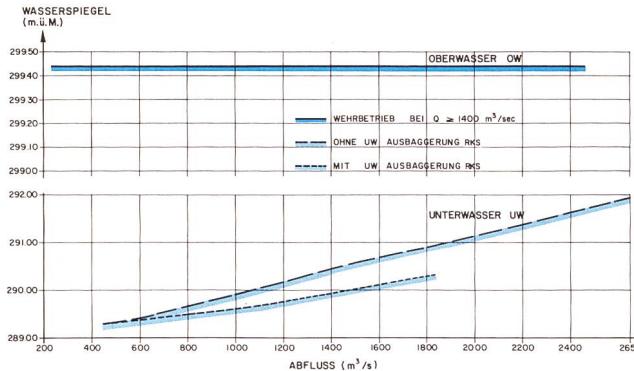


Bild 5-5. Wasserspiegel im Ober- und Unterwasser des Kraftwerks Laufenburg in Funktion des Abflusses.

Beispiel: Nur etwa alle 100 Jahre erlebt Laufenburg ein Hochwasser von  $4250 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Das Bemessungshochwasser für das Wehr Laufenburg wurde vom Bundesamt für Wasserwirtschaft auf  $5200 \text{ m}^3/\text{s}$  festgelegt. Das bestehende Wehr weist unter dem sogenannten (n-1)-Hochwasserkriterium eine etwas höhere Kapazität auf.

Die Ober- und Unterwasserspiegel sind in Bild 5-5 grafisch dargestellt. Die Unterwasserspiegel für das ausgebauten Kraftwerk – auch unter Berücksichtigung der Rheinsohlenbaggerung durch das Rheinkraftwerk Säckingen (RKS) – wurden am hydraulischen Modell 1:60 an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH, Zürich (VAW), ermittelt.

Die in den nachstehenden Abschnitten beschriebenen umfangreichen Variantenstudien und Voruntersuchungen sowie die hydraulischen Modellversuche an der VAW und bei Sulzer-Escher Wyss in Zürich waren die weiteren Grundlagen für die Ausarbeitung des Bauprojektes.

### 5.3 Variantenstudien

Zur Ermittlung des optimalen Ausbauprojektes wurden umfangreiche Ausbaustudien durchgeführt. Dabei waren folgende Bedingungen zu berücksichtigen:

- Der Ausbaudurchfluss muss von bisher  $1025 \text{ m}^3/\text{s}$  auf maximal  $1420 \text{ m}^3/\text{s}$  erhöht werden.
- Die erneuerten Konzessionen sind wiederum für 80 Jahre gültig.
- Das äussere Erscheinungsbild des Rheinkraftwerks soll möglichst unverändert erhalten werden.

Erste Untersuchungen hatten folgendes ergeben:

- Damit möglichst viel der baulichen Substanz des Kraft- und Maschinenhauses erhalten bleibt, müssen die vorhandenen Turbinenachsabstände übernommen werden.
- Es ist möglich, in den bestehenden Turbinengruben sowohl Rohrturbinen (Typ Bulb) als auch Straflo-Turbinen mit der geforderten Schluckwassermenge unterzubringen.

Anmerkung:

Bei den Niederdruckmaschinen hat die Weiterentwicklung der Rohrturbine mit Aussenkranzgenerator (Straflo) zu Ausführungen geführt, welche diesen Turbinentyp als attraktive Alternative zur Rohrturbine (Typ Bulb) werden lassen.

- Der Ersatz der bestehenden Maschinengruppen ist langfristig gesehen unvermeidlich. Es soll deshalb bei der Su-

Tabelle 5-6. Ausbauvarianten – Kostenvergleich

Variante	Investitions- kosten	Totalkosten inkl. Pro- duktions- ausfall
Ersatz der 10 bestehenden Turbinen durch 10 Straflo-Turbinen	100 %	100 %
Einbau einer grossen Rohrturbine und Ersatz von 7 bestehenden Turbinen durch Straflo-Turbinen	122 %	118 %
Einbau einer grossen Rohrturbine und Ersatz von 7 bestehenden Turbinen durch entsprechende Rohrturbinen	160 %	175 %
Ersatz der 10 bestehenden Turbinen durch 10 Rohrturbinen	152 %	190 %

che nach der kostengünstigsten Lösung von einer Kraftwerksanlage mit durchwegs neuen Maschinen ausgingen werden.

Damit ergaben sich zwei wirtschaftlich attraktive Grundvarianten, nämlich

- der Ersatz der zehn bestehenden Maschinengruppen durch zehn neue Gruppen (Rohr- oder Straflo-Turbinen) mit einer Schluckwassermenge von je max.  $142 \text{ m}^3/\text{s}$  oder
- der Neubau einer elften Gruppe mit einer Schluckwassermenge von  $340 \text{ m}^3/\text{s}$  am Schweizer Ufer plus Ersatz von sieben der zehn bestehenden Gruppen durch sieben neue Gruppen (Rohr- oder Straflo-Turbinen) mit einer Schluckwassermenge von je  $145 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Die vier interessantesten Varianten sind in Tabelle 5-6 aufgelistet und kostenmäßig verglichen.

Die Kosten/Nutzen-Rechnung und der Vergleich der Vor- und Nachteile, insbesondere die unterschiedlichen baulichen Schwierigkeiten und Bauzeiten der verschiedenen Varianten, zeigten als wirtschaftlichste Lösung den etappenweisen Ersatz der zehn Francis-Maschinengruppen durch zehn Straflo-Turbinen-Generatorgruppen. Die gewählte Ausbauvariante ergibt die geforderte Erhöhung des Ausbaudurchflusses und ermöglicht den etappenweisen Einbau der neuen Gruppen in den bestehenden Maschinengruben ohne Änderung der Achsabstände, ohne den Bau von speziellen Baugrubenabschlüssen (z.B. Fangdämme) und mit vertretbaren baulichen Änderungen an den statisch wichtigen Gebäudeteilen.

### 5.4 Voruntersuchungen

Mit Sondierkampagnen sowie entsprechenden felsmechanischen und betontechnologischen Studien wurden der Fundationsfels und die Betonqualität der vorhandenen Bausubstanz untersucht.

Der Fundationsfels besteht aus Gneisen des Schwarzwaldmassivs, welcher durch eine ausgeprägte Schieferung und eine engmaschige Zerklüftung gekennzeichnet ist. Die Trennflächen sind mit einem meist trockenen Belag von Tonmineralien, Glimmern und feinsandigen Felsspartikeln belegt. Der Fels ist generell wenig durchlässig.

Der mehr als 70 Jahre alte Beton des Krafthauses verfügt über die Eigenschaften, die der damaligen Betontechnologie (Stampfbeton) entsprechen: ungleichmässige Verdich-

tung mit Stellen hoher Durchlässigkeit, insbesondere entlang der Arbeitsfugen.

Das Maschinenhaus, ab Erdgeschoss mit Backsteinen gemauert, ist in gutem Zustand, so dass an der bestehenden Anlage geringfügige Änderungen wegen der Erhöhung des Ausbaudurchflusses und der tieferen Einbauhöhe der Straflo-Maschinen notwendig werden.

Da die neuen Maschinen vollständig für Wasserkühlung ausgelegt werden, verdoppelt sich der Kühlwasserbedarf gegenüber der alten Anlage. Eine Erhöhung der Entnahme bei den drei bestehenden Brunnen in der geforderten Größenordnung erwies sich aufgrund einer möglichen Beeinträchtigung der nahegelegenen Trinkwasserfassungen als unzulässig. Der Vergleich mit einer Flusswasserfassung sprach eindeutig für den Ausbau der Grundwasserfassung. Dazu sollten im Uferbereich des Rheins 100 bis 400 m unterhalb des Kraftwerks drei neue Uferfiltrationsbrunnen erstellt werden. Die Untersuchung, welche für die behördliche Genehmigung durchgeführt werden musste, bezog sich wieder auf die Beeinflussung der nahegelegenen Trinkwasserfassungen und gliederte sich in zwei Phasen:

#### 1. Ausführung einer Computer-Modellstudie

Um die erforderlichen Parameter für das mathematische Modell, basierend auf einem Finite-Element-Programm, festlegen zu können, mussten die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse genau abgeklärt werden. Die Modellrechnung zeigte, dass diese Brunnen hauptsächlich durch Flusswasser gespeist werden, das bei der Sicherung zum Brunnen gereinigt wird. Eine Beeinflussung der umliegenden Grundwasserfassungen wird somit vermieden. Dieser Nachweis war Grundlage für die Baubewilligung und die Erstellung der neuen Brunnenanlage.

#### 2. Verifizierung der Modellstudie mittels Simultanpumpversuchen

Ein 21tägiger Pumpversuch, bei dem in allen drei Brunnen zusammen rund 70 bis 150 l/s entnommen wurden, bestätigte die Modelluntersuchungen vollumfänglich. Darauf wurde von den Behörden auch die Genehmigung zur Entnahme des erforderlichen Kühlwassers erteilt.

### 5.5 Hydraulische Modellversuche

Für die Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Ober- und Unterwasser des Kraftwerks und im Turbineneinlauf wurden von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, (VAW) zwei hydraulische Modelle im Massstab 1:20 und 1:60 erstellt. Die Versuche begannen 1984 und dauerten bis Ende 1990.

#### 5.5.1 Turbineneinlaufmodell im Massstab 1:20

Die Untersuchung des Einlaufes zu einer Straflo-Turbine erfolgte an einem Detailmodell im Massstab 1:20. Neben dem Turbinenblock von 42 m Länge (Bild 5-7) wurde auch eine Zulaufstrecke von etwa 40 m nachgebildet.

Die Zuströmungsverhältnisse zur Straflo-Turbine sollten zwecks Optimierung der Einlaufform überprüft werden. Insbesondere war abzuklären, ob die stark geneigte Einlaufsohle nicht zu Strömungsablösungen führen könnte. Um die Oberwasserdammbalken als Baugrubenabschluss benutzen zu können, musste der neue Turbineneinlauf sehr steil ausgeführt werden ( $50^\circ$  Neigung). Die Strömung wurde mit verschiedenen Hilfsmitteln überprüft: Im Oberwasser wurde die Strömung mit Kalkmilch und im Einlauf selbst

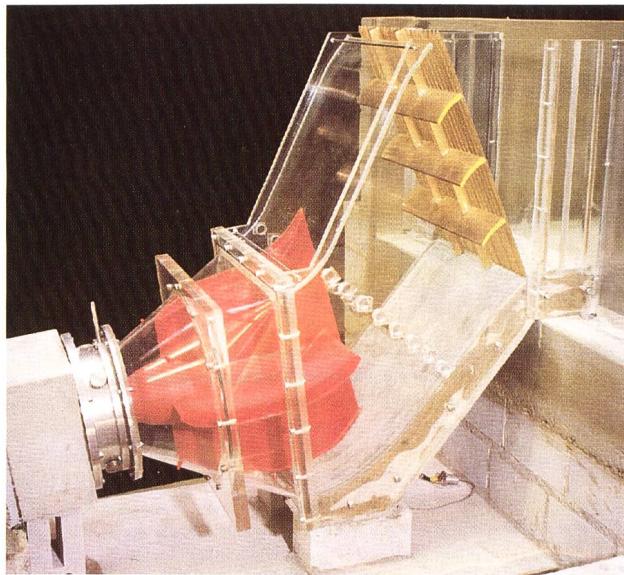


Bild 5-7. Modell des fertig montierten Turbinenblocks.

mit blaufarbigen Injektionen sichtbar gemacht. Ferner wurden Wollfäden zur Beobachtung der Stromlinientrajektorien eingesetzt. Die wichtigsten Erkenntnisse konnten aber aus den systematischen Geschwindigkeitsmessungen mit einem geeichten Mini-Flügel von 10 mm Durchmesser gewonnen werden. Die Querschnitte für die Geschwindigkeitsmessungen 1-1'-2-3-4 sind im Bild 5-8 zusammen mit dem Querschnitt D für die Druckmessungen dargestellt.

Beim Trennpfeiler zwischen zwei Einlauföffnungen wurden neben der Projektvariante A vier verschiedene Varianten B bis E untersucht, die sich in der Ausrundung des Pfeilerkopfes und in der Kote der Flussohle vor der Einlaufschwelle unterschieden.

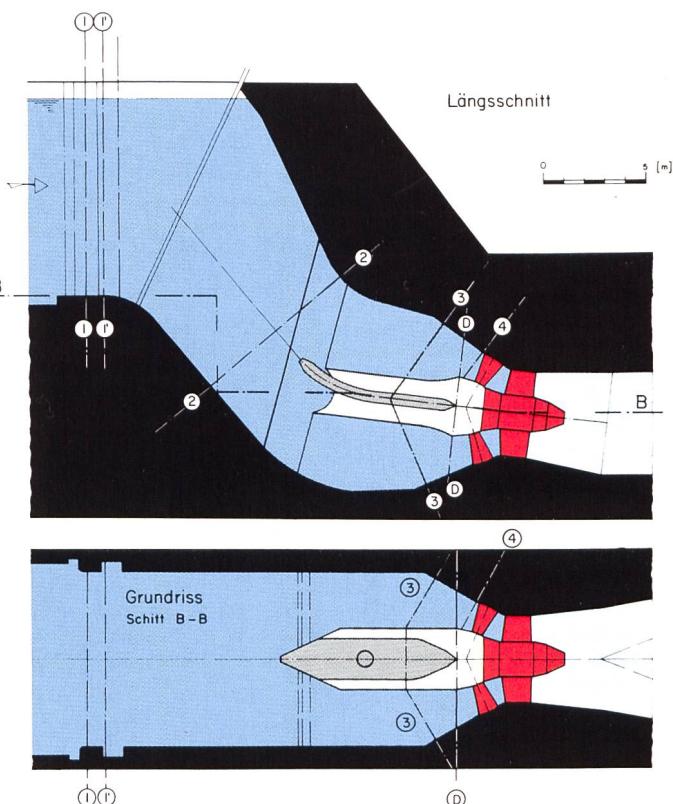


Bild 5-8. Geschwindigkeits- und Druckmessungen am Turbineneinlauf: Anordnung der untersuchten Messprofile.

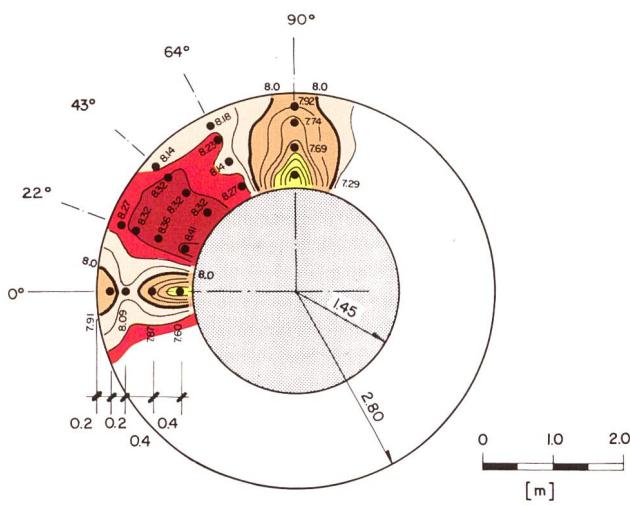


Bild 5-9. Vorgeschlagene Einlaufvariante  $Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$ : Isotachenbild (Linien gleicher Durchflussgeschwindigkeit in m/s) des Messprofils 4.

Die Zuströmungsbedingungen für den normalen Betriebsfall (beide Nachbarturbinen in Betrieb) wurden mit Plexiglasleitwänden erreicht. Durch Entfernen einer oder beider Leitwände konnten dann auch Betriebsfälle mit ausser Betrieb stehenden Turbinen untersucht werden.

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Versuche am Detailmodell sah das Projekt einen Innenrechen in jedem Einlauf vor. Die Form der drei Rechenquerträger sowie deren Neigung in Fließrichtung wurden optimiert, um Ablösungen zu vermeiden.

Da die bestehenden Einläufe mit einem Betonquerbalken mit Vouten versehen waren, musste dessen Einfluss auf die Strömungsbedingungen untersucht werden. Es zeigte sich, dass sich hinter den Vouten Oberflächenwirbel bilden. Um diese zu vermeiden, müssen solche Querbalken über dem Wasserspiegel angeordnet werden.

Die Hauptresultate der Versuche am Detailmodell waren die folgenden (Bild 5-8):

- Die steil abfallende Sohlenform wird von der Strömung gut angenommen und führt zu keinen Ablösungen.
- Die verschiedenen Varianten für die Trennpfeiler zwischen zwei Einlauföffnungen wirken sich vor allem im Messquerschnitt 1 aus, während sie bei den näher zur Turbine liegenden Querschnitten sehr ähnliche Isotachenbilder ergeben.

- Der Einfluss einer asymmetrischen Zuströmung wird im Einlauf schnell abgebaut und ist schon im Messquerschnitt 2 kaum mehr feststellbar.
- Die Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine (Messquerschnitt 4) garantiert eine gute Belastung der Turbine auch im Fall von ungünstigen Zuströmungsbedingungen (Bild 5-9).

### 5.5.2 Flussmodell im Massstab 1:60

Die im Massstab 1:60 modellierte Flussstrecke umfasste je 550 m im Oberwasser und im Unterwasser (Bild 5-10). Während die Strecke im Oberwasser für die Nachbildung der naturgetreuen Anströmung des Kraftwerks notwendig war, ergab sich die unterwasserseitige Strecke aus den Bedürfnissen für die Untersuchung der Flussbaggerung des Rheinkraftwerks Säckingen (RKS), ferner als Grundlage für die Bemessung des vom RKS zu leistenden Einstauersatzes.

#### Neue Rechenanlage vor den Turbineneinläufen

Das alte Kraftwerk verfügte über einen 185 m langen Außenrechen. Zusätzlich war jede Maschinengruppe mit einem Innenrechen im Einlauf ausgerüstet. Der Außenrechen, der mit einem Winkel von ca.  $30^\circ$  zur Flussströmung angeordnet war, bestand aus einer massiven bis 4 m hohen Betonschwelle, einer Fachwerktragkonstruktion (Joch), dem 7 m hohen 5:1 geneigten Rechen, einer Tauchwand und einem Unterhaltssteg. Die Rechenstäbe (Rechteckprofil  $100 \times 15 \text{ mm}$ , lichter Abstand 56 mm) waren rechtwinklig zur Schwellenachse angeordnet, womit die meisten der Stäbe nicht parallel zu ihrer Längsrichtung angestromt wurden. Die Rechenstäbe bewirkten also eine zweimalige Strömungsumlenkung und eine starke Querströmung, was zu Ablösungen an den Stäben und damit zu unverhältnismässig hohen Energieverlusten führte. Durch die Erhöhung der Ausbauwassermenge des Kraftwerks von rund  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  auf rund  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$  wären diese Verluste fast verdoppelt worden.

Im Modellversuch zeigte sich, dass auch die Schwelle dazu beitrug, dass der Außenrechen ein beträchtliches Quergefälle des Wasserspiegels vor den Turbineneinläufen vom Schweizer Ufer gegen das Wehr verursachte. Die Strömungsbilder mit Wolfäden waren in diesem Zusammenhang sehr aufschlussreich (Bild 5-11). Der Vergleich zwischen den Strömungsrichtungen an der Oberfläche und an der Sohle zeigte Abweichungen von mehr als  $90^\circ$ . Außerdem wurde durch die Schwelle eine Spiralför-

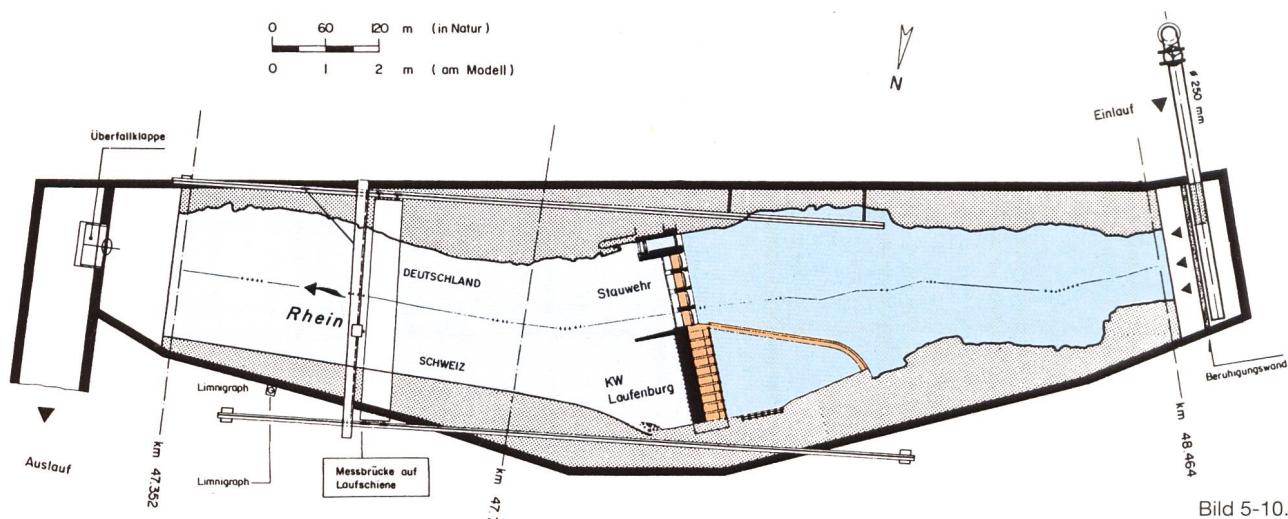


Bild 5-10. Grundrissplan des Modells der nachzubildenden Flussstrecke.

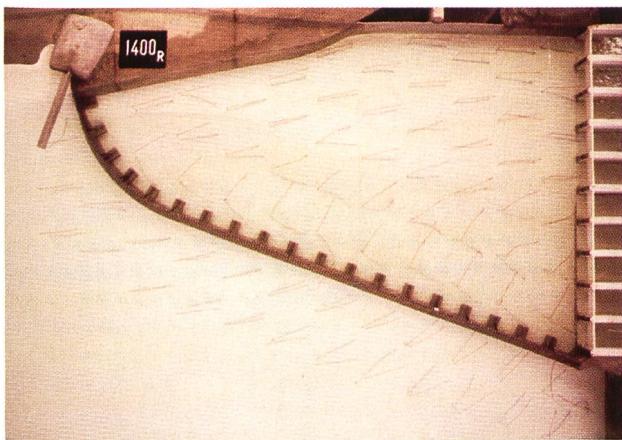


Bild 5-11. Strömungsbild mit Wollfäden bei einem Ausbaudurchfluss der zehn Turbinen von insgesamt  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

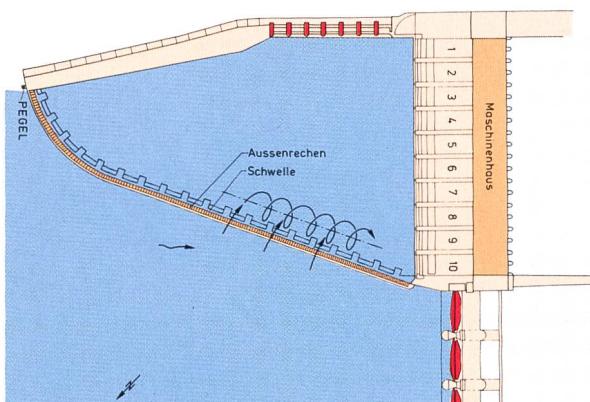


Bild 5-12. Spiralbewegung, die durch das Überströmen der Rechenschwelle verursacht wird.

gung induziert, die noch von den ins Längsströmungsprofil hineinragenden Jochfundamenten unterstützt wurde (Bild 5-12).

Die schon im Projekt vorgesehene Entfernung des Außenrechens wurde dann in das Modell übernommen. Der Außenrechen wurde dabei durch eine Tauchwand ersetzt, welche die Abführung des Geschwemmsels über die erste Wehröffnung weiterhin möglich machen sollte. Damit wurde zwar die zweimalige Strömungsumlenkung an den Rechenstäben eliminiert, doch die Walzenströmung an der Schwelle war noch vorhanden. Als erste diesbezügliche Verbesserungsmassnahme wurde an der Schwellenhinterseite eine Auffüllung mit flacher Böschung angebracht, was aber nur eine geringe Wirkung ergab. Die Versuche zeigten, dass Rechen und Schwelle entfernt werden müssen, um die Anströmung der Maschinen massgebend zu verbessern.

Nach Abbruch des Außenrechens führte der bestehende Trennpfeiler zwischen Turbine 10 und Wehröffnung 1 zu Ablösungen, die eine saubere Anströmung und damit eine gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung im Einlauf der Turbine 10 verunmöglichten. Deshalb wurden im Modell 6 verschiedene Trennpfeilervarianten untersucht (Bild 5-13). Die neue Form gemäss Variante 6 ergab die gewünschte gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung.

Für die durch die Entfernung des Außenrechens notwendig gewordene neue Rechenanlage wurden zwei Varianten untersucht:

- Ersatz des Außenrechens durch eine Tauchwand und Einzelrechen in den Turbineneinläufen (entsprechend der

auch im Turbineneinlaufmodell untersuchten Variante),

- Erstellen einer komplett neuen durchgehenden Rechenanlage, die den Turbineneinläufen parallel vorgelagert ist, ohne Tauchwand, mit Stützpfeilern, parallel zu den Rechen geneigt (im Verlauf der Untersuchungen entwickelte neue Variante, Bild 5-14).

Die vergleichenden Untersuchungen der beiden Varianten zeigten, dass die Tauchwand einen hydraulischen Verlust von bis zu 4 cm bewirkte. In der Variante ohne Tauchwand konnte hingegen die Querneigung des Wasserspiegels vor den Turbinen weiter reduziert werden. Neben diesen hydraulischen führten letztlich noch andere Vorteile, wie das Vermeiden des Verstopfens eines Turbineneinlaufs durch verklemmtes Treibgut, zur Wahl der Variante ohne Tauchwand.

#### Verbesserung der Strömungsverhältnisse im Unterwasser

Für das Unterwasser wurden verschiedene Möglichkeiten der Erweiterung des Abflussquerschnittes (Änderung der Trennmauer, Verlegung der linksufrigen Böschung, Sohlenbaggerung) untersucht, mit dem Ziel, den Wasserspiegel zu senken. Die Versuchsergebnisse zeigten aber, dass der erzielbare Gefällsgewinn mit den untersuchten Massnahmen sehr gering ist. Falls kein Wehrabfluss vorhanden ist, entsteht durch die einseitige Kraftwerksabströmung am Ende der Trennmauer ein grossräumiger Wirbel (Durchmesser bis 100 m, Bild 5-15), der den Abflussquerschnitt verengt. Weitere Versuche wurden deshalb auch mit Unterwasserleitdämmen und Kolkverfüllungen durchgeführt.

Alle erwähnten Massnahmen brachten aber nur sehr bescheidene Wasserspiegelabsenkungen, die teilweise innerhalb der Messgenauigkeit lagen. Die einzige wirklich spürbare Verbesserung wurde durch die grossräumige Baggerung des Rheinkraftwerks Säckingen (RKS) erreicht. Diese wurde im obersten Bereich gegenüber dem Projekt von RKS gestreckter ausgebildet, um die grossräumige Walze in ihrer Ausbildung zu hemmen. In weiteren Versuchen wurde der Wehrbetrieb untersucht. Das Wehrreglement wurde sowohl bezüglich dessen Einflusses auf die Schifffahrt (Strömungsverhältnisse bei der unterwasserseitigen Zufahrt zur Schleuse) als auch bezüglich eines günstigen Turbinengefälles optimiert. Es zeigte sich, dass durch den Betrieb mit den Wehröffnungen 1 und 2 eine Ejektorwirkung erzeugt werden kann, die den Unterwasserspiegel und damit die Energieproduktion günstig beeinflusst.

#### Wasserspiegelmessungen im Unterwasser

Nach den eigentlichen Modellversuchen wurden noch umfangreiche Messkampagnen zur Bestimmung der Unterwasserspiegel bei verschiedenen Bedingungen sowie für verschiedene Ausbauwassermengen durchgeführt. Die aus den Messungen resultierenden Wasserspiegelwerte waren erforderlich, um die Berechnung des Einstauersatzes auf eine möglichst reale Grundlage abstützen zu können.

#### Schwallmessungen im Oberwasser

Im Nachgang zu den eigentlichen Modellversuchen wurden im Gesamtmodell Schwallmessungen durchgeführt, und zwar einerseits, um einen Abnahmeversuch mit Notschluss von zwei Turbinen vom 12. April 1990 nachzuvollziehen, und andererseits, um über die Auswirkungen noch extremerer Betriebszustände Aufschluss zu erhalten.

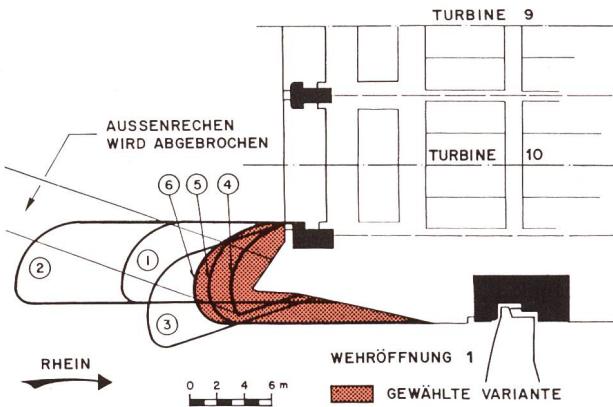


Bild 5-13. Ermittlung des strömungstechnisch günstigsten Profils (Variante 6) für den Trennpfeiler zwischen Maschine 10 und Wehröffnung 1.



Bild 5-15. Strömungszustand bei  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ : Ein den Abflussquerschnitt verengender, grossräumiger Wirbel entsteht, wenn kein Wehrabfluss vorhanden ist.

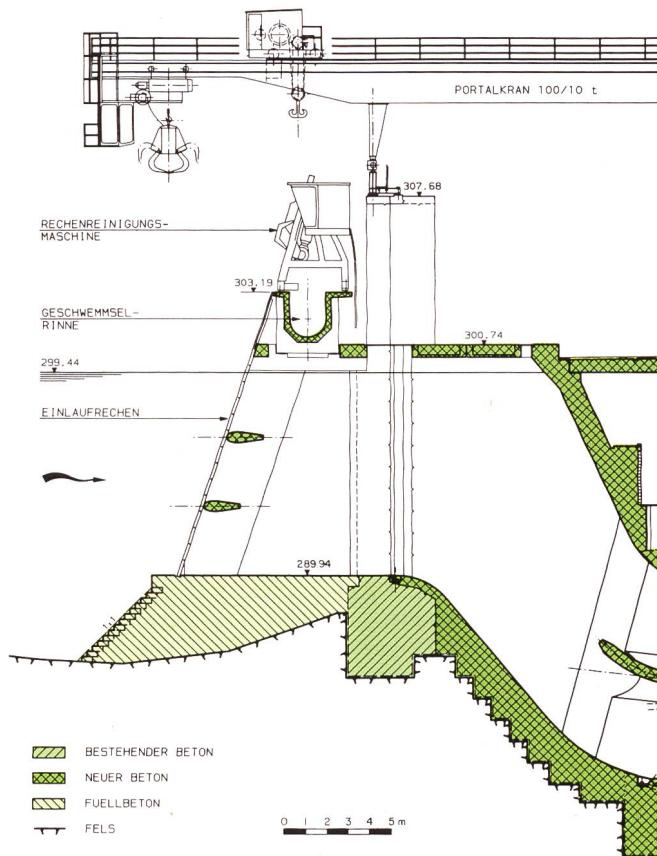


Bild 5-14. Neue Rechenanlage mit Rampe vor der Sohlenplatte, die aufgrund der Untersuchungsergebnisse entwickelt wurde.

## 5.6 Das Bauprojekt

Die Gesamtdisposition für den Ausbau des Kraftwerks auf die bewilligte Nutzwassermenge und die damit verbundenen Umbauten umfasste im wesentlichen die nachstehenden Massnahmen, wobei die weitgehende Erhaltung des äusseren Erscheinungsbildes des Werks anzustreben war:

– Im Maschinenhaus und Turm werden mit Ausnahme der Energieableitung und der 110-kV-Schaltanlage die gesamte elektrotechnische Ausrüstung einschliesslich des Kommandoraums untergebracht, ferner die für das Betriebspersonal erforderlichen Büros und Sozialräume sowie Werkstätten und Lagerräume.

- Für die nicht unmittelbar mit dem Kraftwerksbetrieb verbundenen Bereiche werden am Schweizer Ufer ein neuer Werkhof und ein Bürohaus gebaut. Im Zuge einer optimalen Nutzung und Gestaltung des Kraftwerksareals werden einige der bestehenden Gebäude, namentlich das Schalt- und Transformatorenhaus, abgebrochen.

Im folgenden wird die Disposition der eigentlichen Kraftwerksanlagen beschrieben. Die Bilder 5-16 und 5-17 zeigen im Vergleich einen Schnitt durch das ursprüngliche und das ausgebauten Kraftwerk.

- Die Turbinen-Einlaufschützen mit den Windwerken und der Brückenkran werden demontiert. Die Schützen werden durch Rolldammtafeln ersetzt, die mit einem neuen 100-Tonnen-Kran versetzt werden können.
- Vor den umgebauten Turbineneinläufen wird eine neue Rechenanlage eingebaut. Der Aussenrechen wird abgebrochen.
- Die bestehenden Francis-Maschinengruppen werden durch zehn Straflo-Maschinengruppen mit einer maximalen Leistung von 11,6 MW und einer maximalen Schluckwassermenge von  $137 \text{ m}^3/\text{s}$  pro Gruppe ersetzt.
- Im fünfgeschossig auszubauenden Maschinenhaus werden fünf 10,5/110-kV-Blocktransformatoren, der Kommandoraum, elektromechanische Hilfsbetriebe, mechanische und elektrische Werkstätten sowie Sozialräume für das Betriebspersonal, Magazine und Archive untergebracht (Bild 5-18).
- Eine neue Dieselnstromgruppe mit den dazugehörigen Nebenanlagen wird im gemeinsamen Wehrturm zwischen Maschinenhaus und Wehr aufgestellt.
- Im neu auszubauenden Turm werden im 2. bis 4. Obergeschoss Büros und Archive für das Betriebspersonal und in den beiden oberen Geschossen ein Sitzungszimmer sowie Sozialräume eingerichtet.
- Die Energie wird von den Blocktransformatoren über Kabel, die in einem neugebauten Stollen verlegt werden, direkt zur KWL-eigenen 110-kV-SF<sub>6</sub>-Schaltanlage im Kaisertfeld abgeleitet.
- Am Stauwehr, der Schiffsschleuse und den Fischtreppen an beiden Ufern werden Sanierungs- und Anpassungsarbeiten durchgeführt.

Die bisherigen und die neuen Hauptdaten des Rheinkraftwerks Laufenburg sind in Tabelle 5-19 gegenübergestellt.

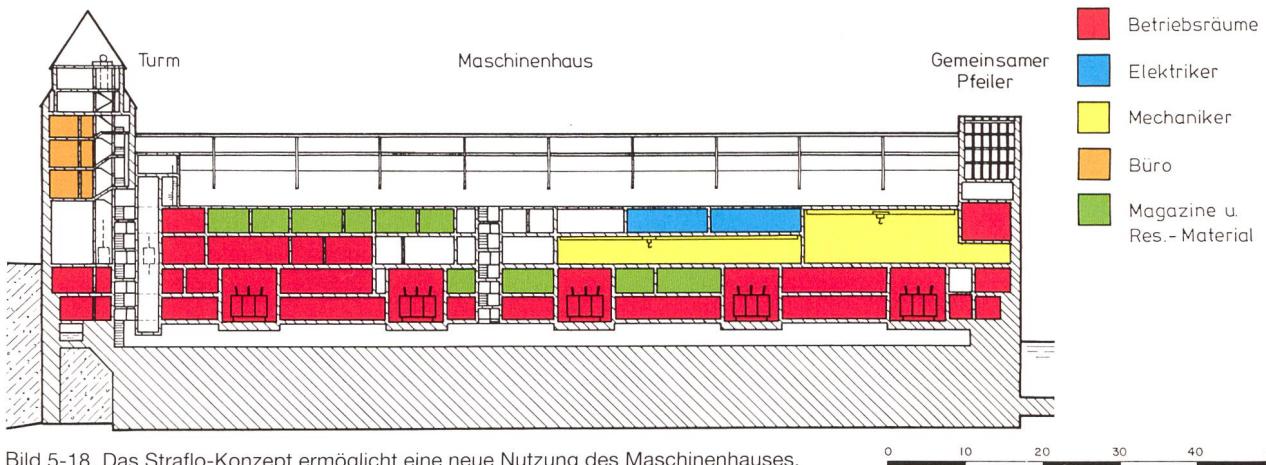


Bild 5-18. Das Straflo-Konzept ermöglicht eine neue Nutzung des Maschinenhauses.

## 5.7 Das Baubewilligungsverfahren

Grundlage für das Baubewilligungsverfahren war das Bauprojekt. Zusätzlich waren bereits bei der Ausarbeitung des Konzessionsprojektes und während der Erarbeitung des Bauprojektes die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen und Abklärungen den Behörden beidseits des Rheins zur Verfügung gestellt worden. Mit diesen Arbeiten wurden hauptsächlich Fragen zur vorgesehenen neuen elektromechanischen Ausrüstung des Kraftwerks, zur zukünftigen Wasserregulierung und zur Betriebsführung beantwortet. Ferner wurden auch Probleme der Baustabilität, des Grundwasserschutzes und der Fischereibelange behandelt.

Eine Umweltverträglichkeitsprüfung war nicht notwendig, weil das Ausbauprojekt auf der ganzen Konzessionsstrecke keine Veränderungen am Flusslauf vorsah und sämtliche Umbauten und Anpassungen innerhalb des Kraftwerks – grösstenteils unterirdisch – projektiert waren. Als einzige von aussen erkennbare wesentliche Veränderung enthielt das Projekt den Ersatz des Aussenrechens durch eine moderne Rechenanlage direkt vor den Turbineneinläufen. Zudem wurde zu jener Zeit eine Umweltverträglichkeitsprüfung noch nicht gesetzlich verlangt.

Wie das Konzessionsbegehren musste auch das Baugenehmigungsgesuch in der Schweiz beim Bund und in Deutschland beim Land Baden-Württemberg eingereicht werden. Neben einem durch das Bundesamt für Wasserwirtschaft durchgeführten verwaltungsinternen Vernehmlassungsverfahren auf Bundesebene führte auch der Kanton Aargau als Inhaber der Gewässerhoheit ein entsprechendes Verfahren durch. Auf deutscher Seite veranlasste das Regierungspräsidium Freiburg eine entsprechende Vernehmlassung. Die Hochrheinkommission übernahm dabei gewisse Koordinationsaufgaben.

Gleichzeitig wurde das Projekt in den beiden Standortgemeinden Laufenburg CH und D erneut öffentlich aufgelegt. Die eingereichten Einsprachen waren hauptsächlich vorsorglicher Natur und bezweckten fast ausschliesslich die Sicherung bestehender Rechte. In Zusammenarbeit mit den Behörden konnten diese Einsprachen zur allseitigen Befriedigung bereinigt werden.

Die aus den verschiedenen Vernehmlassungsverfahren stammenden Forderungen und Bedenken wurden dank umfangreichen Vorabklärungen recht zielstrebig und spektiv behandelt und zu einem Konsens geführt. So konnten nach etwas mehr als einem halben Jahr, im April 1987, der Schweizerische Bundesrat und das Regierungspräsidium Freiburg je eine gleichlautende Baugenehmigung erteilen.

Die in den Genehmigungen verlangten Auflagen konzentrierten sich auf den Nachweis der Standfestigkeit des Wehres, Verbesserungen zugunsten der Fischerei und Sicherheitsforderungen bei der Realisierung des Projektes.

Nachdem die grundsätzlichen Genehmigungen vorlagen, musste bei der Standortgemeinde des Kraftwerks, Laufenburg CH, ein ordentliches Baugesuch mit Detailplänen zur Einholung der verschiedenen Ausführungsbewilligungen bei den kantonalen Behörden und Institutionen (Baudepartement, Kantonales Industrie- und Gewerbeamt, Aargauisches Versicherungsamt usw.) eingereicht werden.

Dieses Verfahren wurde in Etappen gemäss dem Stand der Projektierungsarbeiten durchgeführt. Teilweise beding-

Tabelle 5-19. Hauptdaten des Rheinkraftwerks.

Beschreibung	Einheit	Bisheriges Kraftwerk	Ausgebautes Kraftwerk
Einzugsgebiet	km <sup>2</sup>	34 074	34 074
Mittlerer jährlicher Abfluss (1933–1984)	m <sup>3</sup> /s	1 008	1 008
Oberwasserstaukote	m ü. M <sup>1</sup>	299,44	299,44
Brutto-Fallhöhe:			
– Q <sub>Rhein</sub> = 475 m <sup>3</sup> /s	m	9,89	10,05 <sup>2</sup>
– Q <sub>Rhein</sub> = 1 400 m <sup>3</sup> /s	m	9,01	9,45 <sup>2</sup>
– Q <sub>Rhein</sub> = 2 650 m <sup>3</sup> /s	m	7,50	8,38 <sup>2</sup>
Turbinen:			
– Ausbaudurchfluss	m <sup>3</sup> /s	1 080	1 355
– Anzahl Einheiten	–	10	10
– Typ	–	Francis	Straflo
– Installierte Leistung	MW	100	110
– Nenndrehzahl	U/min	125	107,14
– Laufraddurchmesser D1	m	1,70	4,25
Generatoren:			
– Nennleistung	MVA	13	12
– Überlast-Leistung	MVA	–	13,75
– Nenn-Cosphi übererregt	–	–	0,9
– Nennspannung	kV	6,4	10,5
– Spannungsbereich	%	±5	±5
– Normalfrequenz	Hz	50	50
Energieproduktion (ohne Einstauersatz):			
– Winter	GWh	223	277
– Sommer	GWh	267	353
– Jahr	GWh	490	630
Wehr:			
– Anzahl Wehrfelder	–	4	4
– Breite der Wehrfelder	m	17,30	17,30
– Schwellenkote:			
– Felder 1 und 4	m ü. M.	282,74	282,74
– Felder 2 und 3	m ü. M.	285,24	285,24

<sup>1</sup> Neuer Schweizer Horizont (NSH)

<sup>2</sup> Nach Baggerung im Unterwasser durch das Rheinkraftwerk Säckingen bei Normalstau

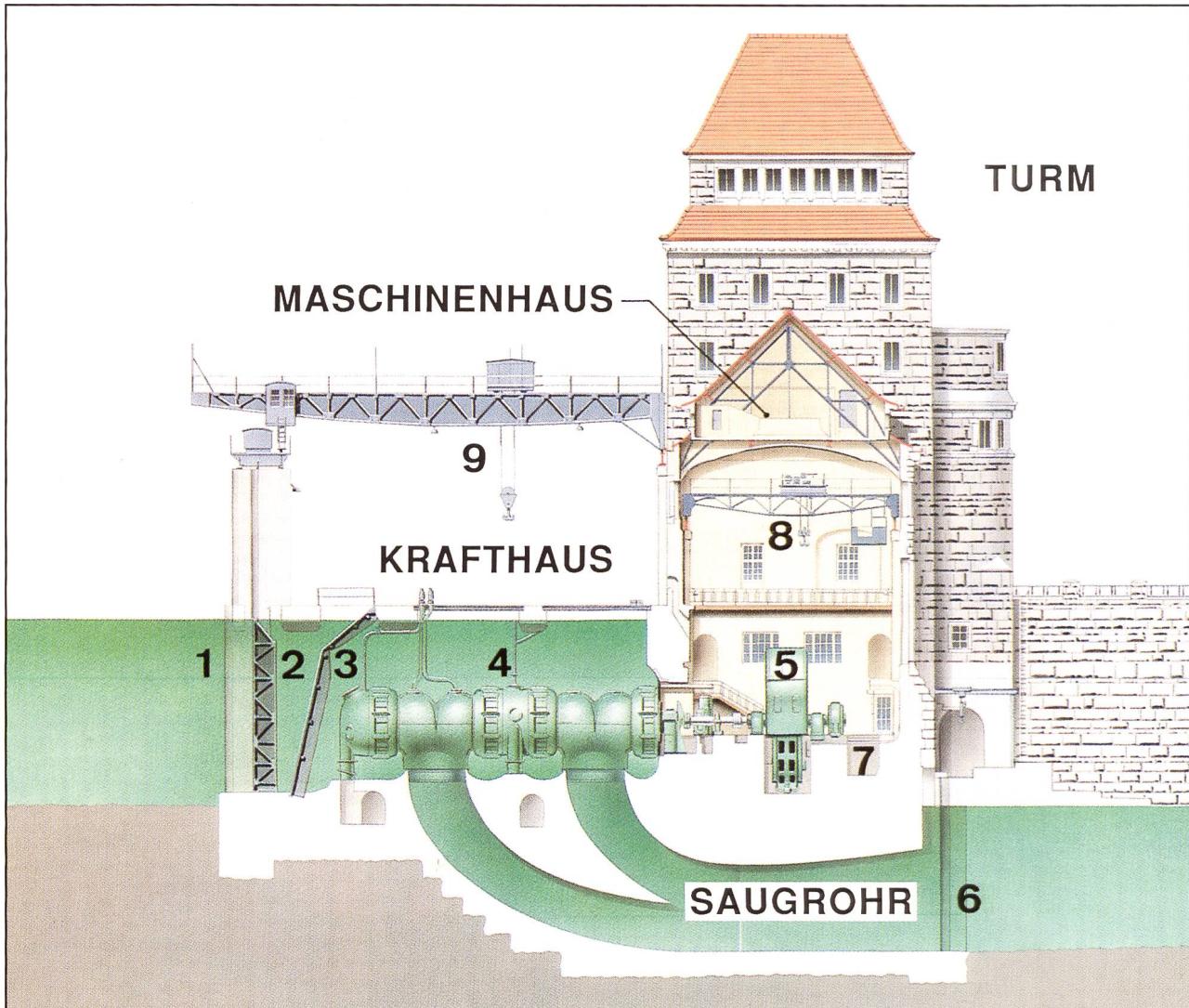


Bild 5-16. Schnitt durch das ursprüngliche Kraftwerk mit Doppel-Zwillings-Francisturbinen. 1 Gleitdammbalken-Nut, 2 Einlaufschütze, 3 Innenrechen, 4 Francisturbine, 5 Generator, 6 Unterwasser-Dammbalkennut, 7 Energieableitungskanal, 8 Montagekran für Generatoren, 9 Montagekran für Turbinen.

ten diese Bewilligungen eine intensive Zusammenarbeit mit den kantonalen Behörden und eine entsprechend lange Bearbeitungszeit, verursacht durch zusätzlich benötigte Abklärungen, Untersuchungen und Versuche.

Generell kann gesagt werden, dass nahezu sämtliche Behörden am Anfang des Verfahrens keine klaren Vorstellungen bezüglich Zuständigkeit und Ablauforganisation des gesamten Baubewilligungsverfahrens hatten. Es war aber sehr erfreulich, dass die anstehenden Probleme dennoch mit allen Behörden in kooperativer Zusammenarbeit speditiv gelöst werden konnten. Für diese tatkräftige Unterstützung des Projektes sei auch an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.



RHEINKRAFTWERK LAUFENBURG

AUSBAU 1988 – 1994

## 6. Der Ausbau des Rheinkraftwerks

Gerrit Baaij, Hans Baur, Dario Crameri,  
Hans-Martin Derungs, Jürg Emler, Armin Fust,  
Erwin Ganz, Janos Gyenge, Roland Ruoss,  
Hansjürg Vögtli, Ernst Wirz

### Einleitung

Artikel 13 der beidseitigen Bewilligungen verpflichtet das KWL zum Beginn des Ausbaus der Anlagen gemäss Konzessionsprojekt innerhalb von drei Jahren und zur Fertigstellung im Zeitraum von neun Jahren nach Inkrafttreten der neuen Konzessionen am 16. Dezember 1986.

Die Ausbaurbeiten begannen im April 1988, Mitte März 1990 konnte die erste Maschinengruppe übernommen

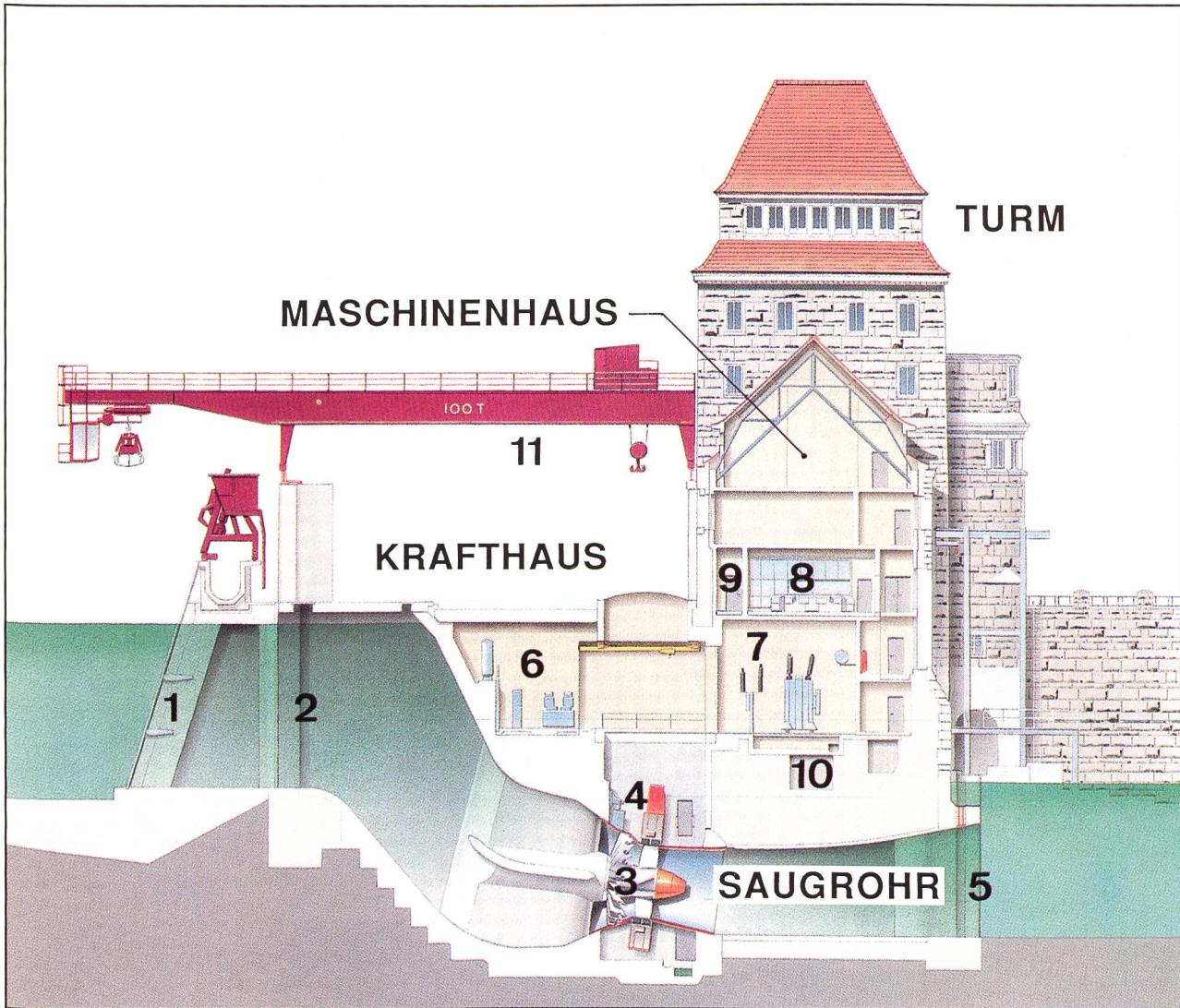


Bild 5-17. Schnitt durch das Rheinkraftwerk mit den neuen Straflo-Maschinengruppen, die sich *unterhalb* des Unterwasserspiegels befinden. 1 Rechen, 2 Rolldammbalken-Nut, 3 Straflo-Turbine, 4 Aussenkranzgenerator, 5 Unterwasser-Dammtafelnut, 6 hydraulischer Turbinenregler, 7 Maschinentransformator, 8 Kommandoraum, 9 Energieableitung, 10 Rohrkanal.

werden, und Ende 1992 war die letzte der zehn neuen Straflo-Maschinengruppen betriebsbereit.

Der Ausbau stellte besonders wegen der komplexen Aufgabenstellung – Umbau eines ununterbrochen in Betrieb befindlichen Kraftwerks – höchste fachliche und sicherheitstechnische Anforderungen an alle Beteiligten.

Im folgenden wird auf die Terminplanung und den allgemeinen Bauablauf eingegangen, während in weiteren Abschnitten wichtige Ausbaukomponenten und spezielle Arbeitsabläufe detaillierter erläutert werden.

## 6.1 Terminplanung und Bauablauf

Der offizielle Baubeginn fand am 6. April 1988 mit der Ausserbetriebnahme der ersten alten Maschinengruppe statt. Etliche Vorarbeiten, wie die Erstellung des unterirdischen Energieableitungskanals im Bereich des Installationsplatzes und von Auflagerschwellen für die unterwasserseitigen Baugrubenabschlüsse, sowie die Montage eines neuen Portalkrans im Kraftausbereich wurden im Sommer 1987 und im darauffolgenden Winter ausgeführt. Damit war gewährleistet, dass die baulichen Tätigkeiten von Beginn an voll und ganz auf die terminbestimmenden Hauptarbeiten des Kraftausbereichs konzentriert werden konnten (Bild 6-1).

### Bau und Montageprogramm

Die gesamten Ausbauarbeiten umfassten im wesentlichen folgende Hauptlose:

- Vorarbeiten
- Umbau des Kraft- und Maschinenhauses
- Erstellung der Rechenanlage und des gemeinsamen Pfeilers
- Abbruch des alten Aussenrechens

Terminbestimmend für alle Lose waren die Umbauarbeiten im Kraftaus, deren Ablauf so optimiert wurde, dass der Energieproduktionsausfall während der Bauzeit möglichst gering war. Daraus ergab sich für die zehn Maschinengruppen ein gestaffelter Baubeginn in einem Zeitintervall von jeweils vier Monaten. Die Bauzeit für eine Maschinengruppe vom Zeitpunkt der Ausserbetriebnahme der alten Maschine bis zur Inbetriebnahme der neuen Straflo-Maschinengruppe betrug 21 Monate. Für die baulichen Arbeiten standen jeweils 15 und für die Montage und Inbetriebsetzung 6 Monate zur Verfügung (Bild 6-2).

Der Umbau erfolgte vom Schweizer Ufer aus in Richtung Flussmitte. Dies hatte den Vorteil, dass die Energieableitung, die Kühlwasserversorgung und die Gruppenschacht-

entwässerung definitiv mit der neuen Maschinengruppe in Betrieb genommen werden konnten. Es musste dagegen in Kauf genommen werden, dass die Kühlwasserversorgung und die Energieableitung der alten Maschinen bis zur Ausserbetriebnahme der 10. Francisgruppe dauernd durch die Baustelle geführt und verschiedentlich umgelegt und geschützt werden mussten.

Die Arbeiten aller anderen Lose waren entweder Voraussetzung für die Krafthausarbeiten oder von ihnen abhängig. Sie mussten deshalb im gleichen Arbeitstakt ausgeführt werden. Die einzelnen Tätigkeiten wiederholten sich von Maschinengruppe zu Maschinengruppe. Dies hat sowohl die Planung als auch die Ausführung erleichtert. Andererseits hatte der konsequent vorgegebene Arbeitstakt zur Folge, dass die einzelnen Tätigkeiten ohne Rücksicht auf Wetterbedingungen und Jahreszeiten ausgeführt werden mussten. Da bauliche Arbeiten im Winter naturbedingt mehr Zeit beanspruchen als im Sommer, mussten als Voraussetzung für deren reibungslosen Ablauf Pufferzeiten eingeplant oder erarbeitet werden. Dass es möglich war, den Bauzeitplan im wesentlichen einzuhalten, ist neben den unternehmerischen Anstrengungen auch auf die günstigen Wetterverhältnisse zurückzuführen.

#### Baustelleninstallationen und -erschliessung

Die gesamte Baustelle wurde über die am Schweizer Ufer bestehenden Werkstrassen, welche ausgebaut wurden, erschlossen. Das Platzangebot war im unmittelbaren Kraftwerksbereich sehr begrenzt, so dass sämtliche Parkplätze und Unterkünfte für das Baustellenpersonal – zeitweise bis zu 150 Personen – ausserhalb des Kraftwerkareals angeordnet werden mussten. Den Montage- und Innenausbaufirmen, die sich für die lange Bauzeit einrichten mussten, stand nur ober- und unterwasserseitig des Kraftwerks beschränkt Platz zur Verfügung. Im engeren Kraftwerksbereich war lediglich für die Grundinstallationen der Bauunternehmung Platz vorhanden; deshalb wurde während der gesamten Bauzeit mit Lieferbeton gearbeitet und keine Ortsbetonanlage eingerichtet. Für die Ausführung der baulichen Arbeiten war eine grosse Krankapazität erforderlich, um die Transporte vom Ufer bis zur eigentlichen Baustelle zu bewältigen. Neben den beiden vorhandenen KWL-Portalkrane (30/100 Tonnen) wurden zwei stationäre und ein fahrbarer Turmdrehkran installiert. Wegen der beschränkten Hubgeschwindigkeiten kamen die Portalkrane mehrheitlich bei den Montagearbeiten zum Einsatz. Mit dem

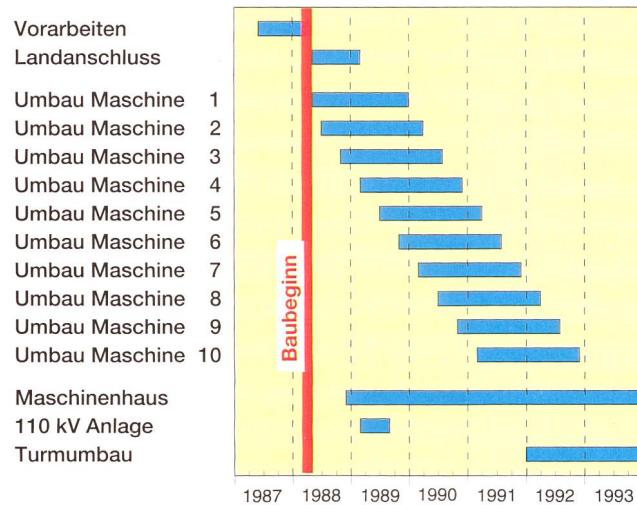


Bild 6-1. Terminplan für den Ausbau: Die Ausbauplanung wurde nach geringen Verzögerungen zu Beginn, die später aufgeholt wurden, eingehalten.

fahrbaren, sehr leistungsfähigen Turmdrehkran (450 mt) wurde der wesentliche bauliche Transportanteil bewältigt (Bilder 6-3).

#### Krafthaus

Die Umbauarbeiten im Krafthaus beschränkten sich örtlich auf die bestehenden Turbinengruben und die Saugrohrbereiche. Eine eigentliche Baugrubenumschliessung musste nicht erstellt werden. Als Baugrubenabschlüsse dienten in einer ersten Phase oberwasserseitig die alten Einlaufschützen und unterwasserseitig ein spezieller Saugrohrverschluss.

Im Schutz der Abschlüsse wurden neue Dammtafeln eingebaut. Da während der Hauptbauzeit fünf Maschinengruppen gleichzeitig umgebaut wurden und gesamthaft auch nur fünf Abschlüsse sowie ein Reserveabschluss für betriebliche Zwecke zur Verfügung standen, musste die Umbauzeit von 21 Monaten für eine Maschinengruppe strikt eingehalten werden, damit die Dammtafeln umgesetzt und die Arbeiten kontinuierlich fortgesetzt werden konnten.

#### Demontage und Rohbauarbeiten

Die Demontage der einzelnen Maschinengruppen und der

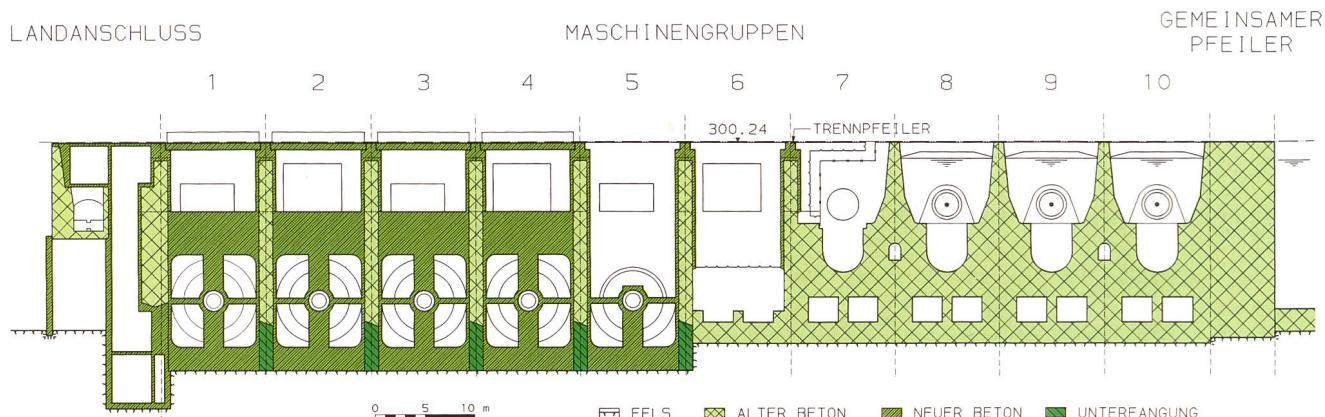
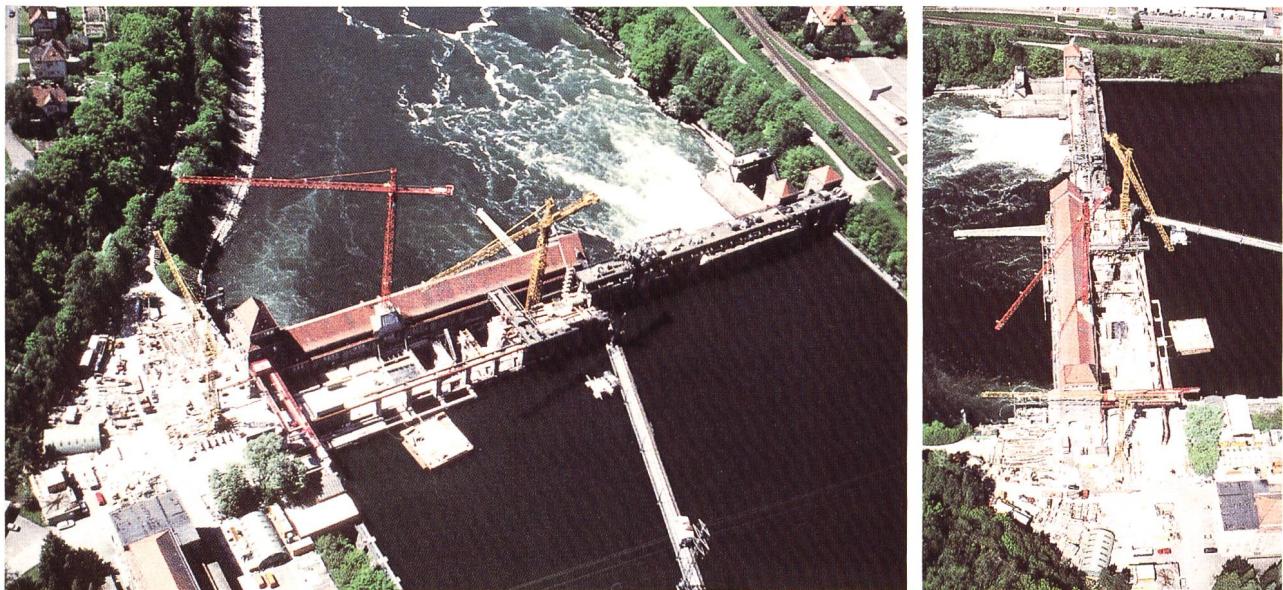


Bild 6-2. Bauzustand im Juni 1990: Gruppen 1 und 2 Straflogruppen in Betrieb; Gruppe 3 Straflogruppe wird montiert; Gruppe 4 bereit zur Maschinengruppe; Gruppe 5 Trennpfeiler erstellt, Einlauf wird betoniert; Gruppe 6 Trennpfeilerkrone beidseitig erstellt, Abbrechen und Betonieren der Verkleidungen bis zur Sohle, Saugrohrumbau begonnen; Gruppe 7 Francisturbine demontiert, Trennpfeilerkrone sowie erste Etappe der Maschinengehäuseunterfangung und Trennpfeilerverkleidung bis Sohle der alten Turbinenkammer fertiggestellt; Gruppen 8, 9 und 10 Francisgruppen in Betrieb.



Bilder 6-3. Baustelleneinrichtung für Kraft- und Maschinenhaus.

Abtransport der rund 400 t Eisen pro Gruppe wurden in jeweils drei Wochen bewältigt.

Die Rohbauarbeiten liefen grundsätzlich in zwei Phasen ab. Zunächst erfolgten der Grubenausbruch in Etappen von je 4 bis 5 m Höhe und das sofortige Erstellen der Betonverkleidungen der Seitenwände, welche die Sicherungsfunktion für die weiteren Ausbruchstappen übernahmen. Parallel zu den letzten beiden der total fünf Ausbruchstappen wurde das Saugrohr umgebaut. In einer weiteren Phase wurden die Gruppenschacht- und die Einlaufsohle betoniert, die Mauerringe versetzt und das Einlaufbauwerk bis und mit der Kraftausbrücke erstellt (Bild 6-4).

Für den Ausbruch des alten Betons und des Felsens wurden Raupenbagger mit Hydraulikhammer eingesetzt; auf Sprengarbeiten wurde verzichtet. Der Abtransport des Ausbruchmaterials erfolgte in Grossmulden, die mit dem Turmdrehkran aus der bis zu 20 m tiefen Baugrube gehoben wurden. Das Bauwerk selbst wurde zum grössten Teil mit Pumpbeton erstellt. Für die kompliziert geformten Einläufe und Saugrohre wurden beschichtete Holzschalungen mit Stahlrüstungen verwendet. Die Rohbauarbeiten, insbesondere die Abbrucharbeiten auf sehr engem Raum, bereiteten der Unternehmung bei den ersten zwei Maschinengruppen grosse Mühe, und die Zwischentermine konnten nicht eingehalten werden. Nachdem aber der optimale Geräteeinsatz feststand, konnten alle weiteren Gruppenschächte termingemäss oder sogar früher für den Montagebeginn und den Innenausbau bereitgestellt werden.

Die Arbeiten wurden dadurch erleichtert, dass die geologischen Voraussagen zutrafen, der Fels sehr dicht war und die Wasserhaltung in den Baugruben keine besonderen Probleme verursachte.

#### *Einlaufrechen und gemeinsamer Pfeiler*

Die neue Rechenanlage liegt unmittelbar vor den Oberwasserdammtafeln. Sie musste zum grössten Teil unter Wasser durch Taucher erstellt werden. Für die Rechentragkonstruktion und die darüberliegende Geschwemmselrinne wurden Betonfertigteile verwendet. Die Bodenplatte, die Elementstösse und die über dem Wasserspiegel liegenden Auflagerträger für die Geschwemmselrinne wurden in Ortsbeton erstellt. Es war geplant, die Unterwasserarbeiten jeweils in der Winterzeit bei geringer Wasserführung und

dementsprechend schwachen Strömungen und klarem Wasser auszuführen. Während die Strömungen im Arbeitsbereich durch Ausserbetriebnahmen von Maschinen günstig verändert werden konnten, war eine Beeinflussung der Sichtverhältnisse im Wasser nicht möglich, und die zeitweise ungenügende Sicht führte dazu, dass die Arbeiten in die

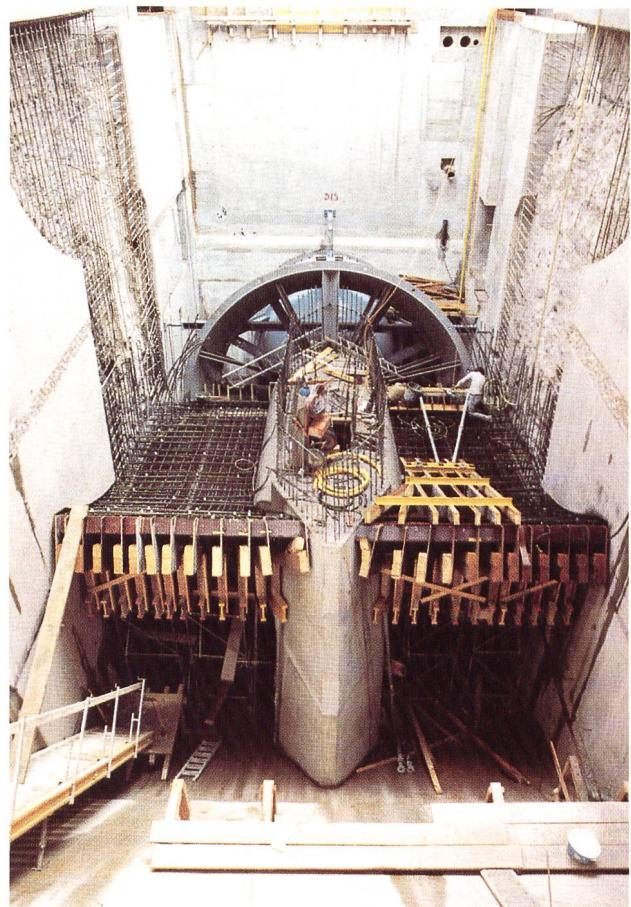


Bild 6-4. Aufbetonieren des Tragkreuzes im Turbineneinlauf. Es dient zur Verankerung der Turbine und zur gleichmässigen Strömungsumlenkung.

Sommerzeit ausgedehnt werden mussten. Trotzdem ist es gelungen, die Abschnitte der Rechenanlage jeweils so weit fertigzustellen, dass die Maschinengruppen termingemäss in Betrieb genommen werden konnten.

Im Gegensatz zur Rechenanlage wurde der gemeinsame Pfeiler zwischen Maschinengruppe 10 und dem Wehr entsprechend einer Unternehmervariante in einer Baugrube im Trockenen und nicht unter Wasser erstellt. Da die Ausführung erst nach der Ausserbetriebnahme der alten Maschinengruppe 10 erfolgen konnte und zu diesem Zeitpunkt der Zugang zum Arbeitsbereich durch den dort stationierten Kran stark erschwert war, musste der Pfeiler in zwei Etappen gebaut werden. Die erste Etappe wurde um ein Jahr vorgezogen und im Winter 1990/91 erstellt, während die zweite Etappe wie geplant im Winter 1991/92 realisiert wurde. Beide Pfeilerteile wurden in Baugruben erstellt, die von gespriessten Stahlspundwänden von 12 bis 15 m Höhe umschlossen waren (Bild 6-5). Die Ausführung der ersten, kleineren Etappe bereitete keine besonderen Probleme. Bei der zweiten Etappe versagten jedoch beim Auspumpvorgang die Auftriebsentlastungen, so dass die Baugrube einstürzte und neu umspundet werden musste. Die durch Felsanker zusätzlich gesicherte Baugrube wurde jetzt nicht mehr voll ausgepumpt, und nur noch der schallungsmässig anspruchsvolle obere Pfeilerteil wurde im Trockenen ausgeführt. Der Fundationssockel wurde dagegen unter Wasser betoniert. Der Pfeiler konnte noch rechtzeitig vor der Inbetriebnahme der Maschinengruppe 10 fertiggestellt werden.

Da der Pfeiler der Strömung stark ausgesetzt ist, wurde dafür ein besonders abriebfester Beton verlangt. Bei der ersten Etappe wurde dafür ein Hartbeton mit Basaltzuschlagstoffen und bei der zweiten Etappe – entsprechend neuerer Betontechnologie – ein Microsilikatbeton verwendet, der sich sowohl bezüglich Verarbeitbarkeit als auch den statischen Werte ausserordentlich bewährte.

#### Abbruch des Aussenrechens

Aufgrund des dauernden Geschwemmselanfalls konnte der alte Aussenrechen erst nach Fertigstellung der neuen Rechenanlage abgebrochen werden. Die gesamte Stahl-

konstruktion von 180 m Länge wurde von einem Ponton aus mit der Stahlschere eines Hydraulikbaggers verkleinert, auf einen zweiten Ponton verladen und abtransportiert. Die Betonfundamentschwelle wurde konventionell gesprengt. Dabei wurden die Sprenglöcher von einem Ponton aus gebohrt. Die Sprengladungen wurden durch Taucher versetzt. Für den Abtransport des mit einem Seilbagger gehobenen Betonabbruchmaterials wurde ein Transportpontron mit Mulden eingesetzt.

#### Maschinenhaus und Turm

Der Umbau des Maschinenhauses entsprach ausführungs-technisch einem Hochbau. Da aber sämtliche Arbeiten unter dem bestehenden Dach durchgeführt wurden, stellten die Zugänglichkeit und die Transporte neben der Aufrechterhaltung der Energieproduktion mit den noch bestehenden Maschinengruppen die Hauptschwierigkeiten dar. Es war vorgesehen, die Maschinenhausbaustelle transportmässig vom Krafthaus her zu bedienen. Die dort vorhandene Krankapazität war aber nicht ausreichend. Die Transporte mussten einerseits vom Ufer aus längs durch das Maschinenhaus bzw. durch den schon erstellten Rohbau und andererseits mit Hilfe eines zusätzlichen Turmdrehkrans, der auf dem Dach des Maschinenhausbereichs 4 installiert wurde, abgewickelt werden. Der Rohbau wurde ebenfalls von Süden in Richtung Norden maschinenbe-reichs- und stockwerkweise erstellt. Die sich aus diesem Bauvorgang ergebende treppenartige Struktur erlaubte es, sofort nach der Ausserbetriebnahme einer Maschinengruppe mit dem untersten Geschoss zu beginnen, während gleichzeitig dazu in den vorangehenden Gruppenbereichen je ein Geschoss höher die Arbeiten fortgesetzt werden konnten (Bild 6-6). Damit die Energieproduktion aufrechterhalten werden konnte, musste der Maschinenhausbereich mit den noch in Betrieb stehenden Maschinen mittels einer Staubschutzwand von der Baustelle getrennt werden.

Mit dem Umbau des Turms konnte aus betrieblichen Gründen sehr spät, nämlich erst nach der Ausserbetriebnahme der Maschinengruppe 10, begonnen werden. Zudem musste der Personenlift des Turms auf nachträglichen Wunsch der Bauherrschaft bis zum Boden der Turbinen-

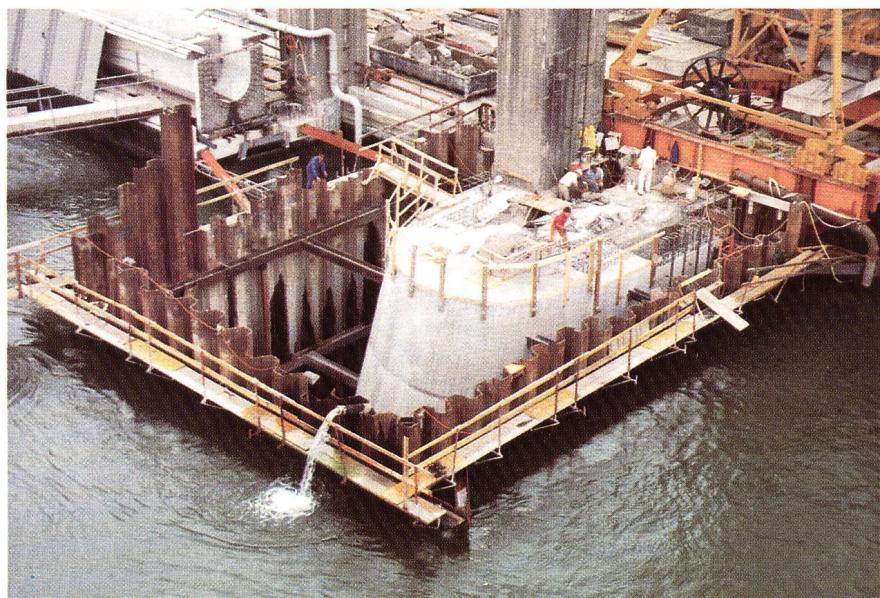


Bild 6-5. Eine anspruchsvolle Aufgabe: die Erstellung des Pfeilers zwischen Maschine 10 und Stauwehr.



Bild 6-6. Gleichzeitige Rohbauarbeiten in den verschiedenen Ebenen des Maschinenhauses als Voraussetzung für die Einhaltung des Terminplans.

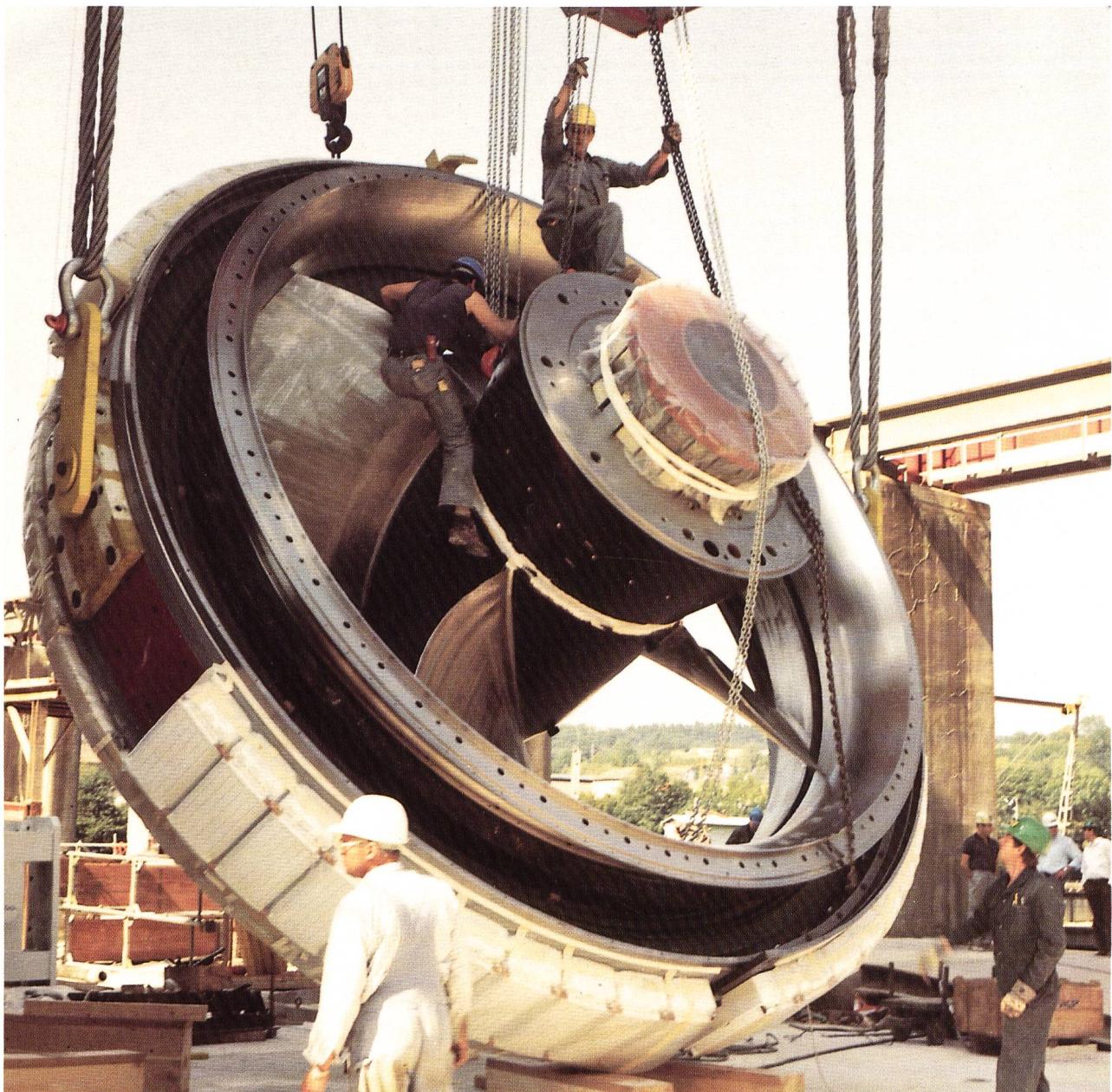


Bild 6-7. Das Laufrad der neuen Maschine 1 wird für den Einbau vorbereitet.

schäfte verlängert werden. Um die Bauzeit nicht wesentlich zu verlängern, wurden die Rohbauarbeiten in den Obergeschossen parallel zu den Arbeiten in den Untergeschossen durchgeführt, was sicherheitstechnisch schwierige Anforderungen stellte.

Die Obergeschosse des Turms wurden von oben nach unten bis auf die Außenmauern komplett ausgehöhlt. Die neuen Decken und Wände wurden von unten nach oben eingezogen.

Es zeigte sich, dass die Schwingungen im Saugrohr – verursacht durch den Betrieb der neuen Maschinengruppen – im Maschinenhaus und im Turm schall- und vibrationsmäßig spürbar wahrzunehmen waren. Die Böden der Bürogeschosse wurden deshalb schwimmend auf Elastomeren gelagert. Mit weiteren schallabsorbierenden Massnahmen für Wände und Decken konnten die störenden Schwingungen und Schallpegel genügend gedämpft werden.

#### Innenausbau

Die Innenausbauarbeiten haben unmittelbar nach der Rohbaufertigstellung der ersten Maschinengruppe sowohl im Krafthaus als auch im Maschinenhaus begonnen. Da der Ausbau eine Voraussetzung für den Beginn der Montage- und Installationsarbeiten war, musste er ebenfalls dem Rohbau folgend im 4-Monate-Takt ausgeführt werden. Dies hatte zur Folge, dass sowohl Rohbau- als auch Innenausbauarbeiten nebeneinander ablaufen mussten, was nicht immer konfliktfrei möglich war. Der Innenausbau musste terminbedingt raumweise in einer Vielzahl von Etappen erfolgen; dies führte auch für die Unternehmen zu einer ungewohnt langen Baustellenpräsenz.

Die Räume, die nicht unbedingt für die Montage benötigt wurden, und solche, wie zum Beispiel die Sozialräume, die einen höheren Ausbaustandard aufwiesen, wurden erst nach der Fertigstellung der Hauptarbeiten ausgebaut.



Bild 6-8. Ein Leitapparat wird angeliefert.

#### Maschinenmontage

Die neuen Straflo-Maschinengruppen wurden in grossen, weitgehend vormontierten Komponenten auf die Baustelle geliefert. Dadurch konnte die Dauer der Ortsmontagen sehr kurz gehalten werden. Die Maschinenkomponenten wurden mit dem 100-Tonnen-Kran durch die Montageöffnungen in die Gruppenschächte transportiert. In einer ersten Phase wurden die Ober- und Unterwassermauerringe ausserhalb der Baugrube an eine Lehre angebaut und als gesamtes in die Maschinengrube abgesenkt und ausgerichtet. Anschliessend wurden die Mauerringe einbetoniert, der restliche Rohbau des Gruppenschachtes fertiggestellt und die Lehre wieder entfernt. Durch diese Vormontage und den gleichzeitigen Einbau beider Mauerringe im Erstbeton konnten die Toleranzen der Positionierung der Mauerringe klein gehalten werden. Es wurde dadurch viel Zeit eingespart.

Die Hauptmontage der Maschinengruppen begann rund 4½ Monate nach Beginn der Rohbauarbeiten mit dem Einbau des Leitapparates (Bild 6-8) und des Servomotors. Danach wurde das Laufrad – ebenfalls komplett inklusive Lager und Aussenkranz – eingebaut und mit vorgespannten Schrauben durch die Leitapparat- und Mauerringnabe im Mittelpfeiler verankert (Bild 6-7). Es folgte das Aufsetzen der Rotorpole auf den Aussenkranzring. Der Stator wurde einteilig angeliefert und unterwasserseitig des Laufrads auf die seitlichen Längskonsolen im Gruppenschacht abgesenkt. Auf den Konsolen wurde er in Richtung Oberwasser bis in die Laufradebene verschoben, ausgerichtet und fixiert. Abschliessend wurden der unterwasserseitige Laufradmantel und der Saugrohranschluss (Verbindung zwischen Laufradmantel und Unterwassermauerring) eingebaut, die Nabendichten und Aussenkranzdichtungen sowie die Verschalungen und die Leckwasserableitungskanäle montiert und die Verrohrung und Verkabelung fertiggestellt.

Ebenso wurden die elektrischen Einrichtungen, wie die Generatoren-Schaltanlage, die Erregungseinrichtung und die örtliche Maschinensteuerung, in fertig zusammenge-

bauten Teilen geliefert und vor Ort untereinander verkabelt.

Ein spezielles Transportproblem ergab sich jeweils beim Einbau der fünf Maschinentransformatoren. Sie sind im Maschinenhaus in Zellen im zweiten Untergeschoss bei den «geraden» Maschinengruppen 2, 4, 6, 8 und 10 untergebracht. Wegen des gleichzeitigen Ausbaus des Maschinenhauses war der Antransport nur durch die Montageöffnungen des Krafthaus möglich. Die ölfüllten Transformatoren wurden mit dem 100-Tonnen-Kran im Gruppenschacht auf eine Stahlhilfsbrücke aufgesetzt und horizontal in die Zellen geschoben. Da die Transformatoren bereits für die Inbetriebnahme der vorangehenden «ungeraden» Maschinengruppen fertig installiert zur Verfügung standen mussten, kam dem Einhalten der Rohbau-Zwischentermine sowie einer kurzen Montagezeit höchste Bedeutung zu.

Wie schon bei den Innenausbauarbeiten ergaben sich auch bei der Montage infolge der gleichzeitig laufenden Rohbauarbeiten Probleme. Insbesondere bereitete der starke Staubanfall sowohl für den Betrieb der alten Maschinen als auch für die Montage und den Betrieb der neuen Maschinen mit ihren elektronischen Komponenten erhebliche Mühe. Die störenden Einwirkungen wurden mit Hilfe von Staubschutzwänden minimiert.

#### Schlussbemerkungen

In Laufenburg wurde erstmals ein Flusskraftwerk im grossen Stil umgebaut. Erfahrungen, von denen gelehrt werden konnte, waren kaum vorhanden. Es darf deshalb als grosser Erfolg gewertet werden, dass – trotz zweier grosser Rückschläge, nämlich eines tödlichen Unfalls mit einem Staplerfahrzeug und des Einsturzes der Baugrube des gemeinsamen Pfeilers – acht von zehn Maschinengruppen termingerecht oder mit Vorsprung in Betrieb genommen werden konnten.

Allen am Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg beteiligten Unternehmungen gebührt für ihre Leistungen höchste Anerkennung.

## 6.2 Straflo-Maschinengruppen

Wesentliches Merkmal des Straflo-Konzepts ist die kompakte Bauweise der aus einer Axialturbine mit dem konzentrisch ausserhalb des Strömungskanals angeordneten Generator bestehenden Maschinengruppe. «Straflo» als registrierter Markenname steht dabei für Straight-Flow = gerader Durchfluss.

Beim Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg wurden Straflo-Turbinen von Sulzer-Escher Wyss, Nennleistung 11 MW, mit Aussenkranz-Generatoren entsprechender Leistung der Firma ABB verwendet (Bild 6-9).

Die besondere Bauform der Maschinengruppen und die beschränkten Raumverhältnisse in den Maschinengruben verlangten eine sorgfältige Vorbereitung der Montagevorgänge und eine enge Zusammenarbeit zwischen Turbinen- und Generatorhersteller.

### 6.2.1 Die Turbine

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,
- leichte Zugänglichkeit zum Generator,
- keine Baubeschränkungen beim Generator,

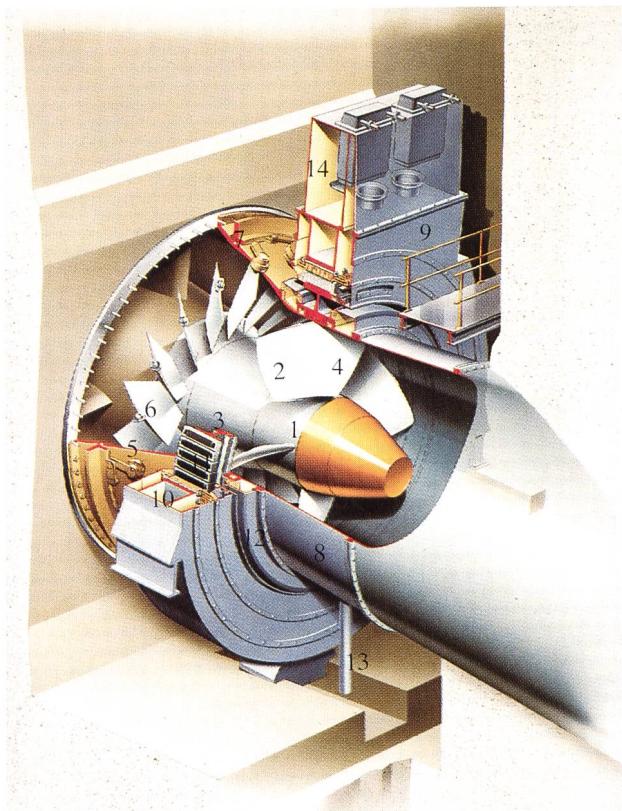


Bild 6-9. Die kompakte Bauweise ist das auffälligste Merkmal der Straflo-Konzeption. Sie wird durch die Kombination von Turbine und Generator zu einer Maschine erreicht.

Zum Turbinenteil gehören:

1 Propellernase, 2 Schaufel, 3 Rotorkranz, 4 Laufradmantel, 5 Leitapparat, 6 Leitschaufeln, 7 Regulierring, 8 Saugrohr, 12 Wasserkollektor der Kranzdichtung, 13 Dichtungswasser-Abfluss.

Zum Generatorteil gehören:

9 Generator, 10 Generatorstator, 11 Generatorfeldpol, 14 Kühler.

- hohes Rotorträgheitsmoment, ohne die Effizienz des Generatorkühlsystems zu beeinträchtigen,
- geeignet zur Modernisierung bzw. Leistungssteigerung von Flusskraftwerken.

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 ausschlaggebenden 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.

Die Grösse der für das Rheinkraftwerk Laufenburg konzipierten Maschine erlaubt die Ausführung des Bulbs (Nase) als Betonkonstruktion. Ebenso wird die der seitlichen Abstützung dienende Querrippe in die Betonkonstruktion mit einbezogen. 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.

Da rein analytische Methoden der Strömungssimulation noch nicht die geforderte Genauigkeit erreicht haben, ist es bei den führenden Turbinenherstellern allgemeine Praxis, das gesamte Betriebsverhalten anhand von Modellversuchen zu untersuchen. Für das Kraftwerk Laufenburg wurden im Hydrauliklabor von Sulzer-Escher Wyss 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 Nabendurchmessern-Verhältnissen und Laufschaufelwinkeln gemessen (Bild 6-11).

Modifikationen am Saugrohr ermöglichen 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 (Bild 6-12). Die zusätzlichen hydraulischen Verbesserungen, die an diesem Modell erreicht wurden, tragen mit dazu bei, dass die jährliche Energieproduktion von ursprünglich 490 GWh auf etwa 630 GWh gesteigert werden konnte.

Die Konstruktionsdaten sind in Tabelle 6-10 zusammengefasst.

Tabelle 6-10. Konstruktionsdaten der Straflo-Turbinen.

Bruttofallhöhe minimal	4,74 m
Bruttofallhöhe maximal	10,12 m
Durchflussmenge maximal pro Turbine	137,0 m <sup>3</sup> /s
Turbinen-Nennleistung	11,0 MW
Nenndrehzahl	107,14 U/min
Gesamtleistung des Kraftwerkes bei optimalen hydraulischen Verhältnissen	106,0 MW
Mittlere jährliche Energieproduktion ab Transformatorklemmen	630,0 GWh
Turbinenbauart:	
Laufrad	unreguliert
Leitrad	reguliert
Neigung der Turbinenachse	6,5°
Laufraddurchmesser	4,25 m
Anzahl der Laufradschaufeln	4
Anzahl der Leitschaufeln	18

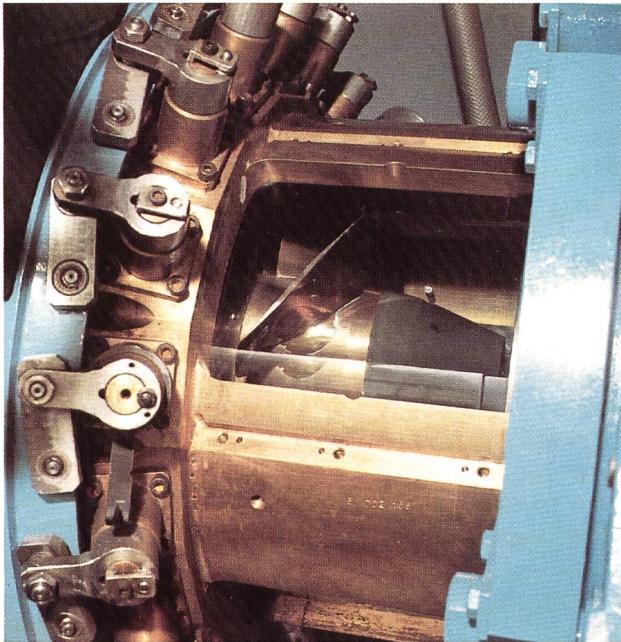


Bild 6-11. Modell zur Optimierung des Laufrades.

#### Rotor

Das aus Nabe, Laufradschaufeln und Laufradkranz bestehende Laufrad 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 Generator-Schleifringe sowie der Bremsvorrichtung wird der Aussenkranz entsprechend ausgebildet. Für Montage- sowie allfällige Reparaturarbeiten an den Statorwicklungen lässt sich der Generatorstator in Achsrichtung verschieben.

#### Lagerung

Die Lagerung der Maschinengruppe ist innerhalb der Laufradnabe angeordnet und besteht aus zwei Radiallagern und einem beidseitig wirkenden Axiallager. Der als Hohlzy-

linder 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 neun Zuganker direkt mit dem Bauwerk verbunden.

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 der konventioneller Rohrturbinen. Jede zweite Leitschaufel ist mit einem Sicherheitshebel ausgerüstet, der eine Auslenkung der Leitschaufeln 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. Sämtliche Leitschaufeln, Hebel und Lenker sind wartungsfrei gelagert. Dadurch wird die Verschmutzungsgefahr für das Betriebswasser 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 geschlossen werden.

#### Dichtungen

Der Aussenkranz der Turbine ist mit Lippendichtungen ausgerüstet. Für eine 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 aus einer abriebfesten Gummimischung hergestellte Dichtungsprofil als Verschleissteil zu betrachten.

Die Lebensdauer der Lippendichtung hängt von der Verschmutzung des Wassers ab. Die Konstruktion erlaubt eine einfache Auswechslung dieser Dichtung. Als Gleitfläche dient ein Gleitring, bestückt mit abriebfesten Keramikplatten. Während des Stillstands 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 zur Montage des oberwasser- sowie des unterwasserseitigen Mauerrings lassen sich diese gleichzeitig im Erstbeton versetzen (Bild 6-13).

Die Genauigkeit der Ausrichtung der beiden Teile zueinander erreicht dadurch optimale Werte. Diese Massnahme beschleunigt sowohl das Bauprogramm als auch die weitere Montage der Straflo-Maschinengruppen beträchtlich, da sich das Einbringen von Zweitbeton während der eigentlichen Maschinenmontage erübrigert. Gleichzeitig reduziert sich dadurch auch die Gefahr von Beschädigungen empfindlicher Maschinenteile durch Verschmutzung.

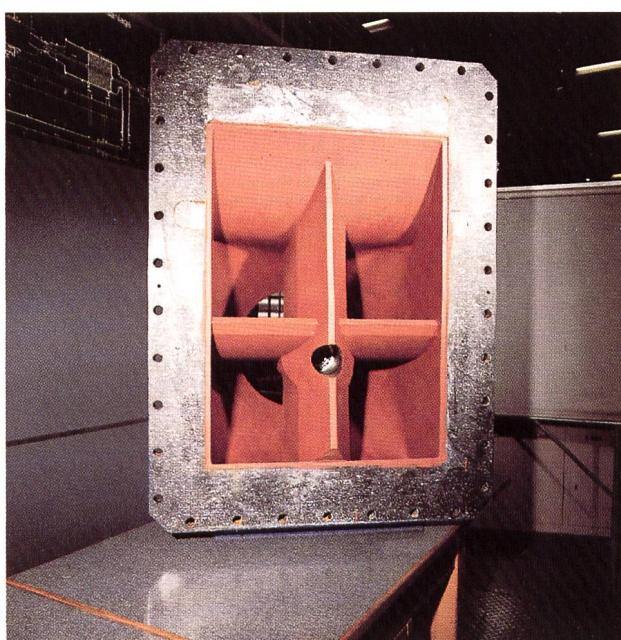


Bild 6-12. Turbineneinlaufmodell.

### Regler

Die Drehzahlregelung besorgt ein elektronischer Regler. Verschiedene Zusatzfunktionen runden seinen Einsatzbereich ab, unter anderem zur Reduktion von Sunk und Schwall bei Abschaltung von Maschinen. Die Steuerfunktionen sind fernbedienbar. Eine lokale Steuerung an den Maschinengruppen selbst ist nicht vorgesehen.

### Ortsmontage

Die in der Verantwortung von Sulzer-Escher Wyss durchgeführte Ortsmontage war aufgrund der Anlieferung bereits vormontierter Baukomponenten relativ kurz. Die Teile wurden im 4-Monate-Rhythmus in folgender Reihenfolge angeliefert und eingebaut:

- Komplett zusammengebauter Leitapparat mit innerem und äusserem Gehäuse, Leitschaufeln, Lagern, Hebel, Lenker und Regulierring

- Rotor, bestehend aus Laufrad, Welle, Aussenkranz, Lagerträger mit fertig eingebauten Radial- und Axiallagern
- Generatorstator einschliesslich Kühleinrichtung und Ventilatoren
- Laufradmantel, Dichtungen und Saugrohranschluss
- Lagerölvorsorgung, Druckluftversorgung
- Hydraulischer Regler.

### 6.2.2 Der Generator

Bedingt durch das Straflo-Konzept, bei dem der Aussenkranz des innen axial durchströmten Turbinenlaufrades als Polradkranz des ABB-Generators benutzt wird, ergibt sich eine Maschine mit grossem Durchmesser – in Laufenburg nahezu 8,5 m – und verhältnismässig kurzer Eisenlänge des Statorblechkörpers.

Die genannten Eigenschaften dieser Maschinenart bieten in mehrfacher Hinsicht Vorteile. Zum einen wird das Schwungmoment gegenüber einem vergleichbaren Rohr-

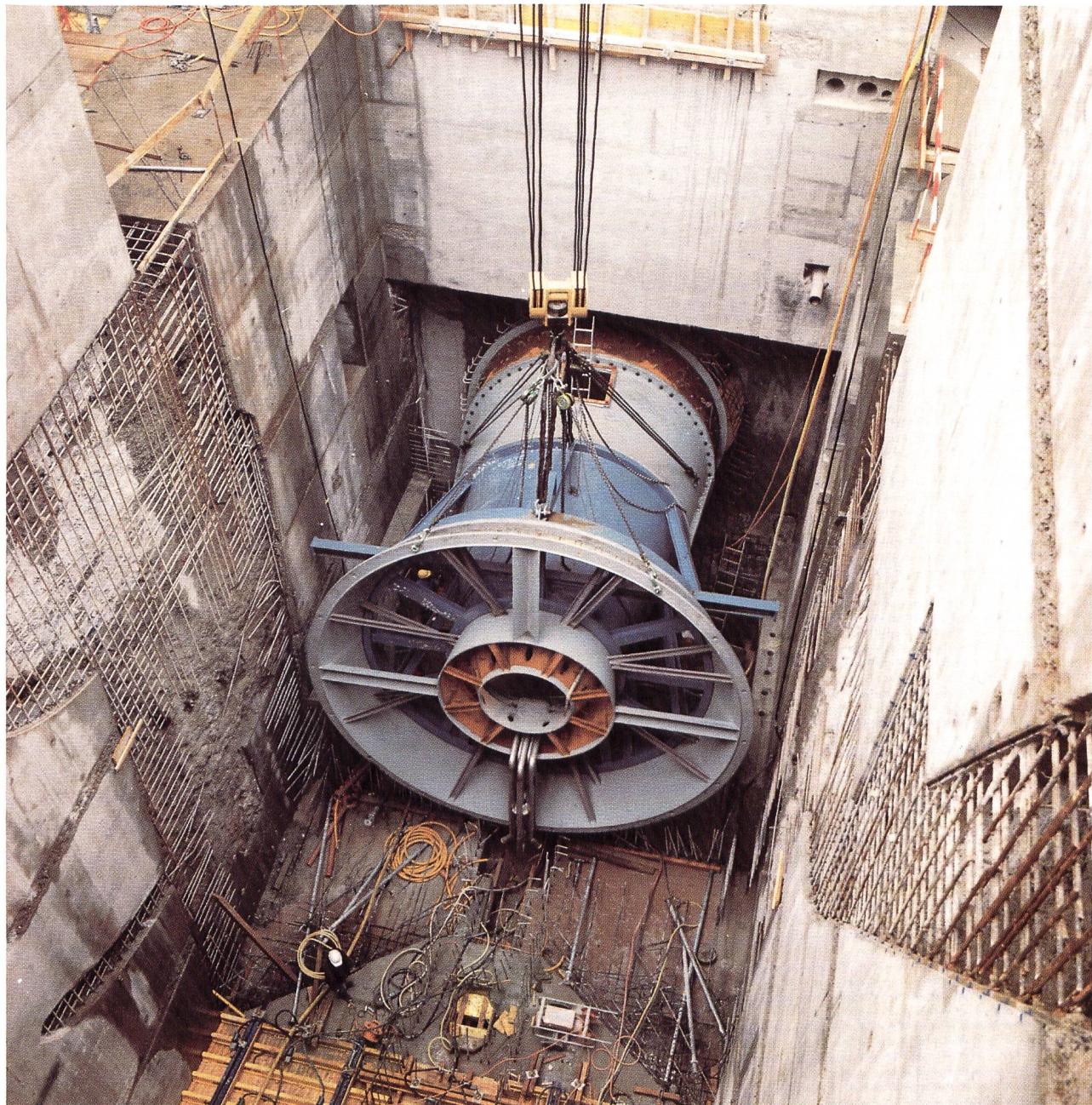


Bild 6-13. Montagelehre für das Versetzen und Einbetonieren der Mauerringe.

turbinen-Generator wesentlich höher, was für die Turbinenregulierung günstig ist. Ferner ist die Kühlung des kurzen Statorblechkörpers auch ohne radiale Kühlslitze ermöglicht.

Der grosse Durchmesser des Polradkranzes (Polbasisdurchmesser) 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. Die Struktursteifigkeit wurde mit Hilfe der Finit-Element-Analyse optimiert. Ferner wurde der Bedingung Rechnung getragen, dass die im Betrieb entstehenden Kräfte möglichst in reduzierter Form und optimal in das Fundament eingeleitet werden.

Die sich aus der besonderen Bauform des Straflo-Maschinensatzes und den beengten Platzverhältnissen ergebenen Montageprobleme erforderten spezielle Hilfsmittel, die in Koordination mit Sulzer-Escher Wyss entwickelt wurden.

Aus diesem Themenkreis sind folgende Aufgabenstellungen stellvertretend erwähnt:

- Befestigung und Montage der grossen Schleifringe am Aussenkranz
- Bereitstellung des Turbinen-Laufrades für Montage der Generatorpole in der Maschinengrube
- Einfahren des Generator-Ständers in die Maschinengrube und axiale Verschiebung über den Rotor
- Montage des Unterwasser-Saugrohranschlusses und der Generatorverschalungen.

Dank sorgfältiger Vorausplanung und grossartigem Einsatz aller Beteiligten konnten alle Arbeiten termingerecht erledigt werden (Bild 6-14).

Nachstehend sind die konstruktiven Merkmale des Generators mit den Hauptdaten gemäss Tabelle 6-15 beschrieben.

#### Stator

Das Statorgehäuse ist aus Gründen einer maximalen Steifigkeit einteilig ausgeführt. Der Blechkörper besteht aus hochlegierten Dynamoblechsegmenten ohne radiale Kühlslitze und ist durchgehend überlappt geschichtet. Für die nötige Pressung des Blechpaketes dienen massive Stahlpressplatten und Spannbolzen. Der Blechkörper ist im

Tabelle 6-15. Hauptdaten der Generatoren.

Nennleistung	12 000 kVA
Nennleistungsfaktor	0,9 (übererregt)
Maximale Leistung (DD)	13 800 kVA
Nennspannung, verkettet	10 500 V
Regulierbereich	± 5 %
Nennstrom	660 A
Nennfrequenz	50 Hz
Nenndrehzahl	107,14 U/min
Durchbrenndrehzahl (während max. 30 min)	230 U/min

Statorgehäuse mit einer bewährten ABB-Spezialkonstruktion befestigt.

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 zur 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 die freie Ausdehnung des Stators erlaubt.

Die Statorwicklung ist als Zweischicht-Spulenwicklung ausgeführt und mit einer Kunstharzisolation ABB-Typ Micadur der Isolierstoffklasse F versehen. Der Wickelkopf ist mittels kunstharzgetränkten und ausgehärteten Glasfaserkordeln kurzschlüssicher abgestützt.

#### Rotor

Der Aussenkranz der Straflo-Turbine bildet gleichzeitig den Polradring des Generators. Seine Dicke ergibt sich gemäss den Forderungen des magnetischen Flusses und den Materialbeanspruchungen, hervorgerufen durch Zentrifugalkraft der angebauten Pole. Die Generatorpole werden von der Innenseite des Polradkranzes her direkt auf den Aussenkranz mittels hydraulisch vorgespannten Dehnschrauben festgeschraubt (Bild 6-16).

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.

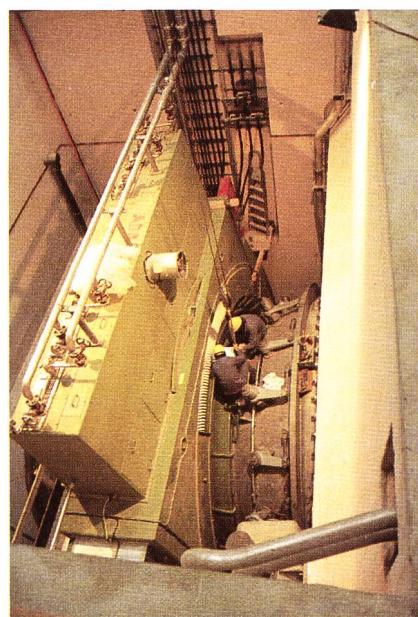


Bild 6-14. Letzte Montagearbeiten an Generator 1 und der Probebetrieb von «Andrea» kann beginnen.



Bild 6-16. Rotor des Generators 2 mit den auf dem Aussenkranz befestigten Generatorpolen.

### Schleifringe

Der Erregerstrom wird über zwei einteilige Schleifringe aus Sonderbronze, die unterwasserseitig am Außenkranz befestigt sind, zugeführt. Durch diese Anordnung ergeben sich für die Schleifringe grosse Durchmesser und damit hohe Umfangsgeschwindigkeiten von bis zu 112 km/h.

Die Schleifringe 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. Diese ermöglichen eine freie Dehnung der Ringe und gewährleisten, dass die Dehnung symmetrisch erfolgt.

Für die Übertragung des Erregerstromes werden 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 beim Betrieb entstehende Kohlestaub wird mittels einer Absaugeinrichtung aus dem Schleifringraum kontinuierlich abgesaugt und durch Filter ausgeschieden.

### Kühlung

Der Generator ist vollständig geschlossen und mit Umluft-Kühlung versehen. Die Kühlung wird mit mehreren, am oberen Teil des Statorgehäuses montierten Motor-Ventilatoren umgewälzt. Die Kaltluft wird zuerst dem oberwasserseitigen Wickelkopfraum zugeführt, durchströmt die Maschine in axialer Richtung, wird dann im unterwasserseitigen Wickelkopfraum (Warmluftraum) gesammelt und den Luft-Wasser-Kühlern zugeleitet. Die gleichmässige Verteilung der Kühlung am ganzen Umfang des Stators besorgt ein Regelblendensystem.

Die umgewälzte Kühlung wird in mehreren Luft-Wasser-Wärmetauschern, zusammengefasst am oberen Teil des Stators unter einer Kühlerhaube, 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-Innenraum wird der Generator-Innenraum unter leichtem Überdruck gehalten.

### Erregungseinrichtung

Die statische Erregungseinrichtung wird über einen Dreiphasen-Stromrichtertransformator (Giessharz-Trockentransformator) direkt von den Generatorklemmen angepeist (Nebenschlusschaltung). Es wird das vielfach eingesetzte und bewährte vollstatische ABB-Erregungssystem mit Unitrol-Spannungsregler angewendet.

Die Stromrichtereinheit besteht aus zwei unabhängigen Stromrichterbrücken. Aus Redundanzgründen sind die beiden Stromrichter parallel geschaltet, wobei einer jeweils als stehende Redundanz zur Verfügung steht. Im Interesse der erhöhten Betriebssicherheit sind dem zweikanaligen Spannungsregler je ein Begrenzungsregler für den Rotor- und Statorstrom und für den Polradwinkel zugeordnet.

## 6.3 Abschlussorgane

### Oberwasserabschlüsse

Im alten Kraftwerk bestanden bei den Turbineneinläufen zwei Abschlussmöglichkeiten, nämlich die Einlaufschütze und vorgelagert der Gleitdammbalken.



Bild 6-17. Anstelle von Einlaufschützen und Gleitdammbalken dienen jetzt Rolldammtafeln als oberwasserseitige Abschlüsse der Turbineneinläufe.

Da die neuen Straflo-Turbinen über einen regulierbaren Leitapparat verfügen und vollständig geschlossen werden können, genügen für den zukünftigen Betrieb der Maschinen drei neue Rolldammtafeln, die mit dem Montagekran in die einzelnen Turbineneinläufe abgesenkt werden können (Bild 6-17).

Die einteiligen Rolldammtafeln weisen eine Breite von 8,80 m und eine Höhe von 10,00 m auf. Sie sind auf einen Wasserdurchfluss von 9,8 m W. S. ausgelegt.

Die neuen Armaturen wurden in die bestehenden Nischen eingebaut. Die Dammtafeln werden zwischen den Kranpfeilern gelagert.

### Unterwasserabschlüsse

Da die alten Francisturbinen über dem Unterwasserspiegel angeordnet waren, wurden die Unterwasserdammtafeln nur sehr selten gebraucht, zudem war ihre Dichtigkeit ungenügend. Für die neuen Straflo-Maschinen müssen diese Abschlüsse im Unterwasser bei jeder Maschinenrevision eingesetzt werden, so dass ein Ersatz der Dammtafeln und der zugehörigen Führungsnuhnen unumgänglich war. Für jedes Saugrohr, das durch einen Mittelpfeiler in zwei Ausströmungen unterteilt ist, waren zwei 4,4 m breite und 6,5 m hohe Dammtafeln erforderlich. Die Tafeln werden mittels einer Transportvorrichtung, bestehend aus zwei gekoppelten, kurvengängigen Elektrozügen und einem Zangenbalken, unter Wasser gesetzt und gezogen (Bild 6-18). Für die Dammtafeln wurde am linken Ufer ein Depot erstellt.



Bild 6-18. Die Tafeln für den unterwasserseitigen Saugrohrverchluss werden mit Hilfe eines Umsetzkrans gesetzt und gezogen.

## 6.4 Die Energieableitung

### Konzept

Bei der Entwicklung des neuen Energieableitungssystems und der Evaluation der Komponententechnik stand die Forderung nach höchster Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit sowie nach grösstmöglicher Verfügbarkeit und Flexibilität im Vordergrund. Besonderer Wert wurde auch auf eine die Übertragungsverluste minimierende, also energiesparende Lösung gelegt.

Das Konzept der Ableitung ist dadurch gekennzeichnet, dass die von je zwei Maschinengruppen erzeugte elektrische Energie einem gemeinsamen 10,5/110-kV-Dreiwicklungs-Transformer zugeleitet wird. Über eine nachgeschaltete, in einem Stollen verlegte 110-kV-Kabelverbindung wird die Energie in eine neue Schaltanlage im Kai-sterfeld geleitet.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der gewählten Konzeption der Energieableitung, deren schematischen Aufbau Bild 6-20 zeigt, ist die redundante Ausführung aller wichtigen Komponenten.

### Anlagen im Rheinkraftwerk

Die in den Generatoren umgewandelte Energie wird mit einer Nennspannung von 10,5 kV über Polyäthylenkabel dem Generatorschalter zugeleitet. Die jedem Generator zugeordneten Mittelspannungsfelder enthalten außer dem Strom- und Spannungswandler, Betriebserder, Überspannungsableiter und Schutzkondensatoren sowie den Speisetransformator für den statischen Erreger. Ab den Mittelspannungsfeldern wird die Energie wiederum mittels Kabeln den ebenfalls im Kraftwerk aufgestellten Maschinentransformatoren zugeleitet.

Tabelle 6-19. Technische Daten der Maschinentransformatoren.

- Nennleistung	25 / 12,5 / 12,5 MVA
- Übersetzung	117,15 $\pm$ 2 x 2,5% / 10,5 / 10,5 kV
- Kühlart mit zwei Kühlern	OFWF; 2 x 100%
- Schaltgruppe	YN / d5 / d5

Die von je zwei Generatoren eingespeisten fünf Dreiwicklungs-Maschinentransformatoren transformieren die Spannung von 10,5 auf 110 kV (Tabelle 6-19). In den Transformatorenzellen befinden sich ferner die 110-kV-Überspannungsableiter und -Endverschlüsse sowie die Betriebserder.

Die Transformatoren sind ölisoliert und ölgekühlt. Das Öl wird forciert umgewälzt und über zwei Öl-/Wasser-Wärmetauscher rückgekühlt. Diese sind als Doppelrohrkühler ausgeführt, so dass weder Öl ins Wasser noch Wasser ins Öl gelangen kann. Die Transformatorenzellen sind mit Ölauffangwannen versehen. Pro Transformator ist eine CO<sub>2</sub>-Brandschutzanlage installiert.

### Kabelstollen

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten sowie der betrieblichen Bedürfnisse wurde ein neuer begehbarer Stollen zwischen dem Kraftwerk und der neuen Schaltanlage auf dem Kai-sterfeld, das sich in unmittelbarer Nähe des Verbundknotenpunktes Laufenburg befindet, notwendig. Da zwischen dem Kraftwerk und der Schaltanlage eine Eisenbahnlinie und die stark befahrene Rheintalstrasse sowie Kanalisations-, Wasser- und Kabelleitungen verlaufen, kam für den Stollen eine offene Bauweise nicht in Frage. Als weiteres Hindernis für den Bau des Kabelstollens erwies sich eine Fussgängerüberführung (Bild 6-21).

Die Ergebnisse der geologischen Studien zeigten, dass für den Stollenbau ein Pressvortrieb möglich ist. Das zu durchstossende Material bestand zu

- 65 % aus Kies, Rollkies und Sand
- 22 % aus Nagelfluh
- 13 % aus lehmhaltigem Material.

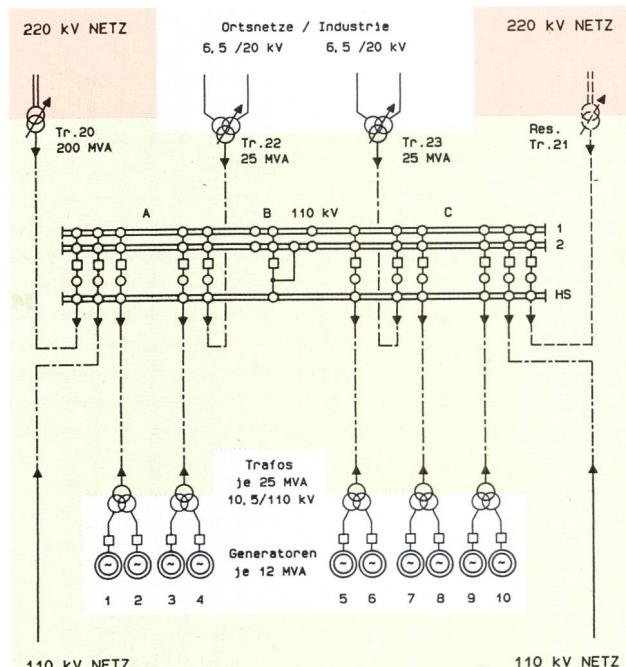


Bild 6-20 Schematischer Aufbau der neuen Energieableitung.

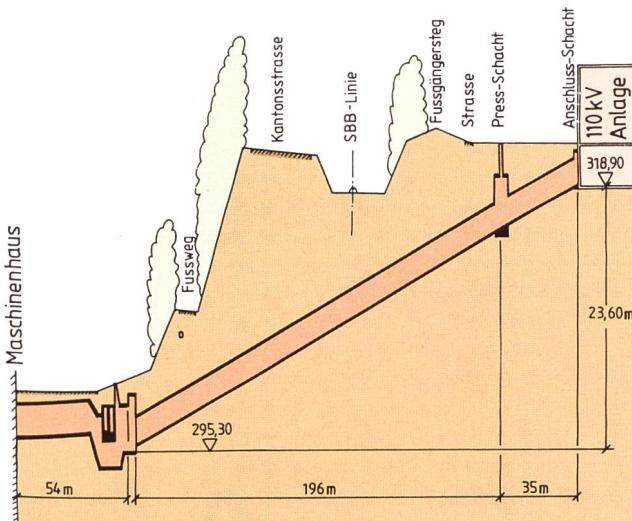


Bild 6-21. Längenprofil des Kabelstollens für die Energieableitung.

Anhand von Optimierungsstudien zur Dimensionierung des Stollens wurde ein kreisrunder Querschnitt mit einer lichten Weite von 2,5 m gewählt. Die Länge der vorfabrizierten Stahlbeton-Pressrohre mit einem Aussendurchmesser von 3,0 m wurde aus Transport- und Handhabungsgründen mit 2,5 m festgelegt. Die Stahlarmierung der Rohre wurde durchverbunden und in das Erdungssystem des Kraftwerks und der Schaltanlage einbezogen. Im Interesse der Personensicherheit wurde ferner der Laufsteg im Stollen aus vorgefertigten, glasfaserverstärkten Polyesterharz-Elementen hergestellt (Bild 6-24). Der Schottung und dem mechanischen Schutz der fünf Kabelstränge dient ein Wellrohr ausrostfreiem Stahl.

Die Bauzeit für den 205 m langen Kabelstollen betrug 110 Tage; die Arbeiten wurden im Laufe des Jahres 1988 ausgeführt.

#### 110-kV-Schaltanlage

Die in Bild 6-20 schematisch dargestellte 12feldrige Innenraum-Schaltanlage in SF<sub>6</sub>-Technik wurde aus standardisierten Elementen errichtet, die alle benötigten Funktionen erfüllen. Die durchdachte Elementbauweise ermöglichte eine kompakte Lösung und eine hohe Flexibilität des Anlagenkonzepts.

SF<sub>6</sub>-Gas-isolierte Schaltanlagen beanspruchen nur einen Bruchteil des Raums konventioneller Anlagen. Die stromführenden Teile der Komponenten, wie Leistungsschalter, Trennschalter, Erdungsschalter, Messwandler und Kabelendverschlüsse, sind mit dem Isoliergas Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) gefüllt. Aufgrund ihrer durchgehenden Aluminiumkapselung ist die SF<sub>6</sub>-Schaltanlage berührungssicher (Bild 6-25).

Die auf Stützgerüsten gelagerten Anlagenelemente wurden mit schraubbaren Flanschverbindungen und steckbaren Kontakten zusammengefügt, so dass ein späterer Aus- und Einbau einzelner Teile auf einfache Weise möglich ist. Die Anlage ist mit gasdichten Feststoffisolatoren in geschottete Gasräume unterteilt. Der Ausgleich von temperaturbedingten Längsausdehnungen der Hauptstrombahnen erfolgt über Gleitkontakte (Tabelle 6-22).

Ab den 110-kV-Sammelschienen der Schaltanlage wird die Energie einerseits in das deutsche 110-kV-Netz des Kraftwerks Laufenburg und über entsprechende Versorgungstransformatoren, Schaltgruppe Yn/Yno/Yno, sowie die nachstehend beschriebenen Mittelspannungs-Schaltanlagen in die örtlichen Versorgungsnetze eingespeist.

Tabelle 6-22. Technische Daten der 110-kV-Schaltanlage.

Nennspannung	110 kV
Isolationsniveau	
– Stoßhaltespannung 1,2/50 µs Vollwelle	550 kV
– 50-Hz-Haltespannung, 1 Minute	230 kV
Nennfrequenz	50 Hz
Nennstrom	
– Sammelschienen	2500 A
– Abgangsfelder	2000 A
– Kuppelfeld	2500 A
Nennkurzzeitstrom (1 s)	31,5 kA
Nennstossstrom (asymmetrisch)	80 kA
Kapselung	einphasig

Tabelle 6-23. Technische Daten der 6,5-/20-kV-Schaltanlage.

Nennspannung	12/20 kV
Isolationsniveau	
– Stoßhaltespannung (1,2/50 µs)	75/125 kV
– 50-Hz-Haltespannung	28/50 kV
Nennfrequenz	50 Hz
Nennströme	
– Sammelschiene	4000 A
– Abgangsfelder	1000 A
– Kuppelfelder	4000 A
Nennkurzzeitstrom (1 s)	20 kA

Als weiterer Ableitungsweg für den im Rheinkraftwerk erzeugten schweizerischen Energieanteil steht ein 110-/220-kV-Kuppeltransformator mit einer Leistung von 200 MVA mit Anbindung an das Verbundnetz zur Verfügung.

#### 6,5/20-kV-Schaltanlage

Zwei als Dreiwickler ausgelegte Versorgungstransformatoren mit einer Leistung von je 25 MVA speisen sowohl die 26feldrige 6,5-kV-Schaltanlage als auch die 20-kV-Anlage mit vier Schaltfeldern. Die 6,5-kV-Spannungsebene dient der Versorgung des örtlichen KWL-Mittelspannungsnetzes, während 20-kV-seitig ein benachbarter Industriebetrieb versorgt wird.

Die mit Doppelsammelschiene und Längstrennung konzipierte 6,5-kV-Schaltanlage wie auch die 20-kV-Felder wurden in stahlgekapselter, luftisolierter Technik aus standardisierten Bauelementen errichtet und im Untergeschoß des Gebäudes der 110-kV-Anlage aufgestellt. Die Leistungsschalter sind als ölärme Schaltgeräte ausgeführt. Für Strom- und Spannungswandler wurde Feststoffisolierung gewählt. Alle Abgangsfelder sind mit einschaltfesten Erdern bei den Kabelendverschlüssen ausgerüstet (Tabelle 6-23).

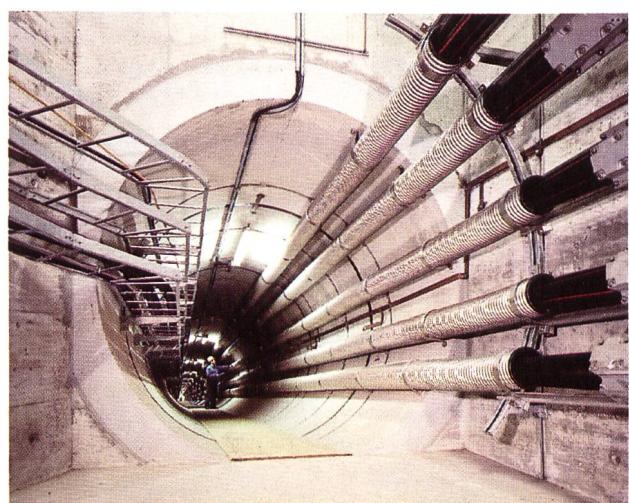


Bild 6-24. Die im Rheinkraftwerk erzeugte Energie wird über fünf 110-kV-Kabel (rechts im Bild) zur Schaltanlage im Kaisterfeld geleitet.

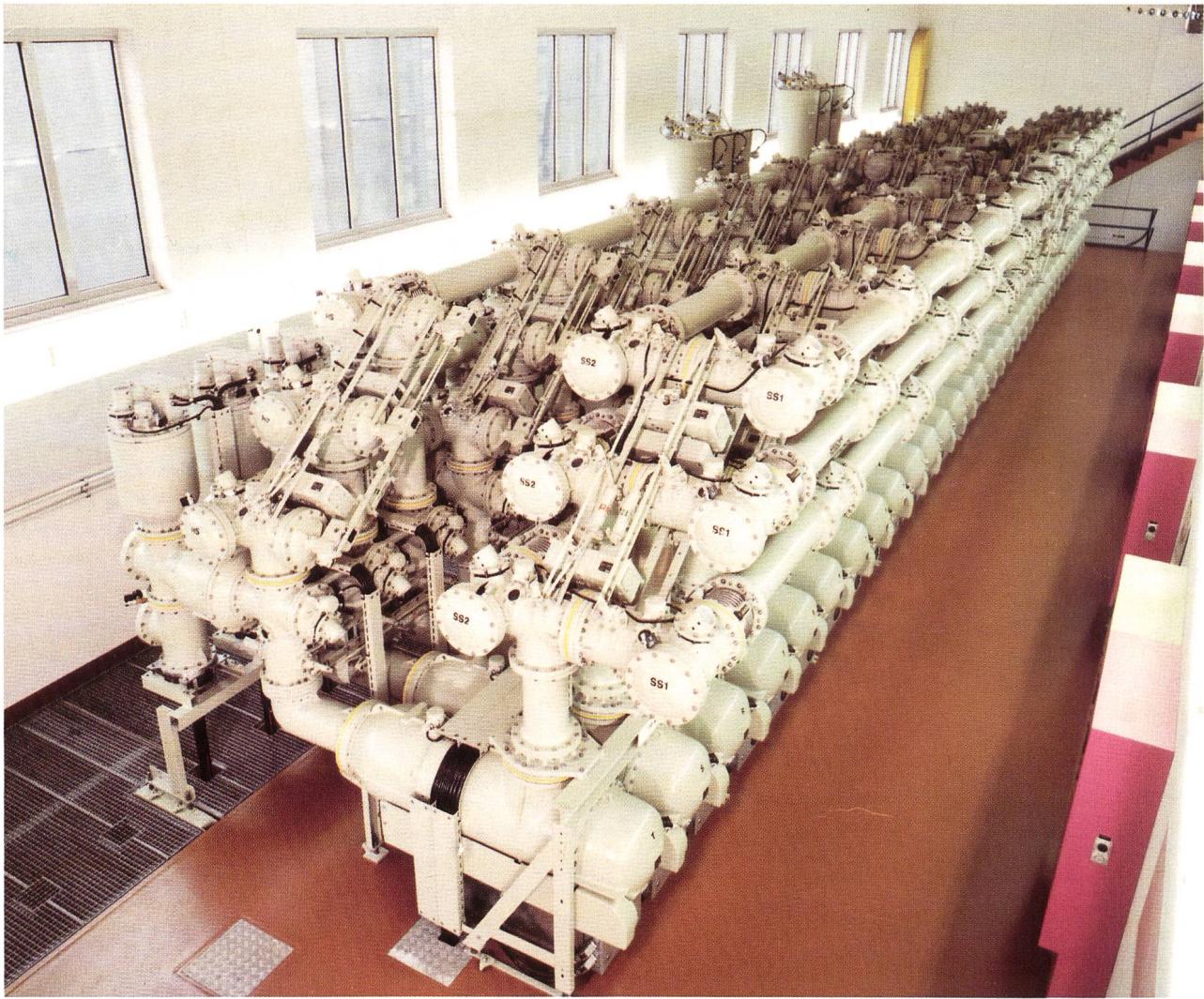


Bild 6-25. Verknüpfung der Energieableitung mit dem KWL-Netz in der SF<sub>6</sub>-Gas-isolierten 110-kV-Schaltanlage.

## 6.5 Leittechnik

### 6.5.1 Aufgabenstellung

Die Aufgaben der Leittechnik in einem Kraftwerk konzentrieren sich hauptsächlich auf das Steuern, Regeln und Überwachen der betriebenen Anlagen. Die damit zusammenhängenden Aktivitäten laufen im Rheinkraftwerk Laufenburg im sogenannten Kommandoraum zusammen.

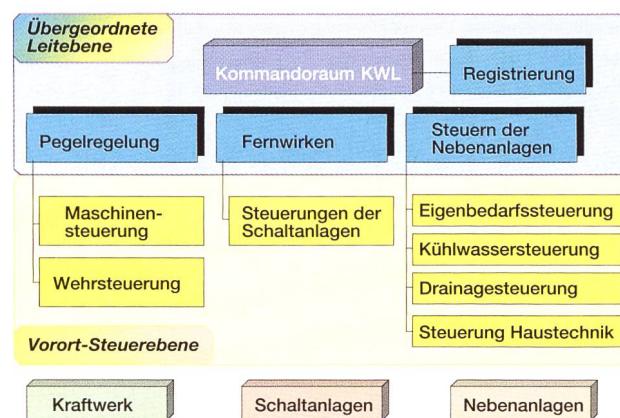


Bild 6-26. Hierarchie der leittechnischen Aufgaben im Rheinkraftwerk.

Die betriebenen Anlagen unterteilen sich in drei Hauptgruppen:

Die erste Hauptgruppe, das eigentliche Kraftwerk, besteht einerseits aus den zehn Maschinengruppen mit den fünf Maschinentransformatoren, andererseits aus dem Wehr mit den vier Wehröffnungen. Mit dem variablen Einsatz der beiden Elemente Turbinen und Wehr wird der Pegelstand des Wassers oberhalb des Kraftwerks auf einen möglichst konstanten Wert reguliert. Wird diese Aufgabe automatisiert, so spricht man vom Pegelregler oder auch Durchflussregler.

Die zweite Hauptgruppe der über die Leittechnik betriebenen Komponenten bilden die Schaltanlagen, die sich entsprechend der Energieableitung in drei Gruppen unterteilen. Die erste Gruppe bilden die gasisierte 110-kV-Schaltanlage und der Netzkuppeltransformator zur 220-kV-Spannungsebene. Die zweite Gruppe umfasst die 6,5/20-kV-Mittelspannungsanlage, die ebenfalls im Gebäude der 110-kV-Schaltanlage untergebracht ist. Zur dritten Gruppe gehört auf der deutschen Seite die 110-kV-Schaltanlage Breitematt, das Gegenstück zur Schweizer 110-kV-Schaltanlage, die durch eine Doppelleitung über den Rhein miteinander verbunden sind.

Die dritte leittechnisch relevante Hauptgruppe bilden die Nebenanlagen, welche die Infrastruktur für den Betrieb des Kraftwerks darstellen. Die wichtigsten Elemente sind hier die Eigenbedarfsversorgung, die Kühlwasserversorgung,

das Drainagesystem sowie die haustechnischen Einrichtungen, wie Heizung, Lüftung, Brandschutz.

Werden die anfallenden leittechnischen Arbeiten nach den obengenannten Anlagegruppen zusammengefasst, so ergeben sich folgende primäre Aufgabenstellungen (Bild 6-26):

- Pegelregelung im Kraftwerk
- Fernwirken für die Schaltanlagen
- Steuern der Nebenanlagen
- Registrieren (Protokollieren und Archivieren)

### 6.5.2 Betriebliche Randbedingungen

Für die leittechnische Realisierung obiger Aufgaben spielen die betrieblichen Randbedingungen eine fundamentale Rolle. Obwohl die Leittechnik im wesentlichen via Elektronik und Datenverarbeitung gelöst wird, ist es von entscheidender Bedeutung, wie der automatische Betrieb von Personen bedient, überwacht und im Störfall übernommen wird. In unserem Fall gelten folgende Grundsätze:

- Die Leittechnik wird vorerst von einem rund um die Uhr besetzten Arbeitsplatz im Kommandoraum bedient. Als Option für eine spätere Fernbedienung wurde ein zweiter Arbeitsplatz in die Lösung integriert, der bei Bedarf ausgelagert werden kann.
- Die leittechnische Bedienung der Anlagen soll grundsätzlich über Bildschirm und Tastatur, also ohne Blindsightsbilder, erfolgen. Um eine einheitliche Bedienung zu gewährleisten, sollen alle Tastaturen und die Blindsightsdarstellungen auf allen Bildschirmen möglichst gleich sein.
- Für die Bedienung der Anlagen via Leittechnik besteht eine Hierarchie. Im Normalfall soll die Bedienung von der übergeordneten Leitebene des Kommandoraumes erfolgen. Im Falle der Nichtverfügbarkeit der übergeordneten Ebene kann diese Aufgabe von der Vor-Ort-Steuerebene vorgenommen werden.
- Der Aufbau eines übergeordneten Leitsystems setzt die Anwendung eines durchgehenden Bezeichnungssystems voraus. In unserem Fall wird dazu das Kraftwerk-Kennzeichnungs-System (KKS) eingesetzt.

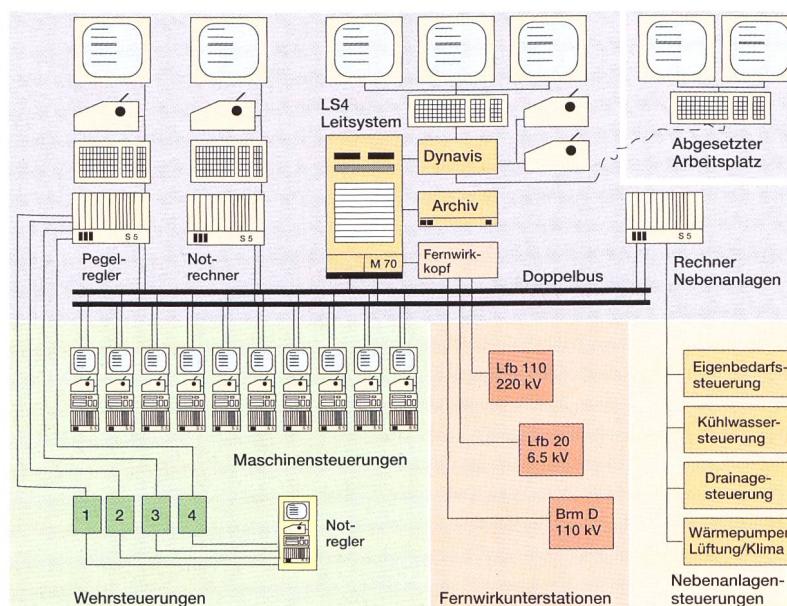


Bild 6-27. Übersicht über das neue leittechnische Konzept.

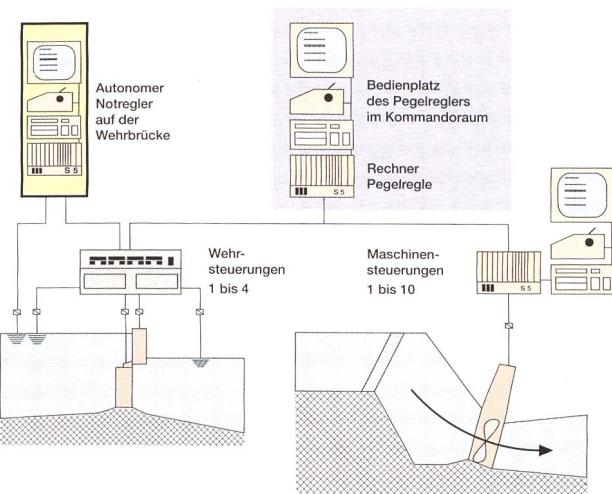


Bild 6-28. Da der Oberwasserspiegel konstant gehalten werden muss, ist eine exakte Pegelregelung sehr wichtig: Ein eigener Rechner und ein autonomer Notregler bestätigen ihren hohen Stellenwert.

### 6.5.3 Konzept der Leittechnik

Entsprechend der Bedienungshierarchie sind die Leittechnikaufgaben der Vor-Ort- und der übergeordneten Ebene zugeteilt:

#### Vor-Ort-Steuerebene

Die Vor-Ort-Steuerebene dient zur direkten Bedienung einzelner Komponenten. Für die einzelnen Hauptgruppen der Anlagen ist diese Ebene unterschiedlich realisiert (untere Hälfte Bilder 6-26 und 6-27):

#### Maschinensteuerungen

Jede Maschinengruppe besitzt ein speicherprogrammierbares Steuergerät (Simatic S5 155U), das alle Befehle, Abläufe, Alarne und Messungen bezüglich der Maschinen und deren Peripherie abwickelt. Je zwei solcher Steuerungen sind in einem Steuerzentrum zusammengefasst, welches direkt über den Maschinengruben angeordnet ist. Dort befindet sich eine festinstallierte Bedieneinheit (Bildschirm, Tastatur und Drucker), die je



Bild 6-29. Die Vor-Ort-Steuerebene: kompetent vor allem bei Montage- und Revisionsarbeiten.



Bild 6-30. Der neue Kommandoraum: Zentrale für die leittechnischen Aufgaben im Rheinkraftwerk.

nach Wahl auf eine der beiden Maschinen aufgeschaltet werden kann. Für die zweite Maschine kann eine mobile Bedieneinheit aufgeschaltet werden.

– Wehr-Vor-Ort-Steuerung

Für jede Wehröffnung besteht in einer Kabine auf der Wehrbrücke eine separate Steuereinheit in Relaistechnik, welche die Bedienung der zwei Wehrschützenantriebe dieser Öffnung ermöglicht.

– Vor-Ort-Steuerung der Schaltanlagen

Die Ausführung von Schalthandlungen in den einzelnen Schaltanlagen wird entweder über konventionelle Vor-Ort-Steuerungen oder direkt an den Schaltgeräten ausgeführt.

– Vor-Ort-Steuerungen der Nebenanlagen

Für die Nebenanlagen besteht je eine eigene Steuereinheit, welche in umfangreichen Fällen, wie der Steuerung der fünf Kühlwasserpumpen, als speicherprogrammierbare Steuerung ausgeführt ist.

*Übergeordnete Leitebene*

Die verschiedenen Aufgaben der übergeordneten Leitebene nach Bild 6-26 widerspiegeln sich auch im Aufbau der Hardware (obere Hälfte Bild 6-27):

- Das Zentrum dieser Ebene bildet der Hauptrechner (Si-comp M70), auf dem das Leitsystem (LS4) läuft. An diesem Hauptrechner ist eine Bedienschnittstelle (Dynavis) angeschlossen, die eine Tastatur, drei Bildschirme und zwei Drucker ansteuert. Für die Ausgabe der aktuellen Archivdaten ins Langzeitarchiv ist ein Archivrechner an den Hauptrechner angeschlossen, und für die Bedienung der Schaltanlagensteuerungen ist der Hauptrechner mit einem Fernwirkkopf ausgestattet.

– Ist der Hauptrechner nicht verfügbar, so kann eine reduzierte Bedienung der übergeordneten Leitebene vom Notrechner (Simatic S5 155U) aus vorgenommen werden.

- Die ganze Pegelregelung einschliesslich Bedieneinheit ist mit einem eigenen Rechner (Simatic S5 155U) realisiert. Aus Sicherheitsgründen wird die Pegelregelung im Notfall, wenn über längere Zeit grössere Pegelabweichungen auftreten, von einem autonomen Notregler übernommen, der nur auf die Wehröffnungen zugreift (Bild 6-28).
- Ein weiterer separater Rechner für die Nebenanlagen (Simatic S5 155 U) stellt die Verbindung zu den entsprechenden Vor-Ort-Steuerungen sicher.

Für die Kommunikation der einzelnen Systeme und Ebenen steht ein Doppelbus (Sinec H1) zur Verfügung. Die Bedieneinheiten der übergeordneten Leitebene sind im Kommandoraum untergebracht, die zugehörigen Rechner in einem benachbarten Rechnerraum.

Die Übersicht über das Konzept und das Zusammenwirken der beiden Leitebenen ist in Bild 6-27 dargestellt.

#### 6.5.4 Erfahrungen bei der Inbetriebsetzung und im Betrieb

Die Abwicklung eines Leittechnikprojektes stellt infolge der Komplexität und der Verschiedenheit der betroffenen Anlagen in einem Kraftwerk sehr grosse Ansprüche an Hardware und Software.

Eine bekannte Schwachstelle bei EDV-Projekten sind die Schnittstellen. Grosse Bedeutung bei der Montage der Leittechnikkomponenten kommt einer sauberen Trennung von Prozess-Erdung und Elektronik-Erdung zu. Über-

schneidungen auf diesem Gebiet können schwer definierbare Fehler und sogar Komponentenbeschädigungen zur Folge haben. Auswirkungen auf den Betrieb haben besonders auch der Zeitpunkt und die Reihenfolge der Inbetriebnahme der unterschiedlichen, sich gegenseitig beeinflussenden Systeme und Ebenen.

Diese Fakten spielen bei der Realisierung der Leittechnik im Rahmen des Ausbaus, wo der Betrieb des Kraftwerks während der gesamten Bauzeit reduziert weiterlief, eine wichtige Rolle. Von der Montage und der Inbetriebsetzung war es hier vorgegeben, dass zuerst ein Teil der Systeme der Vor-Ort-Steuerebene (Bild 6-26) in Betrieb genommen und die übergeordneten Systeme (Bild 6-27) dann überlagert wurden. Der zweite Teil der Vor-Ort-Systeme folgte in weiteren Schritten. Praktisch konnten der definitive Betrieb und die Tests der übergeordneten Systeme erst aufgenommen werden, als alle Vor-Ort-Steuerebenen installiert und die dort aufgetretenen Fehler behoben waren.

Diese Randbedingungen hatten speziell auf die Ausbildung des Bedienpersonals negative Auswirkungen, da man sich über längere Zeit mit provisorischen Lösungen begnügen musste und der Ausbildungstand nicht dem Projektstand entsprach. Teilweise konnte dieses Problem durch den Einsatz eines Simulators etwas entschärft werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Planung, Realisierung und Inbetriebnahme eines Leittechniksystems hohe Anforderungen sowohl an den Lieferan-

ten als auch an die Kundenseite stellen. Die sorgfältige Festlegung von Pflichten, Daten, Konzepten und Abläufen ist sehr zeitintensiv. Es entbehrte nicht einer gewissen Ironie, dass Lösungen, die bei der Projektierung als zukunftsweisend beurteilt wurden, zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme bereits technisch überholt waren.

## 6.6 Hilfs- und Nebenanlagen – Eigenbedarf

### Hebezeuge

Für die Montage und Demontage der Turbinen-Generatorgruppen und zum Ein- und Ausfahren der oberwasserseitigen Rolldammtafeln ist ein 100-t-Brückenkran (Bild 6-31) installiert. Seine Spannweite beträgt 23,8 m und die Fahrbahnlänge 125 m. An einem Kranträger ist zusätzlich ein 10-t-Elektrozug angebracht. An diesen kann auch der fünfblätterige Motorgreifer angehängt werden, mit dem grosses Rechengut, zum Beispiel Baumstämme, entfernt werden können.

Weitere Hebezeuge wurden wie folgt installiert: Je ein 20-t-Kran für die Unterwasser-Dammtafeln, ein 10-t-Kran in der mechanischen Werkstatt, ein 2-t-Kran in der Elektrowerkstatt, ein 4-t-Kran über den Gruppenschächten und ein 1,5-t-Teleskopkran für die Reglerräume.

### Drainage- und Turbinenentleerung

In den Turbinengruben fällt Schwitz-, Sicker- und Turbinenleckwasser sowie bei grösseren Revisionen Entleer-

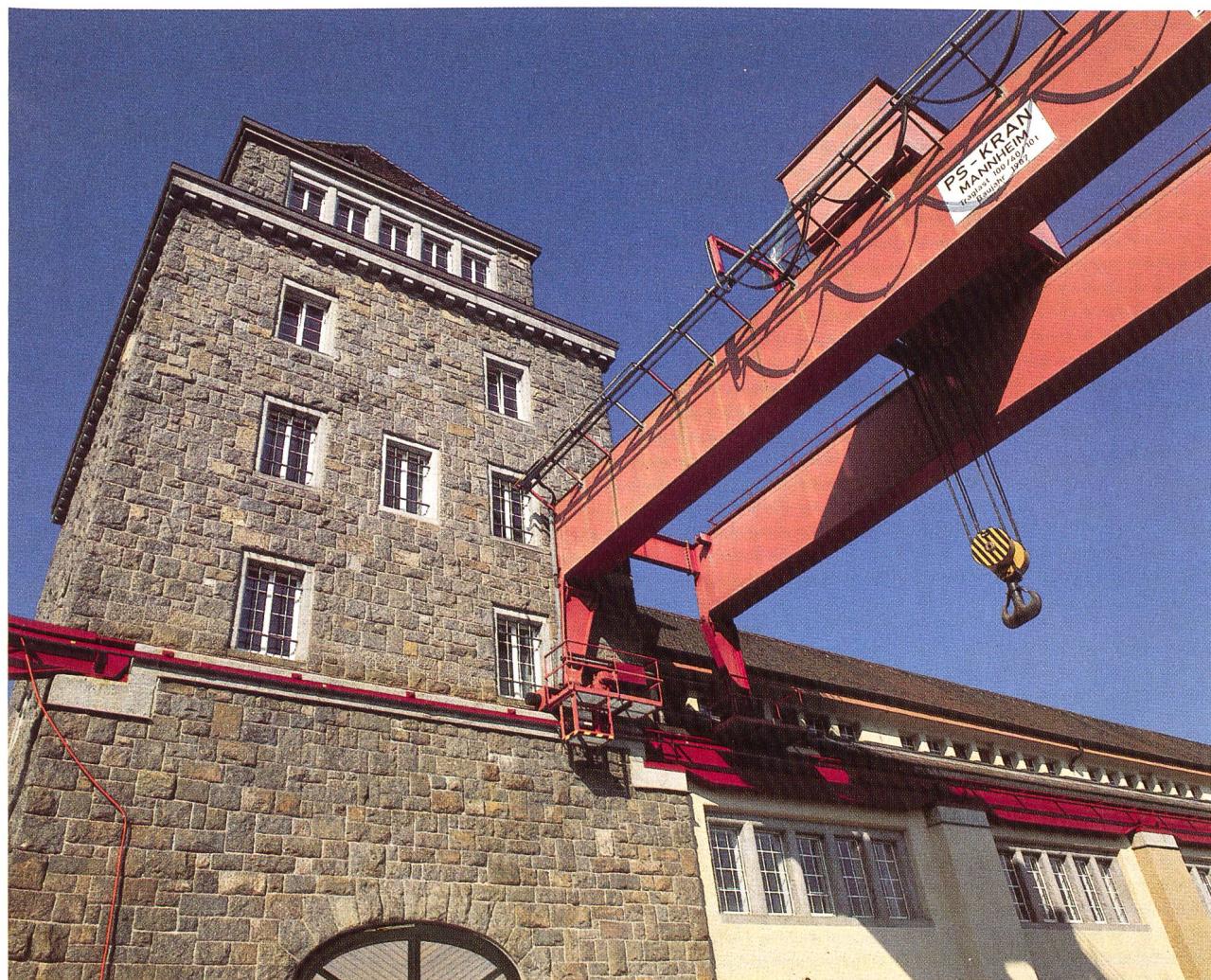


Bild 6-31. Der neue 100-Tonnen-Kran leistete bereits beim Ausbau wertvolle Dienste.

itungswasser aus dem Turbineneinlauf und dem Saugrohr an. Während das Turbinenleck- und das Entleerungswasser in einem wasserdicht abgedeckten Kanal gesammelt und direkt zu einer Beruhigungskammer geführt werden, gelangen das Sicker- und das Schwitzwasser über eine Rohrleitung zum Ölabscheider und dann zur Beruhigungskammer. Von dort wird das Wasser zum Pumpensumpf geleitet und in die ins Unterwasser führende Entwässerungsleitung gepumpt.

Die Pumpenanlage hat im wesentlichen zwei Aufgaben zu erfüllen: 1. Förderung des permanent anfallenden Leck-, Schwitz- und Sickerwassers und 2. Förderung des in grösseren Zeitabständen anfallenden Turbinenentleerungswassers.

Die nominale Gesamtfördermenge der vier installierten Tauchmotorpumpen ist mit je 200 l/s so gewählt, dass sich einerseits auch Extremmengen, beispielsweise bei Dichtungsversagen, mühe los ableiten lassen und andererseits bei Normalbetrieb eine Entleerungszeit von zwei Stunden nicht überschritten wird.

#### Kühlwasserversorgung

Für die Kühlung der verschiedenen Anlageteile wird eine beachtliche Kühlwassermenge benötigt, die sich im einzelnen wie folgt zusammensetzt: 10 Generatoren mit 64 l/s, 5 Transformatoren mit 10 l/s, 10 Lagerölkühler mit 7 l/s, diverse Klimageräte mit 10 l/s und der Notstromdiesel mit 12 l/s ergeben einen maximalen Verbrauch von insgesamt 103 l/s.

Diese Kühlwassermenge wird aus vier neu erstellten, am unterwasserseitigen Rheinufer entlang gelegenen Uferfiltrationsbrunnen entnommen. Mittels sechs Unterwasser-motorpumpen, davon zwei als Reserve, wird das Kühlwasser in einen im Dachgeschoss aufgestellten Hochtank von 50 m<sup>3</sup> Inhalt gefördert. Von hier fliesst das Wasser gravitär zu den einzelnen Verbrauchern (Bild 6-32). Eingebaute Blenden garantieren die korrekte Dosierung der geforderten Wassermengen.

Das nach dem Verbrauch um ca. 7° K erwärmte Wasser wird in einem unteren Auffangbecken gesammelt und in den Rhein zurückgeleitet. Im Winter wird zu Heizzwecken ein Teil des Kühlwassers der Wärmepumpenanlage zugeleitet.

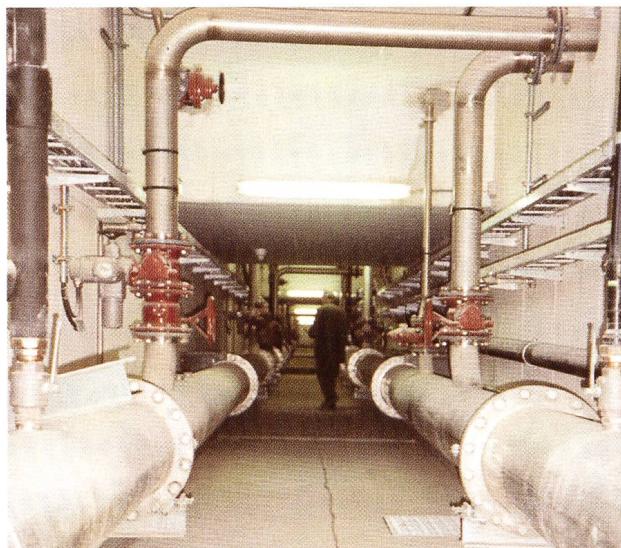


Bild 6-32. Der Rohrkanal: Die Bedeutung der Wasserkühlung für den reibungslosen Werksbetrieb in Verbindung mit der beachtlichen Kühlwassermenge erfordert ein entsprechend leistungsfähiges Leitungssystem.

Tabelle 6-33. Hauptdaten der Wärmepumpenanlage.

Nennwärmeverbrauch Maschinenhaus	350 kW
Nennheizleistung Wärmepumpen	2 x 174 kW
Gemessene Leistungsziffer	3,5
Kältemittel	R 22
Volumen technische Wärmespeicher	2 x 2,5 m <sup>3</sup>
Heizwasser Vor-/Rücklauftemperatur	50°/40° C

Zur Verminderung von Druckstößen in der ca. 300 m langen Pumpenleitung zum Hochtank sind in jedem Filterbrunnenkopf gasgefüllte Druckschlagdämpfer eingebaut.

#### Klima – Lüftung – Heizung

Ein grosser Teil der vom Personal nicht intensiv genutzten Räume des Maschinenhauses ist fensterlos und untertag. In zahlreichen Räumen fällt in erheblichem Umfang Apparate-Verlustwärme an. Um dem Betriebspersonal wie auch den empfindlichen technischen Installationen optimale Raumbedingungen zu schaffen, sind praktisch im gesamten Maschinenhaus Ventilationsanlagen eingebaut. Im Bereich des Kommandoraums sorgt eine Klimaanlage für Raumkonditionen mit erhöhtem Luftkomfort für das Überwachungspersonal. Die im Gebäude anfallende Verlustwärme wird in der kalten Jahreszeit auch für die Beheizung herangezogen. Die Luftaufbereitungsgeräte aller Klima- und Lüftungsanlagen befinden sich – mit wenigen Ausnahmen – im Dachgeschoss des Maschinenhauses.

Bereits zu Beginn des Ausbauprojektes wurde eine umfassende Untersuchung zum Thema Wärmeversorgung durchgeführt. Es zeigte sich, dass aus den Abwärmeverlusten von Generatoren und Transformatoren auch bei geringer Rheinwasserführung im Winter mit mindestens rund 650 kW nutzbarer Abwärme zu rechnen ist. Für die Beheizung des gesamten Maschinenhauses und des Turmes ist ein Niedertemperatur-Zentralheizsystem mit einer Vor-/Rücklauf-Auslegetemperatur von 50°/40° C installiert. Neben den Heizkörpern sind auch die Lufthermometer der verschiedenen Lüftungsanlagen an diese Heizungsanlage angeschlossen. Beim vorliegenden Wärmeerzeugungssystem wird das in einem zentralen Kühlwasser-Auffangbecken von sämtlichen Maschinengruppen gesammelte Kühlwasser als Wärmequelle für die beiden Wärmepumpeneinheiten genutzt (Bild 6-34). Das durch die Abwärmenutzung abgekühlte Kühlwasser wird mit rund 12° C in den Rhein zurückgeführt. Auf der Heizkreisseite sind zwei Wärmespeicher und als Bivalentzheizung noch ein Elektro-durchlauferhitzer im Parallelbetrieb eingebaut.

#### Energiesparen im Kraftwerk

Aufgrund dieses Wärmekonzeptes können pro Jahr rund 80 000 kg Heizöl und rund 400 MWh elektrische Energie eingespart werden.

#### Druckluftsystem

Die lokalen Druckluftbehälter für die Stillstandsdichtungen der Straflo-Gruppen und die Generatorbremsen werden aus einer zentralen, für alle zehn Gruppen gemeinsamen Druckluftanlage versorgt. Diese besteht aus zwei identischen Kompressoreinheiten für 16 bar und 200 Nm<sup>3</sup>/h Luft pro Gruppe, je mit Lufteintrittsfilter, Kühler, Luftentfeuchter, einem gemeinsamen Druckluftbehälter sowie den Überwachungs- und Steuerungseinrichtungen. Eine der Kompressoreinheiten dient als Reserve oder als Paralleleinheit.

Die Druckluft wird ab zentralem Druckluftbehälter über eine Hauptleitung und je eine Stichleitung pro Maschinengruppe zu den örtlichen Behältern geleitet.



Bild 6-34. Dank der Wärmepumpenanlage für die Nutzung der anfallenden Verlustwärme werden enorme Energiemengen eingespart.

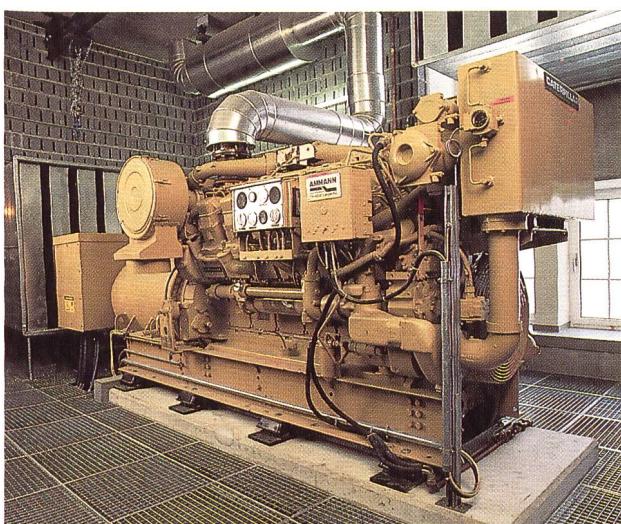


Bild 6-35. Für den Störungsfall gerüstet: Die neue Dieselnotstromgruppe ist für die Aufrechterhaltung der Versorgung aller betriebsnotwendigen Einrichtungen ausgelegt.

Gesteuert werden die Kompressoren über das Druckniveau im Hauptbehälter, und die Regulierung der Luftzufuhr zu den örtlichen Behältern geschieht durch das Druckniveau in diesen Behältern. Der Betriebszustand der Druckluftanlage wird im Kommandoraum registriert.

Die Kompressoreinheiten und der Hauptbehälter wurden im Regieraum der ersten Maschinengruppe installiert, da sie bereits für die Inbetriebsetzung der ersten Maschinengruppe zur Verfügung stehen mussten.

#### Dieselnotstromgruppen / Eigenbedarf

Die Dieselnotstromgruppe im Maschinenhaus wurde durch eine neue Anlage mit einer Nennleistung von 920 kW ersetzt. Sie ist im 1. Obergeschoss des gemeinsamen Pfeilers aufgestellt (Bild 6-35). Eine zweite Dieselnotstromgruppe auf der deutschen Seite des Wehrs mit einer Nennleistung von 250 kW wurde revidiert.

Daneben besteht ein redundantes System zur Sicherstellung der Eigenbedarfsversorgung.

## 6.7 Arbeiten am Wehr

### Bauliche Anlagen

Die direkt an das Maschinenhaus anschliessende Wehranlage besteht aus vier Öffnungen von 17,3 m Breite und am deutschen Ufer aus einer Schleuse von 12 m Breite und 30 m Länge. Die ganze Wehranlage ist im Fels gegründet und bis heute baulich so erhalten, wie sie in den Jahren 1908 bis 1914 in Caissonbauweise erstellt wurde. Die massiven Pfeiler von 4,5 m Breite und 25 m Länge sowie die Sohle sind mit Granitblöcken und an Stellen grösserer Beanspruchung mit Stahlplatten verkleidet. Die Untersuchung der Wehrpfeiler zeigte lediglich einige ausgewaschene Fugen, im übrigen ist der bauliche Zustand gut. Kernbohrungen bestätigen die schon beim Krafthaus festgestellten Betoneigenschaften.

### Standsicherheit gewährleistet

Eine Auflage der neuen Konzessionen verlangt den Nachweis der Stand- und Gleitsicherheit des Wehres. Bei der massiven Bauweise des Wehres ist die erforderliche Sicherheit gegen Kippen und Aufschwimmen gegeben. Die Gleitstabilität, wofür die Beschaffenheit der potentiellen Gleitfläche massgebend ist, musste hingegen detailliert untersucht werden. Die felsmechanischen Kennwerte wurden an Bohrkernen im Labor ermittelt. Für die Ermittlung der theoretisch möglichen Bruchflächen wurden die Gefügeflächen in den Baugruben für die neuen Turbinen systematisch aufgenommen und ihre möglichen Schnittlinien in der stereographischen Projektion nach Wulff ermittelt. Unter Berücksichtigung der Topographie unterhalb des Wehrs und der Geometrie der Wehrfundation ergab sich,



Bild 6-36. Revision der Wehrschützenantriebe im Zuge der Ausbaurbeiten.



Bild 6-37. Dem Zahn der Zeit erfolgreich widerstanden: Die Wehranlage des Kraftwerks Laufenburg ist auch nach über 80 Jahren in bestem Zustand.

dass ein Bruch nur längs der Kontaktfläche Beton – Fels möglich ist. Die Scherparameter wurden – der treppenartigen Ausbildung des Fundamentes Rechnung tragend – mit  $\Phi = 45^\circ$  (Reibungswinkel) und  $c = 40 \text{ kN/m}^2$  (Kohäsion) angenommen. Die Berechnungen ergaben Sicherheitswerte, die wesentlich höher liegen als die vom Bundesamt für Wasserwirtschaft auf der Basis der SIA-Normen 160 und 162 festgelegten erforderlichen Sicherheiten. Die Standsicherheit ist ohne zusätzliche bauliche Massnahmen gewährleistet (Bild 6-37).

#### Wehrschützen

Je zwei an Ketten hängende Tafelschützen schliessen die rund 15 m hohen Wehröffnungen ab. Die Antriebe, die sich auf einer die Pfeiler überspannenden Fachwerkbrücke befinden, wurden komplett revidiert (Bild 6-36). Die Schützentafeln sind genietete Fachwerkkonstruktionen. Die Überprüfung der Wandstärken und der Nieten mit Ultraschall und Magnetpulver zeigte einen einwandfreien Zustand der über 80jährigen Schützen, bei denen bisher alle zehn Jahre der Bitumen-Korrosionsschutz erneuert worden war. Auch die Materialprüfung von Blechproben des verwendeten Flussstahls St 37 zeigte Festigkeitswerte, die über denen des heutigen Stahls St 37 liegen. Einzig die Kerbschlagzähigkeit lag tiefer, weshalb grundsätzlich keine Schweißarbeiten an den Schützen durchgeführt werden. Abgesehen vom Ersatz einiger Verkleidungen oder Dichtungspartien musste an den Schützen selbst lediglich der Korrosionsschutz erneuert werden.

Etwas mehr Aufwand erforderte die Revision der Lagerung der Schützentafeln. Die Schützen sind seitlich auf robuste Rollwagen abgestützt, die einerseits mit den Schützentafeln verbunden sind und andererseits auf Stahl-

schielen der Pfeiler laufen. Diese Rollwagen wurden bei der jetzigen Revision das erste Mal in der nahezu 80jährigen Betriebsdauer ausgebaut. Alle Rollwagen wurden unter Verwendung der noch brauchbaren Bestandteile erneuert und gleichzeitig auf Wälzlagierung sowie auf ein Schmiersystem mit Rückführung umgebaut. So werden zukünftig Schäden an den Dichtungen der Lager auch im eingebauten Zustand beim Schmierservice entdeckt und es sind keine weiteren Unterhaltsarbeiten notwendig, so lange die Schmierung einwandfrei funktioniert.

#### Wehrsteuerung

Die Funktion der bisherigen handbedienten Stauregelung hat heute eine moderne Wasserhaushalts-Automatik (Oberwasserregelung) übernommen. Zur neuen Wehrsteuerung gehört die entsprechende Ausrüstung für die Messung, Anzeige und Bedienung sowie die Überwachung der Funktionen und Betriebszustände.

Neben dem automatischen Betrieb können die Schützen auch manuell via Bildschirm und Tastatur vom Kommandoraum aus gefahren werden. Bei einem Ausfall der Fernsteuerung müssten die Wehrschützen vor Ort gesteuert werden. Die Bedienung erfolgt dabei wie bisher in der jeder Wehröffnung zugeordneten Steuerkabine.

Als redundante Schutzeinrichtung wurde der sogenannte Notregler konzipiert. Aufgabe dieser Regeleinrichtung ist die Verhinderung von unzulässigen und gefährlichen Betriebszuständen bei Ausfall oder Störung des übergeordneten Oberwasserreglers. Der Regler hat nur Zugriff auf die Wehröffnungen, nicht aber auf die Turbinen. Messeinrichtungen für Oberwasserpegel und Schützenstellung sowie die Stromversorgung sind von der automatischen Oberwasserregelung unabhängig.

## 7. Die energiewirtschaftlichen Auswirkungen des Ausbaus

Armin Fust

### Stromerzeugung

Mit dem Einbau der zehn neuen Straflo-Maschinengruppen hat sich die erreichbare Werksleistung von bisher 76 MW auf rund 105 MW erhöht. Wie aus Bild 7-1 ersichtlich ist, betrifft diese Steigerung vor allem den Bereich oberhalb des bisherigen Ausbaudurchflusses von rund 1025 m<sup>3</sup>/s. Bei steigendem Rheinabfluss wird stufenweise je eine weitere Maschine zugeschaltet, bis der volle Ausbaudurchfluss von maximal 1370 m<sup>3</sup>/s erreicht ist.

Die Leistungskurve kann nur in Zusammenhang mit der Abflusskennlinie des Rheins (Bild 7-2) beurteilt werden. Daraus ist ersichtlich, dass der erhöhte Ausbaudurchfluss hauptsächlich in den Sommermonaten zum Tragen kommt. Alle zehn Maschinen dürften statistisch nur in den Monaten Mai, Juni und Juli in Betrieb sein, wenn der Rheinabfluss im Bereich des maximalen Nutzwasserdurchflusses liegt.

Die Verteilung der monatlichen Stromerzeugung ist in Bild 7-3 aufgezeichnet. Diese Verteilung ist eine Prognose aufgrund der langjährig gemittelten Rheinabflusskurve (1935–1987). Der charakteristische Verlauf über das hydrologische Jahr hinweg ergibt sich erst bei der Mittelung mehrerer Jahre. Die Produktionsaufzeichnung eines einzelnen Jahres lässt diese Charakteristik meistens nicht erkennen.

### Wirkungsgrad

Bei den Straflo-Turbinen ist nur der Leitapparat verstellbar, nicht aber das Laufrad. Die einzelne Maschine kann deshalb nur in einem eng begrenzten Öffnungsbereich mit gutem Wirkungsgrad betrieben werden. Dank der grossen Anzahl Maschinen kann dieser Mangel jedoch gut aufgefangen werden, wie aus dem recht stetigen Verlauf der Werkleistungskurve von Bild 7-1 ersichtlich ist. Der maximale Wirkungsgrad der Turbine beträgt laut Modellversuchen 91 %, und er fällt am Rand des Einsatzbereiches der einzelnen Maschine auf rund 85 %.

Die Generatoren weisen praktisch unabhängig von der Belastung einen Wirkungsgrad von 97,5 % auf. Im Mittel über den Betriebseinsatz eines Jahres arbeiten die Maschinengruppen mit einem Gesamtwirkungsgrad von rund 85 %. Bei den Maschinentransformatoren, welche die Energie von je zwei Generatoren auf 110 kV umsetzen, wurde speziell auf geringe Lastverluste geachtet. Diese liegen für eine Nennleistung von 25 MVA bei 46 kW. Das Kühlwasser, das die Verlustwärme von Generatoren, Transformatoren und Lagerölkühlern abführt, wird in ein Warmwasserbecken geleitet. Zwei Wärmepumpenanlagen – eine für das Rheinkraftwerk und eine für die übrigen Gebäude auf dem Areal – nutzen die Abwärme zur Gebäudeheizung, wobei maximal rund 500 kW Heizleistung abgegeben werden kann.

Neben den Verlusten bei der eigentlichen Stromerzeugung und -übertragung muss auch der Eigenbedarf für den Betrieb der Nebenanlagen, wie Kühlwasserpumpen, Leck-

wasserpumpen, Wehrbetätigung, Rechenreinigung, Raumlüftung und -heizung, Beleuchtung und vieles mehr, beachtet werden. Bei all diesen Einrichtungen wurde, soweit die Sicherheit der Anlagen es zulässt, darauf geachtet, den Stromverbrauch möglichst gering zu halten. Die Messung während eines Betriebsjahres ergab für alle Aufwendungen insgesamt zwischen Generatorklemme und Abgabe in der 110-kV-Anlage, also inklusive Transformation und Übertragung, einen Eigenbedarf von lediglich rund 1,5 % des erzeugten Stromes.

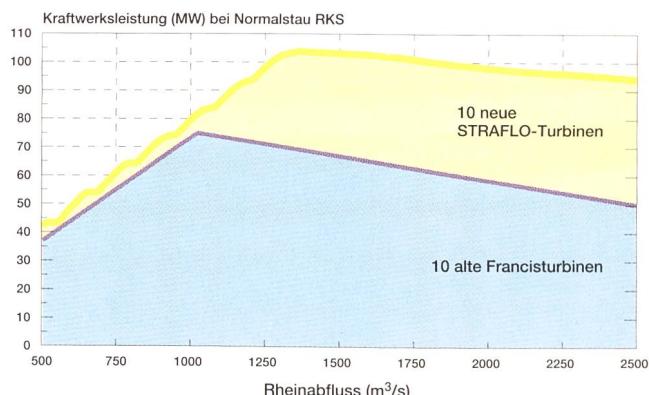


Bild 7-1. Leistungskurve Rheinkraftwerk mit 10 Straflo-Turbinen. Prognose Normalstau mit Baggerung durch das Rheinkraftwerk Säckingen.

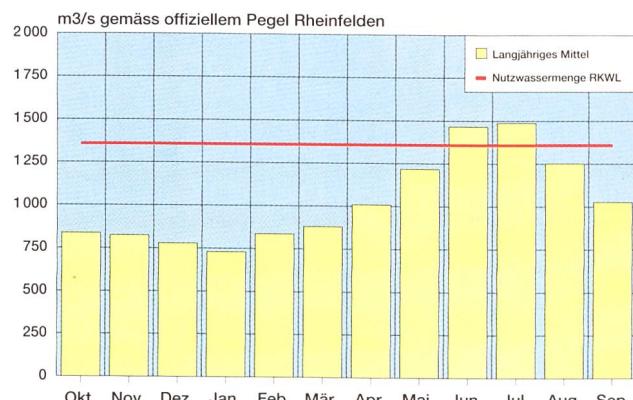


Bild 7-2. Monatliche Wasserführung des Rheins gemäss langjährigem Mittelwert 1935–87.

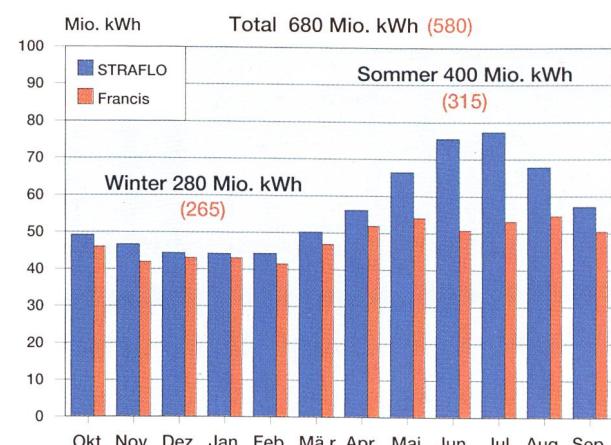


Bild 7-3. Monatliche Erzeugung (Mio. kWh) inkl. Einstauersatz. Prognose aufgrund langjähriger Abflusskurve bei Normalstau.

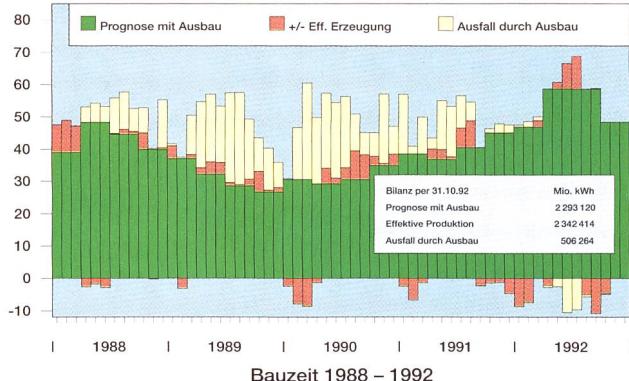


Bild 7-4. Ausbau Rheinkraftwerk Laufenburg – Erzeugung pro Monat (in Mio kWh).

#### Produktionsausfall

In der Anfangsphase der Bauzeit ging die Anzahl der Maschinen, die für den Betrieb zur Verfügung standen, schrittweise zurück. Mit der Inbetriebnahme der neuen Maschinen stieg sie dann im gleichen Takt wieder an. In Bild 7-4 ist die ganze Bauzeit des Turbineneinbaus aufgezeichnet. Wenn auch die Wasserführung des Rheins zeitweise von den für das Bauprogramm angenommenen Werten abwich, so dass effektiv gegenüber der Prognose meistens eine Mehr- oder Mindererzeugung eintrat, so konnte gesamthaft die Prognose des Verlustes durch den Ausbau doch recht genau eingehalten werden. Mit beträchtlichem Wetterglück betrug der Verlust der ganzen Ausbauzeit von fünf Jahren nicht einmal eine bisherige Jahreserzeugung.

RHEINKRAFTWERK LAUFENBURG AUSBAU 1988 – 1994

## 8. Die Neuregelung des Einstauersatzes

Armin Fust

### 8.1 Die Konzessionen als Grundlage

Das Kraftwerk Laufenburg (KWL) wurde ursprünglich als Laufkraftwerk im frei fliessenden Rhein gebaut. Erst später entstanden im Oberwasser das Kraftwerk Albbrück-Dogern (RADAG) und im Unterwasser das Kraftwerk Säckingen (RKS), wovon auch die Stauverhältnisse in Laufenburg betroffen waren. Laut Konzessionen hat jedes Kraftwerk seinen Nachbarn mit den entsprechenden gegenseitigen Betriebsbeeinflussungen zu dulden und diesen für allfällige Beeinträchtigungen zu entschädigen. Das Ausmass der Entschädigung muss unter den einzelnen Kraftwerken einvernehmlich geregelt werden.

Dies ist nun verhältnismässig einfach, wenn ein Kraftwerk in seinem ursprünglichen Zustand weiterbetrieben wird und ein neues Unterliegerkraftwerk dazukommt, welches das Unterwasser des bestehenden Kraftwerks einstaut. Der Unterlieger hat dann für den Energieerzeugungsausfall aufzukommen, der gegenüber dem unbeeinträchtigten Kraftwerksbetrieb entsteht. Dieser kann theoretisch

ohne grosse Schwierigkeiten aus dem Vergleich der Betriebsdaten vor Einstau und nach Einstau ermittelt werden. In der Praxis ist auch dieser Fall nicht ganz so einfach wie in der Theorie, da die gemessenen Betriebsdaten immer eine gewisse Streuung aufweisen und auch andere Randbedingungen, wie Veränderungen bei der Einstellung von Maschinen und Wehr, Fluss-Sohlenveränderungen nach Hochwassern, Wellenvorgänge im Stauraum und vieles mehr einen Einfluss haben können.

### 8.2 Einstauersatz an das Rheinkraftwerk Albbrück-Dogern

Um den Oberlieger, die RADAG nicht einzustauen, wurde nach den alten Konzessionen der Oberwasserpegel bei Wasserführungen unterhalb 1000 m³/s stufenweise abgesenkt. Die erneuerten Konzessionen ermöglichen es dem KWL, seinen Oberwasserpegel unabhängig vom Rheinabfluss konstant zu halten. Bei niedrigen Wasserführungen wird dadurch die RADAG bis zu einem Maximum von etwa 25 cm eingestaut, andererseits erhöht sich die Produktion im KWL jährlich um etwa 3,5 Mio kWh. Auf Stauversuche abgestützte Berechnungen ergaben, dass die RADAG durch diesen Einstau in einem Jahr mit mittlerem Rheinabfluss rund 1,75 Mio kWh an Stromerzeugung einbüsst. Diese Einbusse entschädigt das KWL der RADAG pauschal durch eine tägliche Energielieferung.

### 8.3 Einstauersatz vom Rheinkraftwerk Säckingen

#### Das bisherige Verfahren

Vor dem Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg bestand mit dem Rheinkraftwerk Säckingen eine Regelung über

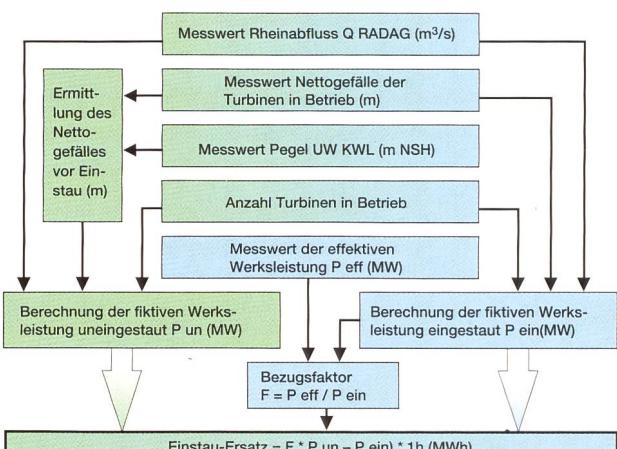


Bild 8-1. Bisheriges Verfahren zur Ermittlung des Einstauersatzes.

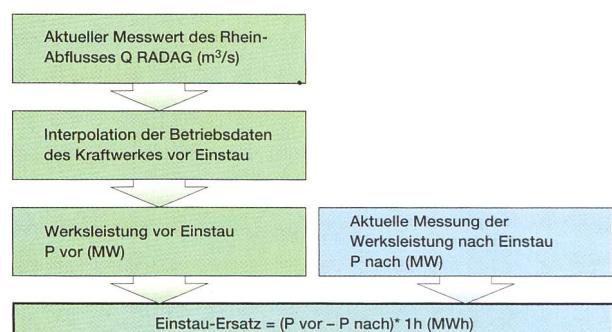


Bild 8-2. Ermittlung des Einstauersatzes nach neuem Verfahren.

den Einstauersatz, die auf dem Vergleich mit dem Zustand vor dem Einstau beruhte. Die Verminderung der Stromerzeugung im KWL durch den Einstau des RKS wurde durch eine zeitgleiche Stromlieferung so ausgeglichen, dass die Strombilanz des KWL gleich ausfiel wie vor dem Einstau (Bild 8-1).

#### *Der Ausbau des KWL bedingt ein neues Verfahren*

Mit dem Ausbau, insbesondere mit dem erhöhten Ausbau durchfluss, veränderten sich die Verhältnisse derart, dass kein Vergleich mehr zu früher angestellt werden kann, da es keine Betriebsdaten des ausgebauten KWL ohne den Einstau des RKS gibt. Erschwerend kam noch dazu, dass während der Ausbauzeit das Flussbett des Rheins zwischen Murg und Laufenburg ausgebaggert wurde, um den Einstau zu reduzieren. Zudem spricht die unregelmässige Stauraumbewirtschaftung des RKS gegen eine pauschale Abgeltung. Diese Veränderungen erforderten einen neuen Modus der Einstauersatz-Berechnung und entsprechende Übergangsregelungen für die Ausbauzeit.

#### *Berechnung aufgrund von Kennlinienfeldern*

Beim neuen Verfahren (Bild 8-2) muss die Differenz vor und nach Einstau rechnerisch gebildet werden. Im Rahmen der Ausbauplanung wurden die Turbinen des Kraftwerks, gestützt auf Modellversuche, für eine optimale Jahreserzeugung ausgelegt, wobei die Auswirkungen der späteren Baggerung bereits berücksichtigt wurden. Die in vielen Rechnungen ermittelte optimale Variante wurde dann tatsächlich eingebaut. Als Vergleichsvariante dazu wurde – ebenfalls nach dem gleichen rechnerischen Verfahren – ein Kraftwerk ohne Einstau optimiert. Dabei wurden, abgesehen vom Gefälle, die gleichen Randbedingungen eingehalten wie im eingestauten Fall: 10 Straflo-Maschinen mit maximal 1420 m<sup>3</sup>/s Turbinendurchfluss. Die Gefällsverhältnisse am Schweizer Ufer, die ohne den Einstau des RKS, aber mit dem erhöhten Turbinendurchfluss auftreten würden, wurden aus Pegelaufzeichnungen vor dem Bau des RKS und aus Resultaten verschiedener Flussmodellmessungen ermittelt. Da für die Turbinen nicht das Gefälle am Ufer entscheidend ist, sondern das Nettogefälle der einzelnen Maschine, muss das Gefälle am Ufer noch auf das gemessene Nettogefälle der einzelnen Maschinen übertragen werden. Mit den so ermittelten Maschinenkennlinien kann nun für alle Rheinabflüsse fiktiv berechnet werden, wie gross die Stromerzeugung des eingestauten bzw. des uneingestauten Kraftwerks im optimalen Fall ausfallen sollte. Die Differenz der beiden Werte ergibt den fiktiven Ausfall der Produktion infolge des Einstaus. Wichtig bei diesem Verfahren ist, dass dabei zwei Werte verglichen werden, die auf dieselbe Art und Weise und mit den gleichen Grundlagen ermittelt wurden; es wird also Gleiches mit Gleichem verglichen. Für den Rheinabfluss wird der im Kraftwerk Albbrück-Dogern (RADAG) gemessene Abfluss Q eingesetzt, da die Erfassungsgenauigkeit dieses Wertes deutlich über dem in Laufenburg gebildeten Wert liegt.

#### *Der Bezug zum praktischen Betrieb*

Unumgängliche Unterhaltsarbeiten, Störungen oder auch zeitliche Verschiebungen, Mittelwertbildungen oder Ungenauigkeiten bei den Messungen führen dazu, dass die effektive Erzeugung zeitweise geringfügig kleiner oder grösser ist als die fiktiv ermittelte. Diese realen Randbedingungen werden bei der Berechnung des Einstauersatzes schrittweise berücksichtigt. Als erster Schritt geht schon bei der Berechnung der optimalen Erzeugung die Anzahl verfügbarer Maschinen ein. In einem zweiten Schritt wird

aus dem Verhältnis von fiktiver zu effektiver Stromerzeugung des eingestauten Falls nun ein sogenannter Bezugsfaktor gebildet. Da davon ausgegangen werden kann, dass für den eingestauten und den uneingestauten Fall die gleichen Abweichungen von Theorie und Praxis auftreten dürfen, wird der Bezugsfaktor auch auf den fiktiven Ausfall der Produktion infolge des Einstaus angewandt. Der fiktive Produktionsausfall wird somit identisch mit dem effektiven Produktionsausfall: und genau dieser Wert wird dem KWL als Ersatz für den Einstau vom RKS entschädigt!

#### *Die reale Abgeltung*

Da das RKS und das KWL über ein regionales 110-kV-Netz miteinander verbunden sind, wird die reale Lieferung des Einstauersatzes zweckmässigerweise gerade auf dieser Spannungsebene vollzogen und abgerechnet. Durch den Einbezug des Einstauersatzes ins tägliche Energielieferungsprogramm und die damit zusammenhängende Verrechnung durch die Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg (EGL) ist der zeitgleiche Realersatz sichergestellt. Die heutige Leitechnik bietet zudem die Möglichkeit, die Betriebsdatenerfassung und die Verrechnungen automatisch ablaufen zu lassen.

#### *Erste Erfahrungswerte*

Erwartungsgemäss ist der bisherige Einstauersatz des RKS in der Grösse von 90 Mio kWh auf rund die Hälfte zurückgegangen. Hauptursache für diesen Rückgang ist einerseits die Ausbaggerung der Rheinsohle, die den Rückstau vor allem im Bereich der mittleren Wasserführung von bisher einem Meter auf rund die Hälfte reduziert hat. Bei höheren Wasserführungen ist der Rückgang des Einstaus sogar noch beträchtlicher. Andererseits entstand bei der bisherigen Konstellation ein respektabler Anteil der Erzeugungseinbusse dadurch, dass die alten Turbinen nach dem Einstau nicht mehr im optimalen Wirkungsbereich liefen, für den sie gebaut waren. Dieser Mangel wurde durch den Ausbau des KWL eliminiert, da die neuen Maschinen für das auftretende Gefälle optimiert sind.

## 9. Die Arealüberbauung

Jürg Vontobel, Remy Wipfler

Bereits im Zuge der Planungen für den Ausbau des Rheinkraftwerks wurde deutlich, dass es nicht möglich sein würde, alle auf Schweizer Seite angesiedelten Bereiche des Kraftwerks Laufenburg im freiwerdenden Maschinenhaus unterzubringen, ohne das äussere Erscheinungsbild des Rheinkraftwerks wesentlich zu verändern. Es war daher schon zur Zeit des Baubeschlusses klar, dass auf dem Kraftwerksareal bauliche Veränderungen nötig sein würden.

### 9.1 Variantenstudien

#### Bedürfnisse

Zur Erfüllung der Forderung nach rationellen Betriebsabläufen wurden im Maschinenhaus und im Turm alle direkt zum Kraftwerksbetrieb gehörenden Bereiche, wie die Betriebsleitung mit der technischen Abteilung und der Gruppe Leittechnik, der mechanische und der elektrische Unterhalt sowie die Ersatzteil- und Betriebsmittelmagazine, untergebracht. Für folgende Bereiche gab es daher im Maschinenhaus keine geeigneten Räumlichkeiten:

#### Geschäftssitz mit

- Direktion
- Hauptabteilung Finanzen und Controlling
- Personalwesen CH und Sozialdienst
- Haus- und Kurierdienst

#### Handwerker

- Baulicher Unterhalt (Schreiner, Maler, Uferunterhalt, Gärtner)
- Garage
- Magazin für die Betriebslöschgruppe

Ausstellungs- und Demonstrationsraum für die Öffentlichkeitsarbeit.

Nach den Wasserrechtskonzessionen muss der Sitz der Gesellschaft in Laufenburg/Aargau liegen. Es musste des-

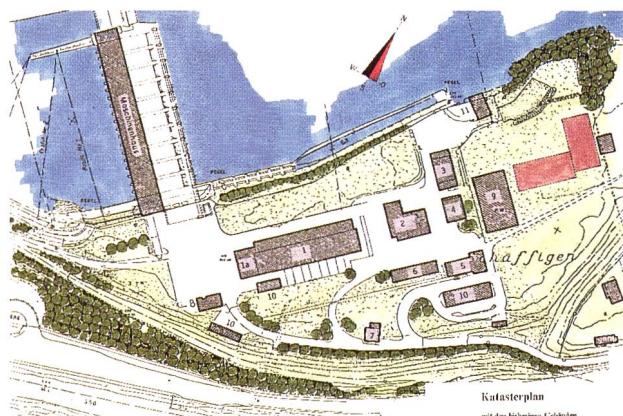


Bild 9-1. Ausgangssituation für die Arealstudien. 1 Schalthaus, 1a Westanbau, 2 Werkstatt, 3 Werkdienst, 4 Magazin, 5 Betriebsgebäude, 6 Garderobe, 7 Portierhaus, 8 Telefonzentrale, 9 Tennishalle, 10 Autounterstand, 11 Bootshaus.

halb eine definitive Lösung ausserhalb des Maschinenhauses und des Turms auf dem Kraftwerksareal gesucht werden.

Die Handwerker sind sowohl für das Kraftwerk Laufenburg und zum Teil auch für die ElektrizitätsGesellschaft Laufenburg AG tätig. Bisher waren sie in verschiedenen alten zum Teil nicht mehr sanierungswürdigen Gebäuden untergebracht, die teilweise den gesetzlichen Vorschriften und den Forderungen an zeitgemässen Werkstätten nicht mehr genügten. Auch für diese Bereiche musste eine zweckmässige Lösung gefunden werden.

Um der grossen Anzahl von Besuchern einen möglichst umfassenden Einblick in unsere Tätigkeit sowie den Aufbau und die Funktionsweise unserer Anlagen zu vermitteln, entspricht ein zweckmässig eingerichteter Ausstellungs- und Demonstrationsraum einem dringenden Bedürfnis.

#### Untersuchte Varianten

Nach unternehmensinternen Abklärungen wurde im Herbst 1990 die Göhner Merkur AG mit einer Nutzungsplanung und der Ausarbeitung eines Vorprojektes für die betrieblich und kostenmässig günstigsten Varianten beauftragt. Die Ausgangslage ist auf dem Katasterplan Bild 9-1 dargestellt.

Nachfolgend sind die wichtigsten untersuchten Varianten zusammengestellt:

#### Variante 0

Belassen des bisherigen Zustandes

#### Variante 1

Konzentration aller Bereiche im vollständig renovierten Schalthaus

#### Variante 2

Umbau der ehemaligen Werkstatt in ein Bürogebäude, Neubau Werkhof

#### Variante 3

Neubau von Bürogebäude und Werkhof

Der Ausstellungs- und Demonstrationsraum wurde bei allen Varianten im bestehenden, zum Teil frei werdenden Betriebsgebäude geplant.

#### Beurteilung der Varianten

##### Variante 0

- grosse Sanierungs- und Unterhaltskosten
- heutige bauphysikalische Anforderungen nicht erfüllt

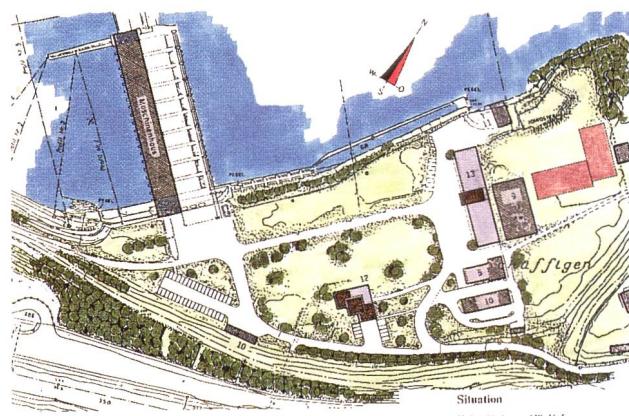


Bild 9-2. Neues Konzept für die Arealüberbauung. 5 Betriebsgebäude, 9 Tennishalle, 10 Autounterstand, 11 Bootshaus, 12 Bürogebäude, 13 Werkhof.

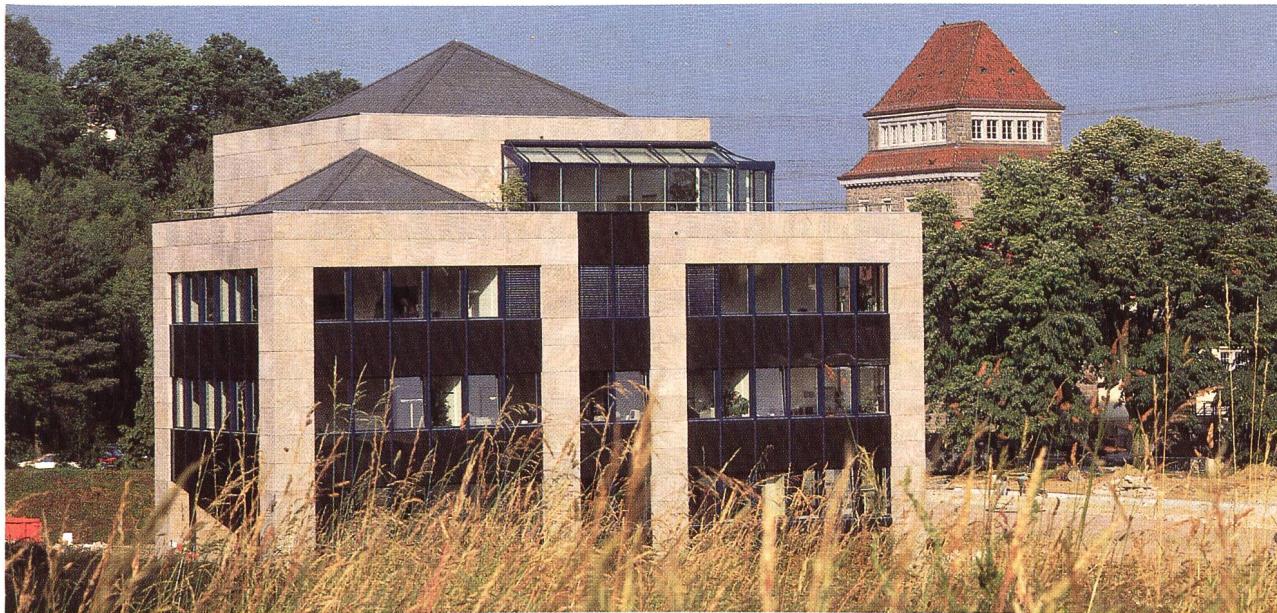


Bild 9-3. Das neue Bürogebäude: eine zeitgemäss architektonische Antwort auf das historische Kraftwerksgebäude.

- ökonomische Betriebsmängel nicht behoben
- keine Nutzung grossflächiger Bauteile
- schlechte Nutzung des Gesamtareals

#### Variante 1

- Erhaltung des grossen Bauvolumens des Schalthauses als scheinbares Gegengewicht zum wertvollsten Gebäude der Anlage, dem Maschinenhaus mit Turm
- Abbruch aller ungenutzten Gebäude
- grosses ungenutztes Bauvolumen
- ungeeignete Gebäudestruktur des Schalthauses für den Umbau in ein Büro- und Werkhofgebäude
- sehr hohe Umbaukosten

#### Variante 2

- räumliche Bedürfnisse äusserst knapp erfüllt
- weitreichende Änderungen nötig im Bereich der Fassaden gestaltung und des statischen Konzeptes
- keine optimale Arbeitsplatzgestaltung
- baulicher Ausdruck des Gebäudes entscheidend verändert

#### Variante 3

- optimale Erfüllung der Bedürfnisse bezüglich Raumprogramm und Betriebsabläufe
- heutige Anforderungen an die Gebäudetechnik optimal erfüllt

- Beschränkung auf das notwendige Gebäudevolumen
- ermöglicht freie Umgebungsgestaltung, schafft Platz für allfällig weitere Nutzungen des Areals

Es zeigte sich sehr bald, dass die Variante 3 – Neubau – weitaus am meisten Vorteile bietet, und als einzige weiterverfolgt werden sollte (Bild 9-2).

#### *Abklärungen bei den Behörden und der Denkmalpflege*

Da Veränderungen auf dem Kraftwerksareal durch die Konzessionsbehörde genehmigt werden müssen, wurde die Studie der Göhner Merkur AG mit dem Votum, die Neubau-Variante 3 zu realisieren, auf schweizerischer Seite dem Bundesamt für Wasserwirtschaft und auf deutscher Seite der Abteilung Wasserstrassen des Regierungspräsidiums Freiburg vorgestellt. Beide Behörden schlossen sich diesen Überlegungen an und sicherten dem Kraftwerk Laufenburg die Unterstützung bei der Realisierung der Variante 3 zu. Auch die kantonale und die kommunale Ebene zeigte volles Verständnis für die beabsichtigte Realisation der Variante 3. Speziell zu erwähnen ist, dass auch die aargauische Denkmalpflege gegen das Bauvorhaben nichts einzuwenden hatte und sich volumänglich damit einverstanden erklärte.

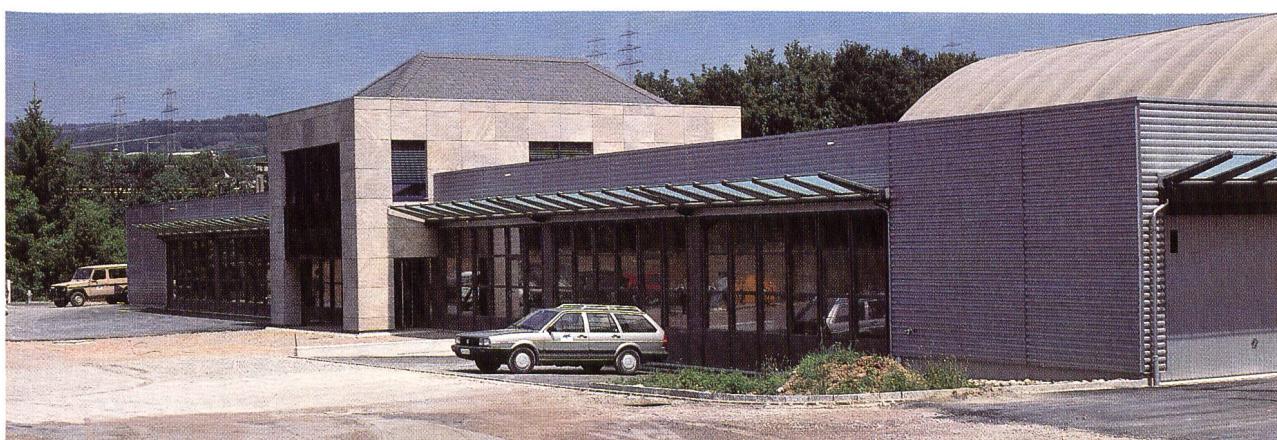


Bild 9-4. Architektonisch dem Bürogebäude angepasst, jedoch auf die zweckbestimmenden betrieblichen Funktionen ausgerichtet, stellt sich der neue Werkhof dar.

## 9.2 Projektbeschreibung

### Allgemeines

Das aus Bürogebäude und Werkhof bestehende Neubauprojekt wurde von der Göhner Merkur AG, Aarau, als Totalunternehmer innerhalb von dreizehn Monaten realisiert. Die architektonische Gesamtkonzeption lehnt sich in ihren Wesenszügen an das Rheinkraftwerk an. Bürogebäude und «Turm» des Werkhofs sind dabei dem historischen Vorbild nachempfunden. Sie wurden als prägnante, jedoch schlichte Kuben gestaltet und in Skelettbauweise konstruiert. Beide Gebäude sind optimal wärmegedämmt und werden über eine Wärmepumpenanlage beheizt.

Für die Anordnung der beiden Werkbauten waren neben der Optimierung der Arbeitsabläufe vor allem auch landschaftsgestalterische Gesichtspunkte bestimmend. Erschliessungswege und Parkplätze sind so angelegt, dass grossflächige Grünanlagen entstehen konnten.

### Bürogebäude

Durch seine leicht erhöhte Lage in unmittelbarer Nähe der Zufahrtsstrasse zum Werksareal bietet das Bürogebäude für den Besucher zwar den ersten Blickkontakt, ohne jedoch den Gesamteindruck der Kraftwerksanlage zu dominieren (Bild 9-3).

Die Büoräume sind winkelförmig um einen grossflächig verglasten Treppenturm angeordnet, der dem Betrachter des Neubaues zusammen mit den übrigen verglasten Fassadenflächen den Charakter eines Kristalls vermittelt. Über dem Treppenturm und den beiden Flügeln des Bürotraktes thront je ein leicht zurückgesetztes, zeltförmiges Dach. Mit dieser Dachform wurde bewusst versucht, eine Affinität zum Turm des Kraftwerksgebäudes zu erreichen.

Die Büros sind mit ihren Fenstern ausschliesslich nach Nordwest/Nordost orientiert und dadurch der direkten Sonneneinstrahlung entzogen.

Die Fassade des Gebäudes erscheint in ihrer Gesamtwirkung sehr einheitlich, vor allem wegen der Verwendung von lediglich drei Materialien. Es sind dies: Naturstein, das heisst Platten aus Kirchheimer Muschelkalk, Glas sowohl bei den Fenstern als auch bei den Brüstungen sowie dunkelblau einbrennlackierte Aluminiumprofile bei den Fenstern.

Das Innere des Gebäudes wird dominiert durch die sich frei im Raum um einen verglasten, feingliedrigen Liftschacht herum windende Stahltreppe.

Die Büros sind auf einem Raster von 1,30 m × 1,30 m aufgebaut, was eine flexible Dimensionierung der einzelnen Räume gewährleistet.

### Werkhof

Prägendes Merkmal des als eingeschossige Stahlhalle konzipierten Werkhofes ist der zentrisch angeordnete, zweigeschossige turmartige Mitteltrakt, für den die gleichen Materialien wie beim Bürogebäude verwendet wurden. Die flachen Seitentrakte des 63,00 m langen und 14,80 m breiten Gebäudes sind durch anthrazitfarbige Torfronten und silberfarbige Trapezblechverkleidungen gekennzeichnet (Bild 9-4).

Der Werkhof ist wie folgt genutzt:

**Mitteltrakt:** Heizzentrale für Werkhof und Bürogebäude, Mitarbeitergarderoben, Werkbüros, Aufenthaltsraum

**Seitentrakte:** Betriebslöschgruppe, Garagenbetrieb, Malerwerkstatt, Schreinerei, Autoeinstellplätze, Fahrzeugwaschanlage

## 10. Das «neue» Rheinkraftwerk: offen für die Öffentlichkeit

Thomas Zwigart

Idee und Konzept

Im Zuge des gesellschaftlichen Wertewandels hat sich auch das ökologische Bewusstsein in weiten Bereichen der Öffentlichkeit verändert. Eines der Merkmale dafür ist eine kritischere Einstellung vieler Menschen zum Thema «Energie». Dem offenkundigen Bedürfnis nach mehr Information über Energiefragen entspricht das Kraftwerk Laufenburg auch im Zuge der Arealüberbauung beim Rheinkraftwerk.

Eine besondere Bedeutung für den Dialog mit den technisch und energiewirtschaftlich interessierten Besuchern kommt dabei dem neuen Informationszentrum zu, das im ehemaligen Betriebsgebäude eingerichtet wurde. Es soll nicht nur Informationen über das Rheinkraftwerk vermitteln, sondern auch das Unternehmen insgesamt vorstellen.

Das Konzept zur Kontaktpflege zwischen Mensch und Technik wird abgerundet durch die Öffnung des Werkareals beim Rheinkraftwerk für den erholungssuchenden Spaziergänger und den naturverbundenen Wanderer.

### Werkführungen

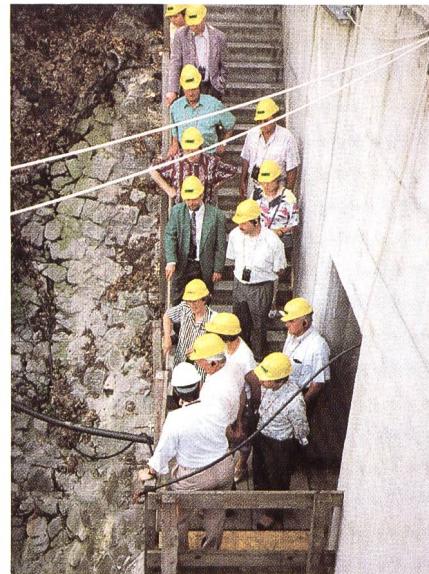
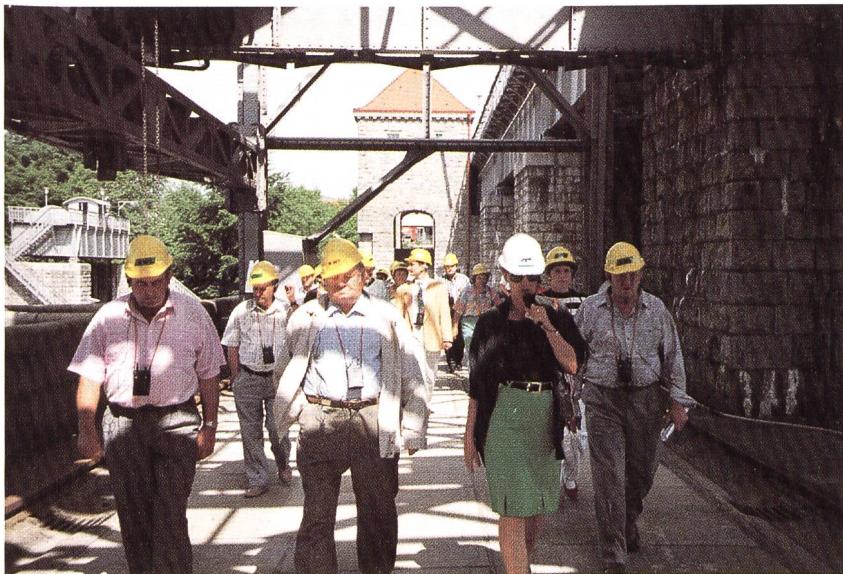
Geführte Kraftwerksbesuche sind seit vielen Jahren ein fester Bestandteil des KWL-Informationskonzepts. Das Interesse an Besichtigungen war vor allem in der Zeit des technischen Ausbaus besonders gross. Tausende wollten sich die einmalige Gelegenheit, die einzelnen Schritte des Kraftwerksausbaus «hautnah» mitzuverfolgen, nicht entgehen lassen. Allein an den «Tagen der offenen Tür» am 16./17. Juni 1990 wurden annähernd zehntausend Besucher gezählt. Bis zu 5500 Gäste pro Jahr nutzten darüber hinaus das Angebot, sich in Gruppenführungen über den Stand der Bauarbeiten zu informieren.

Eine Besichtigung beginnt mit einem kurzen Vortrag über den Kraftwerksbau von 1909 bis 1915 und dessen Vorgeschichte. Eine anschliessende Tonbildschau beleuchtet ausführlich den Umbau des Werks von der ursprünglichen Francisturbinen- zur modernen Straflo-Konzeption. Neben Fragen zum Rheinkraftwerk werden technische, energiewirtschaftliche und ökologische Themenbereiche exemplarisch angesprochen. Während des folgenden Rundgangs durch das Werk kann der Besucher die medialen und verbalen Informationen durch den persönlichen Augenschein vertiefen. Ein fachkompetentes Besucherbetreuerteam gewährleistet, dass jeder Besucher Antworten auf seine Fragen erhält.

Wenn auch das Rheinkraftwerk durch den Ausbau einiges von seinem nostalgischen Flair eingebüßt hat, so wird der Besucher dafür durch die gelungene Symbiose zwischen moderner Technik und der Architektur der Jahrhundertwende entschädigt. Es besteht kein Zweifel, dass sich Andrea, Barbara, Claudia und die sieben weiteren Straflo-Maschinengruppen auch in Zukunft eines anhaltenden Besucherinteresses erfreuen werden.

### Das Informationszentrum

Im ehemaligen Betriebsgebäude ist ein Informations- und Kommunikationszentrum für die Besucher des Rheinkraftwerks entstanden. Im Obergeschoss des umgestalteten



Bilder 10-1. Umweltfreundliche Stromerzeugung erleben: Motivation vieler Besuchergruppen aus nah und fern. Wie kommt man zu einer Führung? Tel. CH: 064/69 6279, Tel. D: 07763/81 359.

Gebäudes wurde neben dem bereits vorhandenen Vortragssaal ein Ausstellungsraum eingerichtet, in dessen Mittelpunkt die Kraftwerkstechnik steht. In Modellen werden die maschinen- und elektrotechnischen Konzepte des ursprünglichen und des heutigen Ausbaus, ergänzt durch Video- und Dia-Darstellungen, einander gegenübergestellt.

Steht die Ausstellung im Obergeschoss ganz im Zeichen des Rheinkraftwerks als fundamentale Stromerzeugungsquelle des Unternehmens, werden im Dachgeschoss Aktivitäten im Bereich der Stromverteilung und energiespezifischer Dienstleistungen für die Stromkunden des Kraftwerks Laufenburg präsentiert. Speziell wird auf die Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien und auf die rationelle Energieanwendung eingegangen.

Durch die klare Strukturierung von Exponaten und bildhaften Darstellungen ist in beiden Themenbereichen ein guter Überblick über die jeweils interessierende Materie gewährleistet. Zudem tragen verständliche Erklärungen dazu bei, dass jeder Besucher seinen persönlichen Informationsbedarf decken kann.

#### *Wandern durch das Kraftwerksareal*

Nicht nur dem informationsbedürftigen Besucher, sondern auch dem beschaulichen Wanderer bietet sich jetzt am Schweizer Ufer eine neue Perspektive: Die «Hochrheinroute», ein Wanderweg von nationaler Bedeutung, führt jetzt direkt durch das Kraftwerksareal.

Die Route beginnt in Birsfelden und verläuft längs des Hochrheins über Schaffhausen bis nach Rorschach am Bodensee. Im Bereich Laufenburg führt der von Westen kommende Weg durch den prächtigen Hardwald und erreicht schliesslich das Rheinkraftwerk. Durch die Öffnung des Werksgeländes muss der Wanderer nicht mehr zur Rheintalstrasse aufsteigen, sondern hat jetzt die Möglichkeit, direkt das Kraftwerksareal zu durchqueren.

Von der Unterwasserseite herkommend, bietet sich dem Wanderer das eindrucksvolle Bild des imposanten Rheinkraftwerks und vielleicht auch brodelnder Wassermassen unterhalb der Wehröffnungen. Ebenso dürften die Rechenreinigungsanlage und die Fischtreppe auf der Oberwasserseite zu einem kurzen Verweilen einladen, bevor man an Verwaltungsgebäude und Werkhof vorbei dem malerischen Städtchen Laufenburg entgegenstrebt.



KRAFTWERK LAUFENBURG

RHEINKRAFTWERK LAUFENBURG

AUSBAU 1988 – 1994

## 11. Architektur und Gestaltung

*Erwin Rehmann*

Die ersten Industriebauten mit ihren grossen Fabrikationsräumen waren architektonisch mehr von herkömmlichen Schloss- und Klosterbauten geprägt als durch die massenproduktive Sachlichkeit ihrer Fabrikate. Man möchte sagen, sie haben eher der gesellschaftlichen Stellung der meist vom Adel herkommenden Unternehmer entsprochen. Und im von der Aufklärung bestimmten 19. Jahrhundert, da die individuelle Handarbeit immer mehr durch Technik und Maschinen ersetzt wurde und sich der rational naturwissenschaftliche Geist über jeden ästhetischen Stil erhaben wähnte, verfügte man nach freier Wahl über jede Stilepoche, über die Renaissance in klassizistischer, über den Barock in neobarocker und über die Gotik in neugotischer Art. Selbst das neue Baumaterial Eisen und Glas der 1870er Jahre, welches zwar riesige Hallenbauten ermöglichte, mit denen man ganze Kleinstädte hätte überdecken können, führte zu keiner eigenen Stilform.

Erst nach 1890 rissen sich die führenden Künstler Englands, Hollands, Frankreichs, Deutschlands und Österreichs von diesem historisierenden Nachahmen los, um die neue technische Welt mit neuer kreativ-künstlerischer Phantasie und naturdynamischer Gestaltungskraft zu füllen (*van Gogh, Gauguin, Munch, Hodler*). Auch das Kunstgewerbe und die Architektur zogen mit, um so als umfassendes Gesamtkunstwerk das Leben als Einheit zu begreifen. In Frankreich nannte man die neue Strömung «Art Nouveau», in England «Modern Style», in Österreich «Sezessionsstil» und in Deutschland – nach der 1896 in München gegründeten Kunstzeitschrift «Jugend» – «Jugendstil».

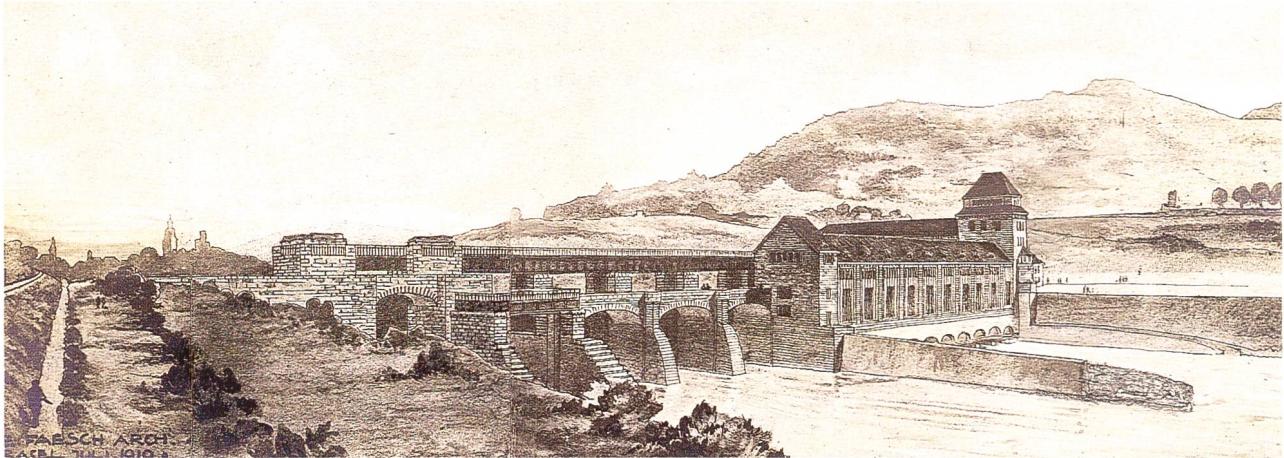


Bild 11-1. Im Rheinkraftwerk Laufenburg wird die Baukultur der Jahrhundertwende markant dokumentiert (Zeichnung von E. Faesch, Basel, 1910).

In dieser Zeit bis zum Ersten Weltkrieg wurde auch unser Kraftwerk Laufenburg gebaut. Mit der Architektur und der Bauausführung hatte man den Basler Ingenieur Heinrich Eduard Gruner betraut. Dieser nahm die neue Stilrichtung auf und bekannte sich konsequent zum neuen Grundsatz für eine materialgerechte kubische Form und zur Betonung der Vertikalen mit dazwischen zart gebogener Ornamentik (Bild 11-1). So akzentuierte er das rheinüberquerende Wehr und Maschinenhaus mit einem dominanten Büroturm linksrheinisch, mit zwei Turmbauten für die Schiffsschleuse rechtsrheinisch und die Mitte mit einer feineren turmartigen Überhöhung. Während der liegende Baukörper mit einem groben Besenwurf verputzt wurde, zeigen sich die Türme als Sichtmauerwerk aus roh geschlagenen Gneissquadern. Mit demselben Gestein, auf dem ja auch das Städtchen Laufenburg überall sichtbar steht, zog er eine neue beidseitige Uferverbauung rheinaufwärts bis zum Andelsbach und über den Giessen hinaus. Damit integrierte Gruner das Bauwerk in die bestehende Landschaft und vermittelte dieser in grossräumiger Art einen modernen technischen Charakter. Kam dazu das strahlenförmige Leitungsnetz, das in die nähere Region schweizerseits und badischerseits weit ins Land führte. Örtlich gab es ein Anschlussgleis zur Schweizerischen Bundesbahn, der unmittelbar oberhalb des Maschinenhauses als fein geschwungene Linie vorgezogene Rechen, der auf der Unterwasserseite am Büroturm halbrund hochgeführte Treppenrisalit und die hellgranierten Fenstereinfassungen dem kraftvollen Gebilde eine ornamentale Leichtigkeit (Bild 11-2). Zu diesem Hauptbau kamen im gleichen Stil ein Schalthaus, eine Werkstatt, ein Portierhaus, beidseits des Rheins je zwei Direktorenvillen und in Verbindung zur damaligen Freiluft-Transformatorstation beim Galgenrain zwei Chefangestellten-Wohnhäuser. Alles in allem eine markante Dokumentation zur Kultur der Jahrhundertwende.

In Anerkennung seiner Bedeutung liess man beim 1988 begonnenen Ausbau das äussere Erscheinungsbild des Kraftwerk-Hauptbaues praktisch unangetastet. Nur das Innere, vor allem die mächtige Maschinenhalle, musste einem neuen Konzept weichen. Sie hatte nun nicht mehr die Generatoren, sondern die Funktionen von Schalthaus, Kommandoraum und Werkstätten zu übernehmen. Zu diesem Zwecke wurde sie in fünf Geschosse unterteilt, die mit zwei Treppenhäusern und einer Liftanlage vertikal verbunden sind. Um für dieses vielschichtige komplizierte Innenwesen eine vereinfacht ablesbare Orientierung zu erhalten, unterwarf man es einem vereinfachenden Farbkonzept,

das jedem Stockwerk eine Hauptfarbe zuordnet. Dies in der Abfolge der natürlichen Regenbogenskala rot – orange – gelb – grün – blau – violett.

Die rote Farbe steht für das 3. Untergeschoss der kraftbildenden Turbinen. Orange und gelb folgen für die beiden darüberliegenden Geschosse der Trafo- und Schaltanlagen. Dann grün für das Erdgeschoss auf dem Niveau des Oberwassers mit Eingang, Kommandoraum, Garderoben, Wasch- und Toilettenräumen und mechanischer Werkstatt. Blau für das erste Obergeschoss mit Elektrowerkstätten, Magazinen und dem Aufenthaltsraum. Und violett zuoberst im Dachraum mit den Lüftungsanlagen.

Grundsätzlich finden diese Hauptfarben in den Bodenbelägen, für Türzargen und als helle Tönung in den Wänden Anwendung. Die Decken sind durchwegs weiß, alle Durchgänge und Verbindungen (Türblätter, Treppenhäuser, Lift) grau gehalten. So weiß man jederzeit, auf welcher Etage man sich in diesem Vielfaltsgebäude aufhält. Diesen fünf Hauptfarben entsprechend wurden sämtliche Einrichtungen, Installationen, Maschinen, Apparate und das Mobiliar aufeinander abgestimmt. Nur Kalt- und Warmwasser-, Schmutzwasser-, Öl- und Luftleitungen wahrten unabhängig ihre symbolischen Eigenfarben.

Der Turm, der Kommandoraum, der Aufenthaltsraum und das Sanitätszimmer wurden speziell ausgestattet. Der Kommandoraum erhielt außer einer reflexfreien Rasterdeckenbeleuchtung, die zur Bildschirmüberwachung des Werkes optimale Lichtverhältnisse bringt, eine altrosa Lamellenwand zur Abdeckung der blendenden Abendsonne und ihr gegenüber eine raumbreite Panoramafarbaufnahme unserer Alpenwelt als Einzugsgebiet der hier genutzten Meteorwasser.

Der Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss ist durch eine diagonal herabhängende Lamellendecke, durch eine gelbliche Sichtbacksteinwand und eine blaue Getränkeausgabe charakterisiert. Punktbeleuchtung, Kombinationstische, Stühle, Textilien und die herrliche Aussicht auf das Unterwasser und die Rheinlandschaft tragen zur erholsamen Stimmung bei.

Der Büroturm ist nicht mehr Sitz der Direktion, sondern der technischen Betriebsleitung zur Verfügung gestellt. Er erhielt neu einen grossen Portaleingang und einen bis zum obersten Turmzimmer führenden Lift. Farblich wurden sämtliche Etagen als vertikale Einheit betrachtet und deshalb allen Fenstern, Deckenleisten, Türzargen und Treppengeländern die Farbe Blau zugeordnet. Das Dachzimmer als Konferenzraum mit einzigartiger Rundsicht hat eine an-

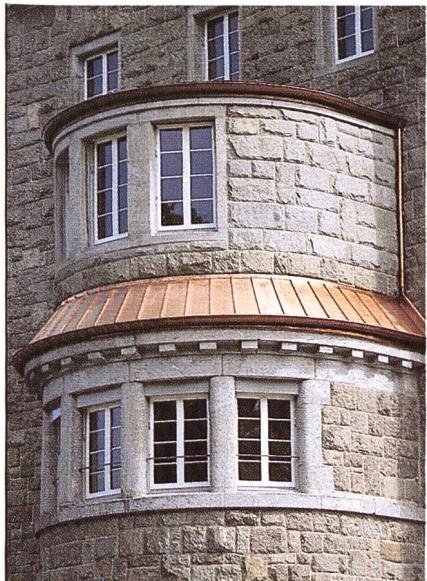


Bild 11-2. Ein interessantes architektonisches Detail am Turm des Rheinkraftwerks: der halbrunde Treppenrisalit auf der Unterwasseseite mit den hellgranitenen Fenstereinfassungen.



Bild 11-3. Die vom Kraftwerk auf das Bürogebäude übertragene Turmidee wird noch durch die eingezogenen Zeltdächer wachgehalten.

spruchsvollere Deckengestaltung mit sensiblen Blautönen und reicherer Deckenbeleuchtung erfahren.

Vom gesamten Farbspiel der Innenräume tritt nur das Grün der Eingangstore ins Freie. Hier findet es seine Fortsetzung für die zehn neuen Turbinenblätter und die Sicherheitsabschrankungen. Komplementär dazu verhält sich das tiefe Karminrot der neuen 100-Tonnen-Kranbahn über Turbinen- und Dammtafeltrakt. Ansonsten hat sich das äussere Erscheinungsbild farblich nicht verändert, das Sichtmauerwerk des Turmes wurde nur gereinigt, der beige Verputz erneuert, deren Lisenen und die zusätzlichen Schützenpfeiler braungrau ergänzt.

Eine ganz wesentliche Veränderung hat aber die übrige Schäffigen-Überbauung erfahren. An die Stelle der vielen, das gesamte Areal beanspruchenden Baukörper für Trafo- und Schaltanlagen, Werkstätten, Garagen, Feuerwehr und Portierwohnung sind ein neues Bürogebäude und ein neuer Werkhof getreten. Für sie und die neue Umgebungsgestaltung zeichnen die Architekten des Totalunternehmens Göhner Merkur AG. Ihre architektonisch klare Formsprache von kubistisch-konstruktivistischem Erbe mit Beton, Metall und Glas strebt auf ein neues, postmodernes Integrationsverständnis zu. Obschon vom historischen Bauwerk weggerückt und in einem ganz anderen Stil, sind es keine fremden Solitärbauten geworden. Viele Elemente aus dem architektonischen Konzept des Hauptgebäudes sind übernommen: so das Quadrat aus dem Grundriss der Wehr- und Maschinenhaustürme, die Turmidee als Vertikalgliederung, die Turm-Zeltdächer, der langgestreckte Horizontaltrakt für den Werkhof und das Rotbraun des Gneismauerwerkes für die Natursteinfassaden (Bild 11-3).

Doch ist alles zu einer neuen Einheit gebracht: die Grundrissquadrate diagonal ineinander verschachtelt, so dass aus drei Türmen ein ruhender Kubus entstand, bei dem nur noch die drei eingezogenen Zeltdächer die Turmidee wachhalten. Neu ist dessen kristallartige Transparenz. Den Tag über fliessen grossflächig vor allem das natürliche Licht und die grüne Umgebung ins Gebäude hinein und verbinden so das Äussere mit dem Inneren. Bei Dämmerung und nachts strahlt das helle Innere nach aussen, und der durchs ganze Gebäude hochziehende Liftbau mit seinen vier Kantenlichtbändern betont wiederum die Vertikale.

Nicht als provokative Demonstration einer neuen Hierarchie, sondern als Integration in die örtlich gegebene Situation. Auch mit dem satten Blau der Fensterraster entsteht ein Dreiklang zum dunklen Grün und Karminrot beim Maschinenhaus.

Wenn der Werkhof mit seiner bescheideneren turmartigen Mitte und seinen anthrazitfarbenen Seitenflügeln auch namhaft zurücktritt, setzt er doch einen wichtigen baukubischen Stützpunkt zum grossräumigen Spannungsgefüge über das weite, freigewordene Ufergelände hinweg.

Einzig das 1977 errichtete Betriebsgebäude mit dem Saal und dem neuen Informationszentrum steht mit seinem äusseren Kleid da, als gehöre es nicht dazu. Doch mit geringem Aufwand wäre es jederzeit ins Ganze einzubeziehen.

Abschliessend sei auf die neue Umgebungsgestaltung hingewiesen. Bislang war das ganze Kraftwerksareal aus Sicherheitsgründen in sich abgeschlossen und für Unbefugte verboten. Heute ist es offenes Gelände, und der öffentliche Wanderweg führt nun dem Ufer entlang und mittendurch. Eine weite natürliche Landschaft ist erlebbar geworden. Magerwiesen und locker hineingesetzte Bäume und Sträucher ergänzen grosszügig die vor Jahren rheinaufwärts entstandenen Anlagen für den Tennisport, ein Erholungshain mit olympisch-idyllischer Atmosphäre.

Heute dürfen wohl alle an diesem Werk Beteiligten neben der technischen und wirtschaftlichen Leistung auch eine berechtigte Genugtuung spüren, zusätzlich einen echten architektonischen Kulturbau geleistet zu haben.

## 12. Das Rheinkraftwerk und die Landschaft

Jürg Breitenstein

Natur und Technik müssen nicht zwangsläufig unvereinbare Gegensätze darstellen. Es entspricht dem Leitbild des Unternehmens, auch den ökologischen Erfordernissen der Zeit gerecht zu werden und Natur- und Landschaftsschutz zu praktizieren. Dies betrifft nicht nur den aktuellen Kraftwerksausbau, sondern auch die Fürsorge für die zum Betreiben des Werks in Anspruch genommene Landschaft.

So wurde mit der aufwendigen Neukonzeption der Energieableitung des Rheinkraftwerks die Entlastung der umgebenden Landschaft um über 30 Kilometer Hoch- und Mittelspannungsfreileitungen erreicht!

Eine Daueraufgabe für den Natur- und Landschaftsschutz stellt der Unterhalt der Rheinufer dar, der mit den neuen Konzessionen eine erweiterte Dimension erfahren hat.

### Uferunterhalt im Spannungsfeld der Interessen

In unseren dichtbesiedelten Breiten steht ein Flusskraftwerk wie das Rheinkraftwerk Laufenburg in einem sensiblen Umfeld, dass von dem Beziehungsdiagramm *Behörden – Betreiber – Öffentlichkeit* geprägt ist. Dies gilt besonders auch für den Uferunterhalt.

Die *Behörden*, das heißt die Konzessionsgeber, sind Entscheidungsträger für die im Rahmen der Konzession und der geltenden Gesetze durchzuführenden Bau- und Unterhaltsmassnahmen.

Der *Betreiber* ist aufgrund der Konzession zur Durchführung der behördlich verfügten Massnahmen verpflichtet. Er hat in der Regel auch die Kosten zu tragen.

Die Öffentlichkeit verbindet sehr unterschiedliche, zum Teil sogar gegensätzliche Anliegen mit dem Betrieb eines Kraftwerks. Die Koordination der Interessen von Anwohnern, Fischer, Wassersportlern, Naturschützern usw. ist dabei eine schwer lösbare Aufgabe.

Diese Konstellation führt nicht selten dazu, dass das Kraftwerksunternehmen bei der Ausführung einer behördlich angeordneten Massnahme in den Brennpunkt des öffentlichen Interesses gerückt und gegen seinen Willen in die politische Diskussion einbezogen wird.

### Uferbaumassnahmen

Der Kraftwerksbetreiber ist grundsätzlich verpflichtet, den baulichen Unterhalt des Flussbettes und der Uferböschungen im Bereich der Konzessionsstrecke wahrzunehmen.

Das KWL unterhält demnach den Rheinabschnitt zwischen der Albmündung unterhalb Albrück-Dögern und der Mündung des Kaistenbachs (CH) auf einer Länge von etwa 9 km (Bild 12-1).

Im Rahmen der Konzessionserneuerungen und des Baubewilligungsverfahrens für den Ausbau des Kraftwerks wurden alle betroffenen Behörden miteinbezogen:

Die Landesregierung Baden-Württemberg, das Regierungspräsidium Freiburg i. Br., die Eidgenossenschaft, der Kanton Aargau und die grenzübergreifende Hochrheinkommission. Im weiteren wurden von den Behörden interessierte Verbände, Organisationen und die Öffentlichkeit angehört. Sie alle haben dadurch die Möglichkeit erhalten, Wünsche und Anregungen zur Verbesserung oder Umgestaltung des Stauraumes anzubringen.

Das Verfahren mündete in einem Massnahmenkatalog, der klar umschriebene, umstritten notwendige Forderungen an den Stauraum umfasste, die dem Konzessionsnehmer als Konzessionsbedingung auferlegt wurden.

### Beispiel Fischpassverlängerung

Der Schweizer Fischpass zählte nach dem Bau des Kraftwerks 1914 zu den optimal funktionierenden Anlagen. Die periodischen Fischzählungen zeigten jedoch, dass in den darauffolgenden Jahren die Anzahl Aufstiege leicht rück-

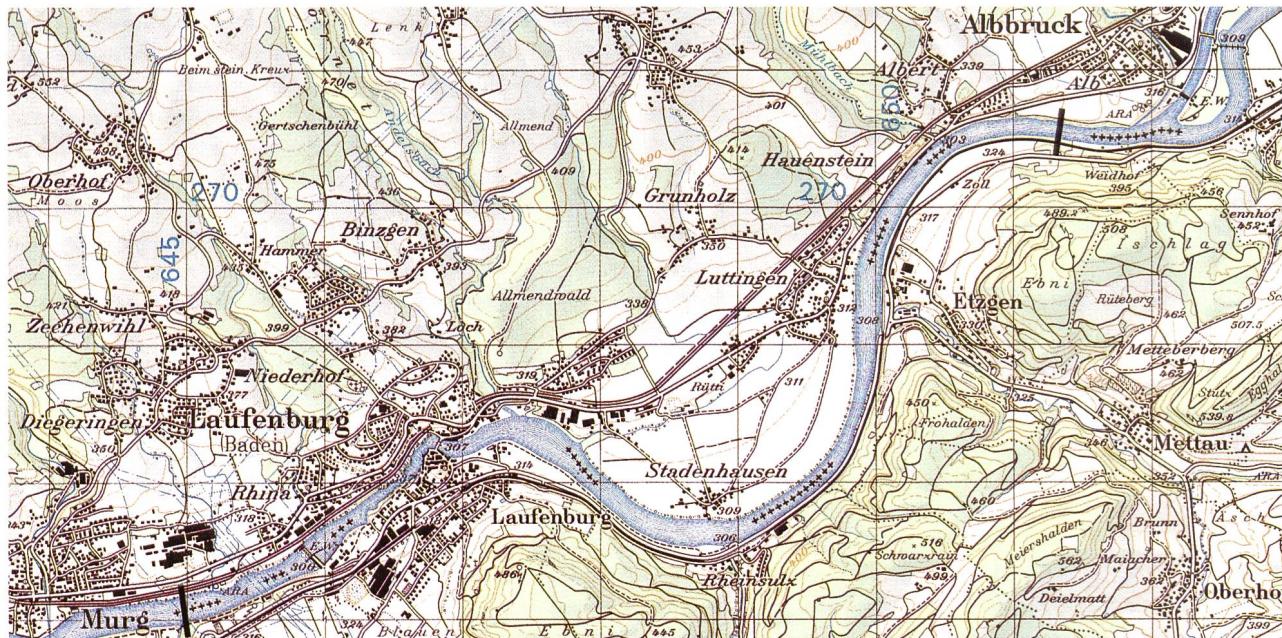


Bild 12-1. Rund 18 km beträgt die Länge der Ufer, für deren Unterhalt das Kraftwerk Laufenburg konzessionsgemäß verpflichtet ist. Die Unterhaltsgrenzen sind in der Karte 1:50 000 eingetragen (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 20. 7. 1994).

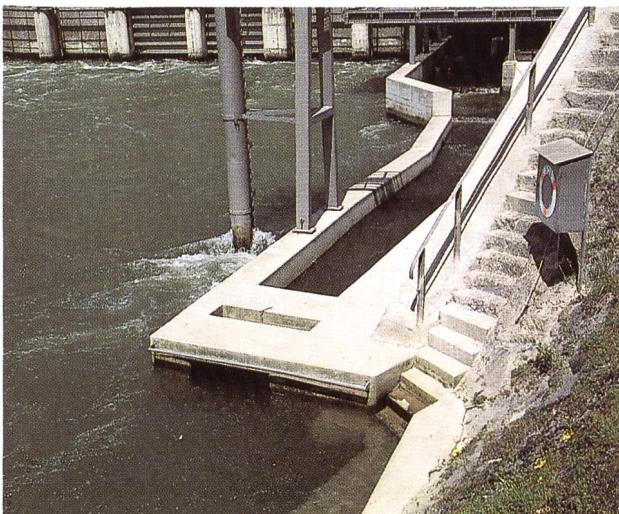


Bild 12-2. Der Fischpass am Schweizer Ufer wurde im Zuge der Ausbaurbeiten den geänderten Abströmungsverhältnissen beim Rheinkraftwerk angepasst und nach den neuesten Erkenntnissen umgestaltet.

gängig war, was vermutlich auf den Bau weiterer Kraftwerksstufen im Rhein unterhalb von Laufenburg zurückzuführen sein dürfte. Eine wesentliche Abnahme des Fischdurchsatzes wurde dann nach dem Bau des Kraftwerks Säckingen festgestellt. Grund hierfür war vermutlich die Tatsache, dass seither das Unterwasser des Kraftwerks Laufenburg eingestaut wurde, wodurch die Strömung vor und im Einstieg des Fischpasses nicht mehr optimal definiert war, so dass die Fische die nötige Lockströmung nicht mehr vorfanden. Auch eine Verlegung des Fischpass-einstieges brachte keine Erfolge. Die Tatsache, dass durch den Bau der Kraftwerke am Rhein vermehrt nahezu stehende Gewässerabschnitte entstanden sind, führte zur natürlichen Verminderung der strömungsliebenden Fischarten, was ein weiterer Grund für die Abnahme der Fischwanderungen sein dürfte.

Entsprechend den Konzessionsbedingungen und Weisungen der Behörden hat das Kraftwerk Laufenburg in Zusammenarbeit mit Fischereibehörde und Fischereiexperten den bestehenden Fischpass im Unterwasser verlängert und die Höhenabstufung der Becken den neuen Wasserspiegelverhältnissen angepasst (Bild 12-2).

Auf der Grundlage von Strömungsuntersuchungen beim Fischpasseinstieg im Unterwasser wurde für die geänderten Strömungsverhältnisse, hervorgerufen durch die neuen Maschinen und die Baggerung im Unterwasser, eine gute Lockströmung realisiert.

Die Baumassnahme war auf den Ausbau des Rheinkraftwerks zurückzuführen. Die Kosten hierfür wurden dementsprechend vom KWL allein getragen.

Die meisten Forderungen, die im Rahmen der Neukonzen-sion an das KWL gestellt wurden, waren mehr qualitativ als quantitativ definiert; hier galt es, vorerst die Bedürfnisse festzuhalten, um dann Projektstudien zu betreiben und Lösungsvarianten auszuarbeiten, die möglichst für alle interessierten Parteien akzeptabel sind.

Wie die nachfolgenden Beispiele zeigen, stellt diese Aufgabe oft eine Gratwanderung zwischen den verschiedenen Ansichten dar.

#### Beispiel Uferschutz/Tierschutz

Innerhalb seines Konzessionsgebietes hat der Kraftwerksbetreiber die Aufgabe, die Ufer zu erhalten, den Hochwas-

serabfluss jederzeit zu gewährleisten und Massnahmen zum Hochwasserschutz der Ufer zu treffen. Unter Berücksichtigung der variierenden Wasserstände ist dieser Hochwasserschutz am sichersten durch wasserbauliche Massnahmen, wie Uferböschungssteine, Betonverbau usw., erreichbar.

Im Unterwasser des KWL wurde die linke Uferböschung, die in früheren Jahren mehrere Male eingebrochen war, mit Quadersteinen gesichert. Im Laufe der Zeit sind die Fugen zwischen den Steinen ausgewaschen worden und kleinere Partien ausgebrochen. Im Rahmen der laufenden Unterhaltsarbeiten sollte auch diese Böschung ausgebessert und neu verfügt werden.

Tierschutzkreise und auch die Behörden haben gegen diese Massnahmen Einspruch erhoben. Aus der Sicht der Tierschützer sind offene Fugen und Uferabbruchstellen kein Makel, sondern Lebensraum für Vögel und andere Tiere, der nicht verlorengehen darf. Ein möglicher Kompromiss besteht nun darin, dass nur der stark beanspruchte untere Teil der Böschung ausgebessert und der obere Teil belassen wird.

#### Beispiel Uferstabilität/Renaturierung

Innerhalb des Staugebietes sind beim Bau des Kraftwerks umfangreiche Uferstabilisierungen verschiedenster Konstruktionen nötig gewesen, die dauernd unterhalten und verbessert worden sind.

Im Rahmen des heutigen ganzheitlichen Umweltdenkens ist vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft eine Studie in Auftrag gegeben worden, die das ökologische Gesamtkonzept des Hochrheins (Schweizer Seite) überprüfen und Massnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von natürlichen Lebensräumen aufzeigen soll. Der Bericht (Ausgabe März 1992) sieht im Stauraum des KWL drei mögliche Projekte vor, die alle grössere Baumassnahmen und wesentliche Kosten verursachen würden. Zwei davon sind in Uferzonen, die vom Kraftwerk entsprechend den Forderungen in den Konzessionen stabil gestaltet worden sind. Die Realisation dieser beiden Projekte würde die Stabilität dieser Ufer sehr in Frage stellen und zu vermehrten Unterhaltsarbeiten führen.

#### Beispiel Wassersport/natürliche Ufer

«Am linken Ufer ist vom Kraftwerksunternehmen für die Kleinschiffahrt eine Übersetzstelle nach Weisung der Behörden zu erstellen und zu unterhalten.»

Es liegt einerseits im Interesse des KWL, diese bereits lange bestehende Übersetzstelle möglichst benutzerfreundlich zu gestalten, um an arbeitsfreien Tagen möglichst wenig Personal zur Transportbeihilfe bereitstellen zu müssen. Andererseits erhalten aber die Wassersportaktivitäten mit jeder Vereinfachung und Verbesserung des Bootstransportsystems zusätzliche Anreize. Der Bootsverkehr nimmt somit zu. Der dadurch entstehende Wellengang erodiert die Ufer. Die dafür nötige Verbauung und Befestigung des Ufers steht direkt im Gegensatz zu einer natürlichen Wasserlinie.

#### Beispiel Schiffahrt/Naturschutz

Die Konzessionen verpflichten das Kraftwerksunternehmen zusätzlich zur Übersetzstelle auch zum Betrieb und Unterhalt einer Schiffsschleuse. Mit der Heraufsetzung des Ausbaudurchflusses wurde auch die obere Betriebsgrenze der Schleuse von  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$  angehoben, wodurch sich die Nutzungsmöglichkeit der Schleuse um rund 30 Tage im Jahr erhöht. Um beim erhöhten Abfluss die unterwasserseitige Einfahrt in die Schleuse dennoch sicher zu gestalten, muss-



Bild 12-3. Neu gestaltete Mündungszone des Andelsbaches in Laufenburg/Baden.

te am Ufer eine 40 m lange Leitwand erstellt werden. Diese Mauer ist aus der Sicht des Naturschutzes nicht erwünscht und trägt auch nicht gerade zur Verschönerung des Ufers bei. Sie ermöglicht aber einem lokalen Bootsunternehmen, das Angebot von Touristikfahrten zu erweitern.

#### Behörden entscheiden

Wie eingangs aufgezeigt, hat der Kraftwerksbetreiber auch öffentliche Belange zu berücksichtigen und entsprechende Anregungen näher zu beurteilen.

Seine Mitarbeit ist sinnvoll, weil er als Konzessionsnehmer in solche Projekte direkt involviert ist und über die Fachkompetenz verfügt, die für eine sachliche Beurteilung nötig ist. Er kann in den meisten Fällen darlegen, unter welchen Bedingungen beispielsweise Überschwemmungszo- nen möglich sind, an welchen Stellen Fischbuhnen erstellt werden können und wo biologische Uferbepflanzungen aus wasserbaulicher Sicht realisiert werden können.

Es ist aufgrund der Konzession die Aufgabe der Behörde, wie auch an den beiden folgenden Beispielen deutlich wird, die Aspekte eines Projektes zu gewichten, mit dem politischen Umfeld abzuwegen und letztlich auch die finanzielle Machbarkeit abzuklären.

**Beispiel Sanierung Mündung Andelsbach/Katzengraben**  
Die zur Zeit des Kraftwerksbaus künstlich angelegte Mündung des Andelsbaches wurde nach damaliger Philosophie unter einem Winkel von 135° gegen die Rheinströmung ge-

baut. Als Konsequenz musste die Mündung periodisch ausgebaggert werden, um eine gute Abflusssituation zu erhalten. Nach dem Bau einer Abwasser-Sammelleitung in diesem Bereich kamen die Behörden, die Stadt Laufenburg und das KWL überein, diese Mündungszone neu zu gestalten. Die Stadt hatte dabei den Wunsch, die Andelsbachmündung besser in die anschliessende Parkanlage zu integrieren (Bild 12-3).

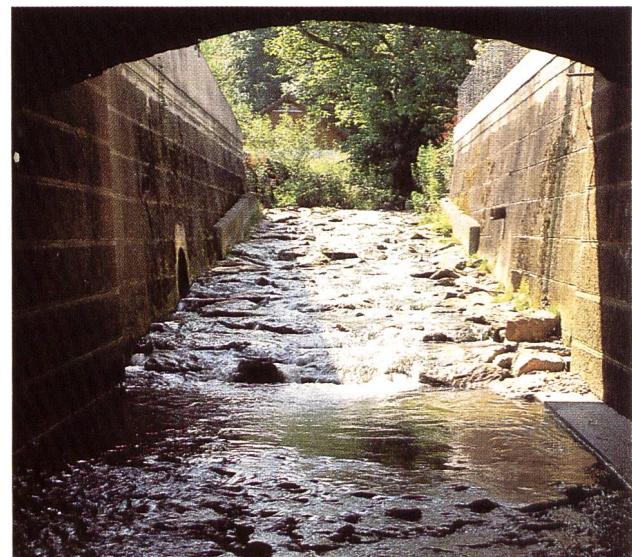
Das KWL seinerseits wollte die Mündung so anlegen, dass in Zukunft auf periodische Baggerungen verzichtet werden kann. Es gab daher eine Projektstudie zur Sanierung der Andelsbachmündung in Auftrag, wobei die Wünsche und Forderungen der interessierten Instanzen zu berücksichtigen waren. Insbesondere wurde im Projekt der Mündungswinkel in Strömungsrichtung gedreht und die frühere Kanalzone neu als Feuchtbiotop gestaltet. Das genehmigte Projekt wurde auf Kosten des KWL ausgeführt. Die Nutzung dieses Biotops und der Unterhalt dieser Zone geht aufgrund eines privatrechtlichen Vertrages künftig an die Stadt Laufenburg/Baden über.

#### Beispiel Fischaufstieg Rheinsulz

Im Zusammenhang mit dem Ausbauprojekt für das Kraftwerk forderten die Behörden, den bestehenden Wassersturz an der Sulzerbach-Mündung durch einen Fischaufstieg zu ersetzen. Der bestehende Wasserabsturz musste durch das KWL in den 60er Jahren erstellt werden und hatte nach der damaligen Auffassung die Funktion, den Einfluss des Rheins in das Seitengewässer zu vermindern.

Neuere Erkenntnisse gehen nun davon aus, dass solche Seitenbäche ideale Laichplätze für Fische darstellen und somit zugänglich gemacht werden müssen. Die Sanierung konnte in diesem Fall im Zusammenhang mit einem Straßenbauprojekt realisiert werden, so dass das KWL die Kosten nur zu einem Teil zu tragen hatte (Bilder 12-4).

Generell muss festgehalten werden, dass eine Konzession einen Vertrag darstellt, der nicht alles konkret regelt, sondern in einigen Bereichen auslegungsfähig ist. Daher müssen für Projekte, wie die beiden vorgenannten, einvernehmliche Lösungen gefunden werden. Das KWL hat sich berechtigten Wünschen und Forderungen nicht verschlossen und auch ausserordentliche, im öffentlichen Interesse liegende Natur- und Landschaftsschutzmassnahmen grosszügig mitfinanziert.



Bilder 12-4. Ersatz des vor 30 Jahren errichteten Wassersturzes (links) an der Sulzerbach-Mündung durch einen Fischaufstieg (rechts).

# 13. Beteiligte Unternehmen

## Bauherr

Kraftwerk Laufenburg, CH-4335 Laufenburg

## 13.1 Ausbau Rheinkraftwerk

### Projektierung und Bauleitung

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, CH-8034 Zürich

### Bauarbeiten

Ankaba AG, CH-8305 Dietlikon (Ankerschienen und JBW-Anschlüsse)

ARGE Grund und Tiefbau AG + Erne AG, CH-4011 Basel (Kabelstollen)

ARGE RKW Laufenburg, CH-4335 Laufenburg (Rohbau)

Aschwanden Aarau AG, CH-5000 Aarau (Bedachungsarbeiten)

Betonal GmbH, D-86420 Dierdorf/Hausen (Injektionsarbeiten)

Dilger Metallbau, D-79859 Schluchsee (Metallfenster)

Eisenring AG, CH-9243 Jonschwil (Brandschutztüren)

P. Erhard AG, CH-4335 Laufenburg (Verputzarbeiten)

Erne AG Bauunternehmung, CH-4335 Laufenburg (Kabelkanal, Brunnenköpfe)

Erne AG Holzbau, CH-4335 Laufenburg (Turmfenster)

Ernst & Co. AG, CH-5043 Holziken (Möblierung)

Robert Hegi + Co., CH-4349 Mettau (Elektrische Installationen)

Vinzenz Herzog, CH-5262 Frick (Plattenarbeiten)

Kaufmann AG, CH-5313 Klingnau (Malerarbeiten)

Conrad Kern AG, CH-4153 Reinach (Gerüstung, Notdach)

Klein AG, CH-5257 Hornussen (Transporte)

Gebr. Knecht AG, CH-5200 Brugg (Transporte)

Kuratle AG, CH-4335 Laufenburg (Holzlieferungen)

Lanz Oensingen AG, CH-4702 Oensingen (Doppelböden)

Hansjörg Ledermann, CH-5268 Eiken (Holzlieferungen)

LIBAG AG, CH-5033 Buchs AG (Kühlwasserleitung)

Marmi Basel GmbH, CH-4018 Basel (Natursteinarbeiten)

Marobag AG, CH-8114 Däniken (Schreinrarbeiten)

Gebrüder Meier AG, CH-5200 Brugg (Grundwasserbrunnen)

Josef Öschger, CH-4349 Oberhofen AG (Bauarbeiten)

Lothar Öschger, D-79725 Laufenburg (Unterlagsböden)

Planag, CH-4335 Laufenburg (Gerüstungen)

Reichenberger AG, CH-6038 Gisikon (Brandschutzarbeiten)

Schnetzler AG, CH-4335 Laufenburg (Stahlbauarbeiten)

W. Stäubli Ingenieur AG, CH-8075 Zürich (Taucherarbeiten)

Stahlbau Zimmermann GmbH, D-79618 Rheinfelden (Schlosserarbeiten)

Straal AG, CH-8439 Mellsdorf-Wislikofen (Korrosionsschutzarbeiten)

O. Strittmatter AG, CH-4335 Laufenburg (Sanitärarbeiten)

Teprotex AG, CH-8108 Regensdorf (Kunstharzbodenbeläge)

Terasond GmbH, D-89312 Günzburg-Deffingen (Sondierungen)

Walo Bertschinger AG, CH-8023 Zürich (Belagsarbeiten)

Adelbert Weiss, CH-4349 Rheinsulz (Spenglarbeiten)

Emil Weiss, CH-4339 Sulz (Schreinrarbeiten)

Beat Winter, CH-4335 Kaisten (Kunststoffbodenbeläge)

Wyss-Metallbau AG, CH-6014 Littau (Schallschutz Trafozellen)

Hubert Zimmermann, D-79618 Rheinfelden (Schlosserarbeiten)

### Stahlwasserbau

ARGE ZWAG AG + Buss AG, CH-5312 Döttingen (Oberwasserdammbalken)

Bieri H. AG, CH-3097 Liebefeld (Rechenreinigungsanlage)

Noell GmbH, D-Würzburg (Unterwasserdammbalken)

Schneider AG, CH-5036 Oberentfelden (Rechenanlage)

### Mechanische Ausrüstung

U. Ammann AG, CH-4900 Langenthal (Notstrom-Dieselanlage)

ARGE Sulzer-Lutema, D-Freiburg i. Br. (Klima- und Lüftungsanlage)

I. G. Brun AG, CH-6244 Nebikon (Krananlagen)

D-Krantechnik AG, CH-8306 Brüttisellen (Wehrschützenantriebe)

Gebauer AG, CH-8910 Affoltern a. Albis (Warenlift)

Hadorn & Cie., CH-3000 Bern (CO<sub>2</sub>-Brandschutzanlage)

Hydro-Progress AG Luzern, CH-4702 Oensingen (Kühlwasseranlage)

Alois Koch, CH-9050 Appenzell (Demontagearbeiten)

KSB Zürich AG, CH-8031 Zürich (Drainageanlage)

Lehmann AG, CH-4800 Zofingen (Heizungs- und Wärmepumpenanlage)

PS Förder- und Lagertechnik GmbH, D-Mannheim (100-t-Kran)

Sulzer-Escher Wyss AG, CH-8023 Zürich (Straflo-Turbinen)

Tuchschmid AG, CH-8500 Frauenfeld (Kranschienenanlage, Gruppenschacht-abdeckungen)

### Elektrische Ausrüstung

ARGE Elektroinstallationen, CH-4336 Kaisten (Elektrische Installationen)

ASEA Brown Boveri AG, CH-5401 Baden (Generatoren mit Zubehör)

BAG Turgi, CH-5300 Turgi (Beleuchtungskörper)

Brugg Kabel AG, CH-5200 Brugg (110-kV-Kabelanlage)

Cables Cortaillod SA, CH-2016 Cortaillod (110-kV-Kabel)

Camille Bauer AG, CH-5610 Wohlen (110-kV-Schaltanlage: Messinstrumente, Messwertumformer)

Cerberus AG, CH-4133 Pratteln (Brandmeldeanlagen)

Concordia Sprecher Energie GmbH, D-70794 Filderstadt (Generatorschaltanlagen)

Costronic SA, CH-1028 Préveranges (Fernbedienung 110-kV-Schaltanlage)

Frankendata, D-Erlangen-Tennenlohe (Rechneranlage)

Gutor Electronic AG, CH-5430 Wettingen (USV-Anlage)

Integra Signum AG, CH-8304 Wallisellen (110-kV-Schaltanlage: Lokalsteuerung)

Kummler + Matter AG, CH-8957 Spreitenbach (Elektrische Installationen)

Landis & Gyr AG, CH-6300 Zug (110-kV-Schaltanlage: Zähler)

Leukhardt GmbH, D-78532 Tuttlingen (Eigenbedarfsanlagen)

Rittmeyer AG, CH-6300 Zug (Wehrsteuerung)

Schweizerische Isola-Werke, CH-4226 Breitenbach (Steuerkabel 110-kV-Anlage)

Siemens-Albis AG, CH-8047 Zürich (Leittechnik, Maschinentransformatoren)

Sprecher Energie AG, CH-5036 Oberentfelden (110-kV-Schaltanlage)

Studer Draht und Kabelwerke AG, CH-4658 Däniken (SO, NS- und Steuerkabel)

## 13.2 Neubau Bürogebäude und Werkhof

### Projektierung und Bauleitung

Göhner Merkur AG, CH-5000 Aarau (Totalunternehmer)

Göhner Merkur AG, CH-8032 Zürich (Architektur, Bauphysik, Akustik)

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, CH-8034 Zürich (Bauingenieur, Planung: Elektro, Sanitär, Heizung, Lüftung)

IKB Institut für Kommunikations- und Bürotechnik, CH-3001 Bern (Planung Bürotechnik)

Hans Zehnder, dipl. Arch. ETH/SIA, CH-8152 Glattbrugg (Architektur Entwurf)

### Bauarbeiten

Abt AG, CH-4053 Basel (Bodenbeläge Kunststoff und Textil)

Aepli & Co., CH-8625 Gossau (Spezialverglasungen)

Ammann & Thürlemann AG,  
CH-9245 Oberbüren  
(Dachtragprofile)

ARGE KWL Kummel + Matter AG,  
CH-8957 Spreitenbach  
(Elektrische Installationen)

ARGE KWL Mensch AG + Erhard AG,  
CH-8037 Zurzach  
(Verputz- und spez. Gipserarbeiten)

Asshoff AG, CH-5200 Brugg  
(Malerarbeiten)

CBS AG, CH-7000 Chur  
(Fassadenbau, Sonnenschutz)

Erne AG, CH-4335 Laufenburg  
(Abbruch-, Baumeister- und Zimmerarbeiten)

Everlite AG, CH-4657 Dulliken  
(Oblichtkuppeln)

Fladag AG, CH-4142 Muttenz  
(Fassadenisolierung)

Gebauer AG, CH-8910 Affoltern a. A.  
(Aufzugsanlagen)

Thomas Gertiser, CH-4336 Kaisten  
(Steildach)

Grossmann AG, CH-8050 Zürich  
(Unterlagsböden)

V. Herzog AG, CH-5262 Frick  
(Bodenbeläge, Plattenarbeiten)

Jakem AG, CH-4333 Münchwilen  
(Stahl-Montagebau)

Klima AG, CH-4011 Basel  
(Heizungs-, Sanitär- und Lüftungs-Installation)

Largo & Wüst, CH-8702 Zollikon  
(Natursteinfassade)

LSB AG, CH-6002 Luzern  
(Mineralfaser-Deckenverkleidungen)

Marobag AG, CH-8114 Dänikon  
(Allg. Schreinerarbeiten)

R. Muri AG, CH-8805 Richterswil  
(Spez. Dichtungen und Dämmungen)

Reposit AG, CH-8403 Winterthur  
(Fugenlose Bodenbeläge)

SAKA AG, CH-5035 Unterentfelden  
(Elementwände WC)

Sanitas Trösch AG, CH-4002 Basel  
(Kücheneinrichtung)

Th. Schlatter & Co. AG, CH-9009 St. Gallen  
(Holz-Innentüren)

Schnetzler Metallbau AG, CH-4335 Laufenburg  
(Liftschachtgerüst, Metalltreppe)

W. Schoch AG, CH-4054 Basel  
(Baureinigung)

Signori Metallbau AG, CH-4310 Rheinfelden  
(Brandschiebetore)

O. Strittmatter AG, CH-4335 Laufenburg  
(Spenglerarbeiten, Blitzschutz)

Tecton AG, CH-4133 Pratteln  
(Flachdach)

R. Wirz Metallbau AG, CH-4053 Basel  
(Allg. Metallbauarbeiten)

## 14. Autoren

Erwin Rehmann, Bildhauer  
CH-4335 Laufenburg

Jürg Breitenstein, dipl. Bauingenieur HTL  
Armin Fust, Dr. sc. techn.  
Eduard Grob, Dr. jur.  
Konrad Malleis, Ingenieur  
Jürg Vontobel, Dr. sc. techn.  
Thomas Zwigart, Dipl.-Ingenieur  
Kraftwerk Laufenburg  
CH-4335 Laufenburg

Dario Cramer, dipl. Elektroingenieur HTL  
Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG  
CH-4335 Laufenburg

Gerrit Baaj, dipl. Elektroingenieur HTL  
Arnold Baumann, dipl. Bauingenieur ETH  
Hans Baur, dipl. Maschinenbauingenieur HTL  
Hans-Martin Derungs, Maschinenbauingenieur HTL  
Roland Ruoss, dipl. Bauingenieur HTL  
Hansjürg Vögeli, dipl. Bauingenieur ETH  
Ernst Wirz, dipl. Maschinenbauingenieur HTL  
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG  
CH-8834 Zürich

Jürg Emmer, dipl. Maschinenbauingenieur ETH  
Erwin Ganz, Projektleiter  
Sulzer-Escher Wyss AG  
CH-8023 Zürich

Janos Gyenge, dipl. Maschinenbauingenieur ETH  
ASEA Brown Boveri AG  
CH-5401 Baden

Remy Wipfler, Architekt  
Göhner Merkur AG  
CH-8032 Zürich

## 15. Literatur

Gründung und Bau des Kraftwerkes Laufenburg  
Akten und Notizen des bauleitenden Ingenieurs Eduard Gruner,  
Basel, 1945

Das Kraftwerk Laufenburg – Eine Pionierleistung der Technik  
Bruno Meyer, Zug, 1985

75 Jahre Kraftwerk Laufenburg  
Josef Rennhard, Konrad Malleis, 1983

Die schweizerisch-deutsche Zusammenarbeit im Bereich der  
Elektrizitätserzeugung  
Dr. Eduard Grob, «CH-D Wirtschaft» 10/1985

Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg mit Straflo-Turbinen  
«Technische Rundschau Sulzer» 3/1988

Halbzeit beim Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg  
«Bulletin SEV/VSE» 82. Jahrgang, Heft 6/1991

Ausbau und Erneuerung des Kraftwerks Laufenburg  
«wasser, energie, luft – eau, énergie, air»  
83. Jahrgang 1991, Heft 1/2

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, EWI:  
Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg  
Konzessionsprojekt 11/84 und 05/85  
Beschreibung des Bauprojekts 08/86

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der  
Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (VAW)  
Berichte Nr. 883/1-04/84, Nr. 883/2-04/87, Nr. 883/3-07/89, Nr.  
883/4-05/90, Nr. 907-10/85, Nr. 907a-08/86 und Nr. 4031-12/90

## 16. KWL-Unternehmensdaten

Versorgungsgebiet: Stand 1992/93

Fläche	1570 km <sup>2</sup>
Einwohner	300 000
Tarifkunden	63 000
Sonderkunden	650
Weiterverteiler	16

### Übertragungs- und Verteilungsanlagen

380/220/110-kV-Hochspannungsnetz	435 km *
20-kV-Mittelspannungsnetz	1441 km *
400/230-V-Niederspannungsnetz	2242 km *
(* Stromkreislänge)	
Umspannstationen	14
Schaltstationen	38
Ortsnetztransformatoren	973

### Aus dem Geschäftsjahr 1992/93

Mitarbeiter	353
Bilanzsumme in Mio Fr.	692,2
Aktienkapital in Mio Fr.	126
Elektrizitätsabgabe in Mio kWh	2600
Jahreshöchstleistung in MW	305

### Beteiligungen

Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG, CH-Laufenburg  
Kernkraftwerk Leibstadt AG, CH-Leibstadt  
Schluchseewerk AG, D-Freiburg i.Br.  
Engadiner Kraftwerke AG, CH-Zernez  
Centralschweizerische Kraftwerke AG, CH-Luzern  
Energieversorgung Südbaar GmbH, D-Blumberg  
Stadtwerke Bad Säckingen GmbH, D-Bad Säckingen