Der Neubau des Kraftwerkes Ruppoldingen

Autor(en): **Beeler, Walter / Vögtli, Hansjürg / Frei, Hans Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **94 (2002)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-939608

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

A Der Neubau des Kraftwerkes Ruppoldingen

Walter Beeler

A1 Das Projekt

A1.1 Die Ausgangslage

In den Jahren 1894 bis 1896 wurde am Aarelauf oberhalb Aarburg das Wasserkraftwerk Ruppoldingen geplant und gebaut. Das Kraftwerk (Bilder A1-1 und A1-2) mit Oberwasserkanal wurde verschiedentlich umgebaut und konnte mit den schlussendlich neun installierten Propellerturbinen 210 m^3/s Wasser verarbeiten.

Die Anlage war bei deren Inbetriebsetzung eines der grössten Wasserkraftwerke der Schweiz. Die für den Betrieb erforderliche Wasserrechtskonzession endete am 31. Dezember 1994. Angesichts des sich nähernden Endes der Konzession forderten die beiden Kantone Aargau und Solothurn die Atel auf, ihre Vorstellungen für die weitere Nutzung der Wasserkraft in Ruppoldingen darzulegen.

Colenco Power Engineering, als beauftragter Gesamtplaner, erarbeitete in einem schrittweisen Prozess Varianten mit und ohne Kraftwerk und untersuchte und bewertete diese hinsichtlich energiepolitischer, volkswirtschaftlicher, technischer und ökologischer Aspekte und Erfordernisse. Dabei zeigten sich folgende grundsätzliche Ergebnisse:

- Ein Verzicht auf eine weitere Nutzung der Wasserkraft ist unzweckmässig. Erforderliche Abbruch- und Rückführungsarbeiten erheischen einen grossen, nicht rekuperierbaren finanziellen Aufwand und ziehen, wie ein Neubau, ebenfalls Umweltbeeinflussungen nach sich.
- Eine Modernisierung des bestehenden Wasserkraftwerkes mit seinen Maschinen ist technisch zwar machbar, ökonomisch aber nicht vertretbar.

Damit war der Bau einer technisch und ökonomisch optimierten Neuanlage mit einer möglichst langen Konzessionsdauer unter Wahrung der erforderlichen ökologischen Aspekte vorgegeben.

Der erneute Bau eines Kanalkraftwerkes war aus Platzgründen nicht möglich. Dies hätte zudem weiterhin eine ökologisch unerwünschte Restwasserstrecke zur Folge gehabt, und die erforderliche Restwassermenge hätte eine optimale Nutzung der insgesamt vorhandenen Abflüsse in der Aare signifikant eingeschränkt. Weiterhin befanden sich ober- und unterwasserseitig des alten, bestehenden Wehres noch namhafte freie Fliessstrecken, deren beträchtliches Ausbaupotenzial schon seit vielen Jahren bekannt und Gegenstand mehrerer Studien war.

Bild A1-1. Das alte Kraftwerk, vom Unterwasser her gesehen.

Zumindest ein Teil dieses Potenzials sollte jedoch bei einem zu realisierenden Neubau genutzt werden können. Der Bau eines neuen, kompakten Flusskraftwerkes erwies sich somit als die zweckmässigste Lösung.

Im Sinne einer optimalen ökonomischen und ökologischen Auslegung wurden Umweltauswirkungen höherer Stauzielvarianten als jener mit der alten Anlage für alle möglichen Umweltbereiche einzeln und in ihrem Zusammenwirken beurteilt. Dabei wurden das Konzessionsprojekt sowie der Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe in einem iterativen Verfahren parallel erarbeitet und optimiert.

Die Untersuchungen zeigten, dass mit dem Bau eines Flusskraftwerkes ein Stauziel von 398,40 m ü.M, also gut 2 m höher als bei der alten Anlage, ökologisch wie ökonomisch vertretbar war. Dabei ist allerdings – entsprechend der für 80 Jahre erteilten neuen Konzession – der Oberwasserstand des neuen Kraftwerkes ähnlich dem natürlichen Fliessregime in Abhängigkeit von der Wasserführung zu regulieren.

A1.2 Die Neuanlage

Aus ökologischen Gründen, insbesondere wegen möglicher Erosionen im Bereiche der Ruppoldinger Inseln, wurde der Standort für die Neuanlage ca. 300 m flussaufwärts des alten Wehres festgelegt (Bild A1-3).

Die kombinierte Anordnung von Wehr und Maschinenhaus auf der gleichen Achse erlaubt eine kompakte Anlage mit minimalem Platzbedarf und ermöglicht so einfache betriebliche Abläufe.

Das *Maschinenhaus* liegt dabei auf der Solothurner Seite, also aussenseitig einer leichten Rechtskurve der Aare. Die neu konzessionierte Wassermenge beträgt 450 m^3/s.

Bild A1-2. Die Anordnung der alten Anlage, mit einem Stauwehr in der Aare, einem Einlaufwehr zum langen Oberwasserkanal und dem Maschinenhaus am oberen rechten Bildrand. Im eigentlichen Aarebett bildeten sich die Ruppoldinger Inseln. Die Nationalstrasse A1 wie auch die SBB queren die Flusslandschaft.

Die zwei installierten Schachtturbinen mit dem gewaltigen Laufraddurchmesser von 5,9 m können je 275 m^3/s verarbeiten, somit pro Maschine mehr, als alle neun Turbinen der alten Anlage zusammen. Gemeinsam können so die beiden Turbinen eine Wassermenge verarbeiten, die in einem durchschnittlichen Wasserjahr lediglich an 42 Tagen pro Jahr überschritten wird.

Die Turbinen sind doppelt reguliert und geben das Drehmoment je über ein Getriebe den Generatoren ab. Via Blocktransformatoren und ebenfalls im Maschinenhaus installierte elektrische Schalt- und Steueranlagen wird der produzierte Strom über Kabel direkt in das regionale, bestehende 16-kV-Leitungsnetz der Atel eingespiesen.

Bei einer nutzbaren Fallhöhe von 3,6 bis 6,3 m ergibt sich damit eine elektrische Leistung von knapp 20 MW bzw. eine mittlere Jahresproduktion von ca. 114 Mio. kWh (ab Transformer).

Höherstau, bessere Wasserausnutzung und *wirkungsvollere Turbinen* ermöglichen gegenüber der alten Anlage somit pro Jahr eine rund *dreimal höhere Stromproduktion* (vgl. dazu Tabelle A1-1).

Im Betriebstrakt des Maschinenhauses sind Magazine, Werkstätten und Aufenthaltsräume für das Personal, Geschwemmselraum, Notstrom-Dieselaggregat sowie Garagen untergebracht.

Seit dem 1. Januar 2001 befindet sich auch der Sitz der neu gebildeten Atel Hydro AG in Ruppoldingen.

Das *Wehr* liegt mit dem Maschinenhaus auf gleicher Achse. Die vier Wehröffnungen sind mit hydraulisch angetriebenen Segmentschützen mit Aufsatzklappen ausgerüstet. Das Wehr erlaubt einen störungsfreien Geschiebedurchgang und ist so ausgelegt, dass ein 1000-jährliches Hochwasser gefahrlos auch durch lediglich drei der Öffnungen abgeleitet werden kann.

	Altes Kraftwerk	Neuanlage 2000
Typ	Kanalkraftwerk	Flusskraftwerk
Bauzeit	2 Jahre	ca. 4 Jahre
Ausbauwassermenge Q_A	210 m^3/s	450 m^3/s
Q_A wird an … Tagen pro Jahr überschritten	248	42
Stauziel	395,24 – 396,24 m ü.M.	397,20 – 398,40 m ü.M.
Nutzbare Fallhöhe	2,5 – 4,0 m	3,6 – 6,3 m
Max. elektrische Leistung	5,8 MW	20 MW
Maschinen	9 Propellerturbinen	2 Rohrturbinen
Durchmesser Turbinenrad	3,05 m	5,9 m
Mittlere Jahresproduktion	40 Mio. kWh	114 Mio. kWh
Davon im Winterhalbjahr	48 %	44 %
Davon im Sommerhalbjahr	52 %	56 %

Tabelle A1-1. Vergleich altes mit neuem Kraftwerk.

Eine Dienstbrücke ermöglicht die Zufahrt zu allen Wehröffnungen und zum rechtsseitigen Ufer. Von der Brücke aus werden die unterwasserseitigen Dammbalken mit einem Mobilkran, die oberwasserseitigen mit der Rechenreinigungsmaschine versetzt. Diese Maschine ist ebenfalls in der Lage, vom Rechenboden her die Portaldammbalken für die Maschineneinläufe zu versetzen.

Ein Kontrollgang in der Wehrschwelle verbindet Maschinenhaus und rechtes Aareufer. In ihm werden Versorgungsleitungen für die Wehrhydraulik sowie elektrische Energie geführt. Als Teil der gesamten Kraftwerksanlage wurden verschiedene *Nebenanlagen* erstellt, unter anderem eine Boot-Transportanlage auf der Rothrister Seite, ein Fussgängersteg als Ersatz für den Übergang über das wegfallende alte Stauwehr wie auch ein naturnah gestalteter Fischpass.

A1.3 Massnahmen Umwelt

Mit dem Bau des neuen Kraftwerkes wurde eine Vielzahl von Massnahmen zum Schutze der Umwelt, zur Wiederherstellung von Natur- und Landschaftswerten und zur Renaturierung ausgeführt. Dazu wurden ca. 15 % des ursprünglichen Budgets für die Gesamtanlage aufgewendet.

Im neuen *Oberwasserbereich* wurden die vorhandenen Naturwerte wieder hergestellt sowie grosszügig aufgewertet und vorhandene Nutzungen weiter ermöglicht, so mit

- dem Höherstau mit variablem Stauregime, was die Bildung von Auen ermöglicht;

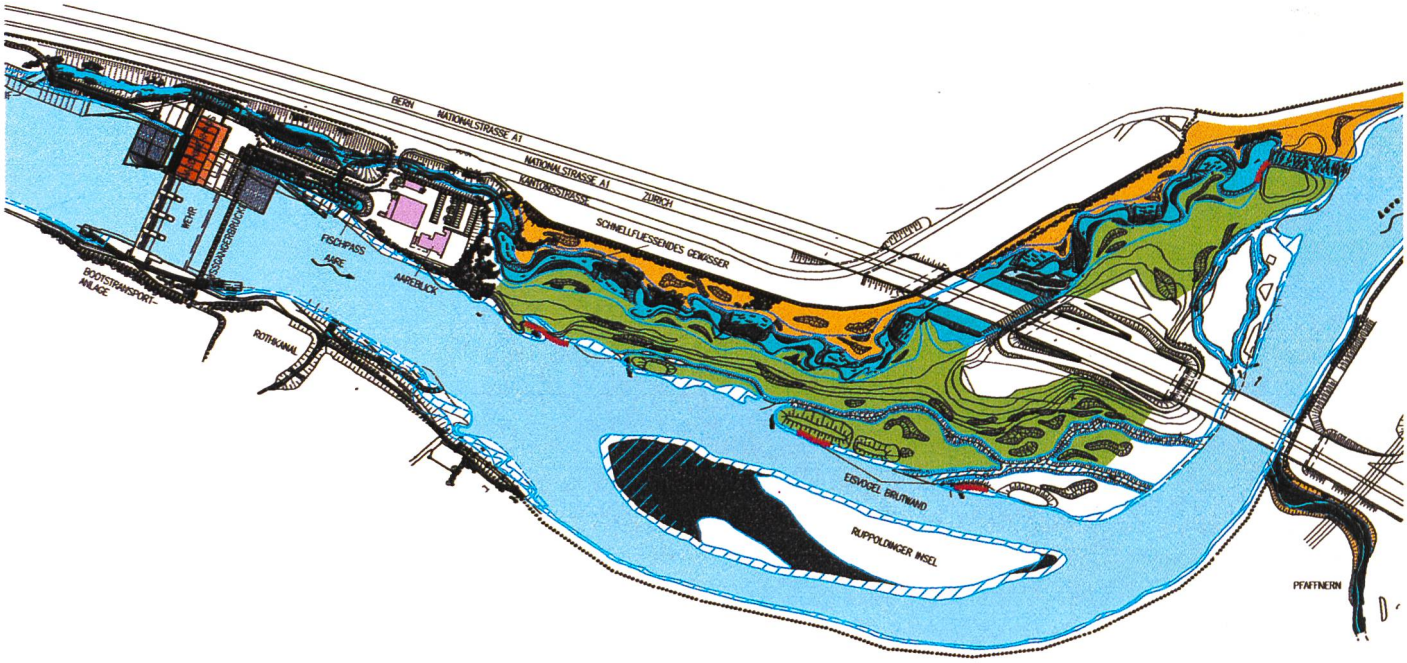

Bild A1-3. Die neue Kraftwerkanordnung. Aus dem Kanalkraftwerk wird ein Flusskraftwerk: Maschinenhaus und Wehr liegen in der Aare. Aus dem Oberwasserkanal wird ein naturnah gestaltetes Umgehungs- und Aufstieggewässer.

- dem Höherlegen der Boniger Inseln zwecks Erhalt;
- dem Bau verschiedener, grossflächiger Flachwasserzonen zur Bildung von Lebensraum für Wasservögel und Fische;
- dem Aufschütten von Kulturland zwecks Erhalt;
- dem Verlegen einer Fischzuchtanlage, Höherlegen von Gebäulichkeiten und Einläufen
- usw.

Im *Unterwasserbereich* erfolgte

- wohl als *Kernstück aller Gestaltungsmassnahmen* die Schaffung eines fast 1000 m langen, naturnahen Umgehungsgewässers an Stelle des Oberwasserkanales. Dieses Gewässer bietet strömungsliebenden Fischen Aufstiegsmöglichkeiten und Lebensraum, Kleinlebewesen Laichplätze und Aufwuchsareale;
- die Vervielfachung der ursprünglichen Auenwälder durch grossflächige Geländeabsenkungen;
- die Schaffung von Kiesbänken, Eisvogelbrutwänden;
- Massnahmen zum Schutze der Ruppoldinger Inseln
- usw.

Die Arbeiten für das neue Kraftwerk wurden am 7. Oktober 1996 aufgenommen. Für das Erstellen des Kraftwerkes inklusive aller Massnahmen zu Gunsten der Natur wurde eine Bauzeit von $4^1/_2$ Jahren vorgesehen. Dank grossem Einsatz aller Beteiligten konnte das ehrgeizige Terminprogramm trotz einigen Überraschungen eingehalten werden. Die Inbetriebnahme der Maschinengruppen erfolgte genau an den ursprünglich vorgesehenen Terminen.

Das von der Bauherrschaft bewilligte Investitionsbudget von CHF 220 Mio. musste auf Grund günstiger Vergabebedingungen nicht voll ausgeschöpft werden, was sich in tieferen Energiegestehungskosten niederschlagen wird.

Dank einem optimierten Baukonzept konnte der Produktionsbetrieb durch das alte Kraftwerk praktisch während der gesamten Bauzeit aufrechterhalten werden.

Mit der Inbetriebnahme des neuen Flusskraftwerkes verloren die alten Kraftwerksanlagen ihre Funktion. Das alte Stauwehr, das Einlaufwehr zum Oberwasserkanal wie auch das alte Maschinenhaus wurden abgebrochen.

Die Sanierung des über hundertjährigen Bauwerkes und dessen Zuführung zu einem andern Zwecke wäre einerseits mit hohen Kosten verbunden gewesen und stünde andererseits der konsequenten und umfassenden Renaturierung des ehemaligen Kanalgebietes entgegen.

A2 Die baugeologischen Verhältnisse und die Geotechnik

■ *Ondrej Voborny*

A2.1 Regionaler Rahmen

Das Projektgebiet befindet sich am nördlichen Rand des Mittelländischen Molassebeckens und am Fusse der südlichsten Jurakette, die durch die Aufwölbung der Bornfalte gebildet wird. Das Aaretal, im Projektgebiet etwa 1,3 km breit, ist mit einer ausgedehnten, Grundwasser führenden Schotterterrasse bedeckt.

Im Abschnitt des neuen Kraftwerkstandorts wird der Aareverlauf durch die aufsteigende Jurakette nach Osten abgelenkt und folgt dem Fusse des Bornhangs bis zum Durchbruch bei Aarburg. Die südliche Berandung des Aaretals wird durch moränenbedeckte Hügel der Unteren Süsswassermolasse aufgebaut. Das Kraftwerk liegt deshalb genau an der regional-geologischen Nahtlinie zwischen dem Mittelländischen Molassebecken und dem Jura.

Die überaus einfache geologische Situation an der Geländeoberfläche täuscht allerdings über den komplexen quartärgeologischen Aufbau des Untergrundes hinweg. Die Ursache ist in der Flussgeschichte der Aare zu suchen, die in ihrer geologischen Vergangenheit mehrmals den Verlauf geändert hatte und eine Zeit lang während der ausklingenden Eiszeit sogar zu einem See aufgestaut war. Dabei sind mächtige feinkörnige See- und Rinnenablagerungen entstanden, welche die Unterlage der jüngsten Schotter bilden. Mit anderen Worten, unter der flach liegenden Terrasse der jüngsten Aareschotter ist eine tiefe Erosionsrinne der «alten», d. h. spät- bis zwischeneiszeitlichen Aare ausgebildet, deren Mächtigkeit und genauer Verlauf naturgemäss nur schlecht bekannt sind. Auf Grund der dynamischen Ablagerungsverhältnisse sind die Rinnensedimente durch grosse Heterogenität geprägt. Ein Relikt dieser «alten» Aare stellt das heutige Dünnerngäu mit seinem mächtigen Grundwasservorkommen dar.

A2.2 Geologische Untersuchungen

Das Konzessionsprojekt und die Optimierung des Standortes für das neue KW Ruppoldingen wurden ohne spezifische Baugrunduntersuchungen durchgeführt. Die baugeologischen Verhältnisse wurden anhand von verfügbaren Bohrungen aus der weiteren Projektumgebung beurteilt. Motor Columbus hatte bereits 1946 eine Standortvariante 200 m flussaufwärts von der neuen Werksachse mit Bohrungen erkundet (Boniger Kraftwerk).

Für die Erstellung des Ausschreibungsprojekts wurde im Winter 1995/96 ein umfassendes Untersuchungsprogramm durchgeführt, bestehend aus zwölf Kernbohrungen (viele davon vom Floss aus), Laboruntersuchungen und In-situ-Versuchen, einschliesslich Ramm- und Ankerzugsversuche.

Während der Ausführungsphase zusätzlich durchgeführte Aufschlussbohrungen verdichteten die aktuellen Kenntnisse gezielt. Vor Beginn der Bauphase 2 (Aushub Maschinenhaus) wurden entlang der Baugrubenumschliessung sechs weitere Kernbohrungen abgeteuft.

A2.3 Baugrundmodell

Die Ergebnisse der Untersuchungen lieferten die erforderliche Grundlage für die Bauprognose und die daraus abgeleiteten Ausführungen und Spezifikationen im Ausschreibungsprojekt. So wurden die geologische Position der Gründungssohle sowie die Einbindetiefe der Baugrubenabschlüsse ermittelt.

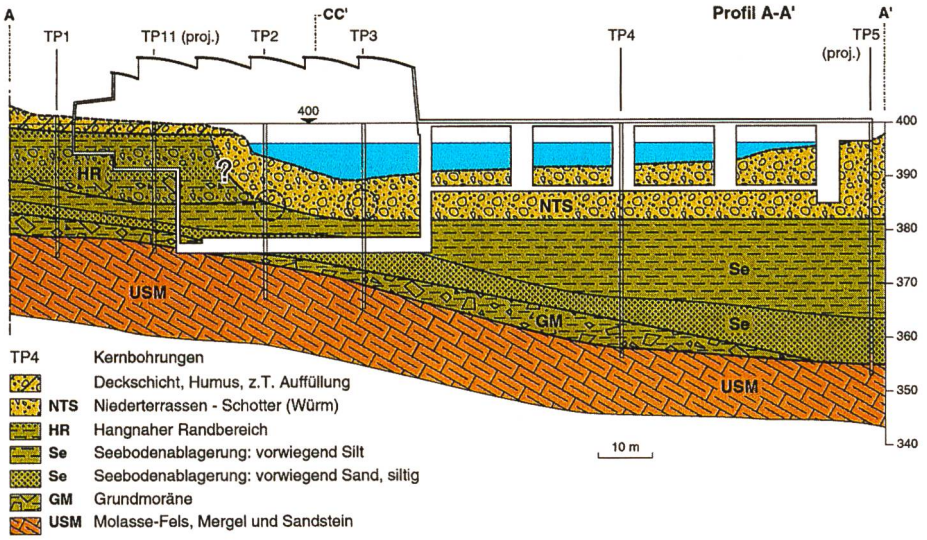

Bild A2-1. Geologisches Profil entlang der Werksachse (Prognose 1995).

Als Kernprodukt der Bauprognose wurde ein Baugrundmodell erstellt. Durch eine integrierte Interpolation des Bohrbefundes und früherer Kenntnisse wurde ein schematisierter dreidimensionaler Schichtaufbau des Untergrundes konstruiert. Das Baugrundmodell – als eine vereinfachte Darstellung der (unbekannten) Realität – gibt Auskunft über die zu erwartende räumliche Ausdehnung der identifizierten Schichten sowie über die geotechnischen Materialeigenschaften. Ein weiterer wichtiger Aspekt der baugeologischen Prognose sind Aussagen zu Grundwasserverhältnissen und Auswirkungen auf das Bauvorhaben. Als Beispiel des Baugrundmodells 95 zeigt Bild A2-1 einen geologischen Schnitt entlang der Werksachse. Dargestellt sind der prognostizierte Verlauf der ausgeschiedenen geologischen Schichten, Fundationshorizonte der Bauwerke und ausgeführte Kernbohrungen.

Die geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Gründungsbereich des Kraftwerks lassen sich im Überblick wie folgt charakterisieren:

- Deckschichten: oberflächliche Bodenbildungen und künstliche Aufschüttung, für Gründung nicht relevant.
- Quartäre Aareschotter (Niederterrassen): Jüngste geologische Ablagerungen bestehen aus sauberen bis leicht siltigen Kiesen mit reichlich Sand. Sie gelten als hoch durchlässig und stellen den wichtigsten regionalen Grundwasserträger dar, der intensiv genutzt wird (z.B. Rivella in Rothrist).
- Quartäre Seeablagerungen: ältere quartäre Unterlage der Schotter, bestehend aus einer monotonen hellgrauen Abfolge von tonigem bis sandigem Silt, wird allgemein als Seebodenlehm bezeichnet. Eigenschaften: inorganisch, d.h. kaltzeitlich abgelagert, stark konsolidiert, dicht bis hart, schwer rammbar. Der Schichthorizont dient als Wasserstauer für das im Schotter zirkulierende oberflächennahe Grundwasser.
- Basale Sandschicht: eine ausgeprägte fluviatile Sandschüttung an der Basis der Seeablagerungen, die als Rinnenfüllung eine rasch wechselnde Mächtigkeit aufweist (im tiefsten Teil der Baugrube bis zu 10 m). Eigenschaften: gleichkörniger Feinsand, rollig, erosionsempfindlich, als Fundationshorizont ungeeignet. Die Sandschicht führt ein gespanntes Grundwasser und stellt deshalb ein hydraulisch wirksames tiefliegendes Grundwasserstockwerk dar.
- Hangnaher Randbereich: ältere quartäre Ablagerungen im Grenzbereich zwischen Bornhang und der aktiven Erosionsrinne der Aare. Es handelt sich um eine lehmige Abfolge von verschwemmtem Hang- und Bachschutt, mit vereinzelten grossen Bergsturzblöcken aus Malmkalk. Der Randbereich zeichnet sich durch dichte Lagerung, bindige Beschaffenheit (Kohäsion) und geringe Durchlässigkeit aus.
- Grundmoräne: Als älteste quartäre Ablagerung wurden in einigen Bohrungen und im Aushub die Relikte einer alteiszeitlichen Grundmoräne angetroffen. Sie enthalten zum Teil grössere Blöcke aufgeschürfter Molasse.
- Felsunterlage: untere Süsswassermolasse (Tertiär), bestehend aus einer Wechselfolge von grünen und roten Sandsteinen und Mergeln, die oberflächlich stark verwittert sind. Die Schichten sind flach gelagert, wobei die tonigen Schichtflächen eine geringe Scherfestigkeit aufweisen. Die Felsoberfläche erwies sich im Aushub als sehr unregelmässig und weist ein starkes Erosionsrelief auf. Es wurde keine nennenswerte Wasserführung festgestellt.

Schicht	Feuchtraumgewicht	Effektive Scherfestigkeit		Durchlässigkeit	Zusammendrückbarkeit
	g (kN/m³)	φ (°)	c (kPa)	k (m/s)	Me (MPa)
Deckschicht	19	28	0	–	–
Hangnaher Randbereich	20	30	0	–	10…30
Niederterrassenschotter	21	36	0	$1…5 \times 10^{-3}$	50…70
Seebodenlehm	20	30	20	$1…5 \times 10^{-8}$	60…100
Sand	18	33	0	$1…2 \times 10^{-5}$	10…30
Grundmoräne	22	36	30…50	$10^{-8}…10^{-7}$	40…80
Alte Schotter	21	35	0	$10^{-6}…10^{-5}$	30…70

Tabelle A2-1. Geotechnische Bodenkennziffern der Lockergesteine.

Bild A2-2. Aufnahme der Baugrube für das Maschinenhaus, im Oktober 1998: Hangseitige Böschung im lehmigen Randbereich, im Vordergrund Vakuumfilterbrunnen.

A2.4 Geotechnische Bodenkennziffern

Die Basis für die nachfolgend zusammengefassten Bodenkennziffern bildeten Feld- und Laborversuche, die während der Projekt- und Bauphase ausgeführt wurden. Es handelt sich hierbei um Ergebnisse von SPT, Versuche mit der Scherflügelsonde und Kleinpumpversuche im Feld sowie Ödometer-, Durchlässigkeits-, Triax- und Direktscherversuche an Laborproben. Zudem wurden Rammversuche mit Spundwandbohlen und drei Ankerzugversuche mit Lockergesteinsankern durchgeführt (Tabelle A2-1).

A2.5 Erfahrungen beim Bau

Die Gründung und Wasserhaltung der Wehrbaugrube (der später beschriebenen Bauphase 1) verlief planmässig und ohne Zwischenfälle. Die Gründungssohle lag im Schotter, und der Baugrubenabschluss war planmässig im Seebodenlehm eingebunden. Allerdings haben Vorbohrungen entlang der Spundwand die befürchtete gespannte Wasserführung der tiefer liegenden Sandschicht bestätigt. Der angebohrte Druckspiegel lag 9 m über der Baugrubensohle. Daraufhin wurden die vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen verstärkt.

Vor Beginn der Bauphase 2 für das Maschinenhaus wurden deshalb zusätzliche Bohrungen mit Pumpversuchen durchgeführt, um die hydraulischen Verhältnisse der tiefen Sandschicht besser zu erfassen. Die geplanten Wasserhaltungsmassnahmen wurden überprüft und intensiviert.

Der Aushub der bis zu 25 m tiefen Baugrube für das Maschinenhaus hatte zwar die Gültigkeit des Baugrundmodells generell bestätigt, örtlich wurden jedoch starke Abweichungen in der Tiefenlage einzelner geologischer Schichtgrenzen angetroffen, die teilweise eine Projektanpassung während der Ausführung zur Folge hatten. So wurden die Sandschicht einige Meter höher und die Felsoberfläche im nordwestlichen Teil der Baugrube wesentlich tiefer angetroffen als im Projekt angenommen (Bild A2-2). Als Folge musste das Gründungskonzept kurzfristig von Betonriegeln auf Pfahlreihen umgestellt werden. Die angetroffenen Unstimmigkeiten waren durchwegs auf die Komplexität der quartären fluviatilen Ablagerungsverhältnisse zurückzuführen. Es zeigte sich, dass die stark ausgeprägte räumliche Variabilität nur ungenügend durch punktuelle Aufschlussbohrungen erfasst werden kann. Der durch Interpolation und Schematisierung geglättete Schichtverlauf kann in grösseren Abweichungen zu lokalen Gegebenheiten resultieren. Ein wesentlich grösserer Untersuchungsaufwand mit verdichteten Bohrpunkten hätte die inherenten Unsicherheiten eines derartigen geologischen Umfelds verbessern, aber nicht eliminieren können.

Obwohl die Wasserführung der unteren Sandschicht die Erwartungen übertroffen hat, hatte sich das Wasserhaltungskonzept mittels Vakuumbrunnen und grosskalibrigen Filterbrunnen bewährt.

A3 Hydrologie/Hydraulik

■ *Erich Schmid*

Das neue Kraftwerk wurde oberhalb des alten Wehres erstellt, also im Staubereich der bestehenden Anlage. Zwischen minimaler und maximaler Wasserführung der Aare ergaben sich deshalb im Bereich der Baustelle nur relativ geringe Wasserspiegelschwankungen. Mit Hilfe des alten Wehres war es zudem möglich, bei Hochwasser notfalls den Wasserspiegel abzusenken. Dadurch konnten die Freiborde für die Baugrubenumschliessung minimiert werden, ohne dass die Überflutungssicherheit stark reduziert wurde.

Ein wesentlicher Grund zur Ausführung der 2. Juragewässerkorrektion war, die Spitzenabflüsse der Aare durch das Retentionsverhalten des Neuenburger-, des Murten- sowie des Bielersees zu beeinflussen und dadurch brechen zu können. Effektive, kurzfristige Spitzenabflüsse stammen deshalb primär von der Emme, deren Abflüsse nicht zu unterschätzen sind. So wurde während der Bauzeit ein Hochwasser in der Emme von 300 m^3/s gemessen. Die Emme hat damit den Aareabfluss verdoppelt.

Als hydrologische Grunddaten für die Projektierung verwendete man die Messdaten des Pegels Murgenthal der Periode 1942 bis 1993. Dieser Pegel befindet sich ca. 8 km oberhalb des Kraftwerkes (Bild A3-1).

Die statistische Auswertung hat zu den in Tabelle A3-1 dargestellten Kenndaten geführt.

Die Abflusswerte Q_{347}, Q_{55} und Q_9 waren massgebend für die flussbauliche Gestaltung.

Das 50-jährliche Hochwasser HQ_{50} wurde als Ausgangsgrösse für die Bemessung der Abflussquerschnitte für die Bauumleitung und das 1000-jährliche HQ_{1000} als massgebende Wassermenge für die Bemessung des neuen Wehres verwendet.

Den behördlichen Auflagen entsprechend wurde das Wehr so ausgelegt, dass ein 1000-jährliches Hochwasser auch bei einer geschlossenen Wehröffnung und ohne Wasserdurchfluss durch die Turbinen gefahrlos abgeleitet werden kann. Die errechneten Abflusskapazitäten wurden anhand von Modellversuchen an der Technischen Universität Karlsruhe überprüft und bestätigt. Anhand des Modells wurden ebenfalls die Anströmverhältnisse zum Kraftwerk optimiert.

Das lang andauernde Hochwasser vom Mai 1999 mit Spitzenabflusswerten bis zu 910 m^3/s stellte für die Baugrube zu keiner Zeit eine Gefahr dar. Infolge der über eine lange Zeit sehr hohen Wasserführung wurde aber festgestellt, dass es im bereits ausgebaggerten Teil unterwasserseitig des neuen Wehres zu massiven Auflandungen gekommen war. Deshalb mussten diese Baggerarbeiten erneut ausgeführt werden. Die Auswertungen der umfangreichen Echolotaufnahmen im Stauraum zeigten, dass das Material dieser Auflandungen nicht von den bereits fertig gestellten Schüttungen im Staubereich stammte, sondern dass die Flusssohle im Staubereich erodiert wurde und sich Geschiebe abgelagert hatte, das von oberhalb des Projektgebietes stammte.

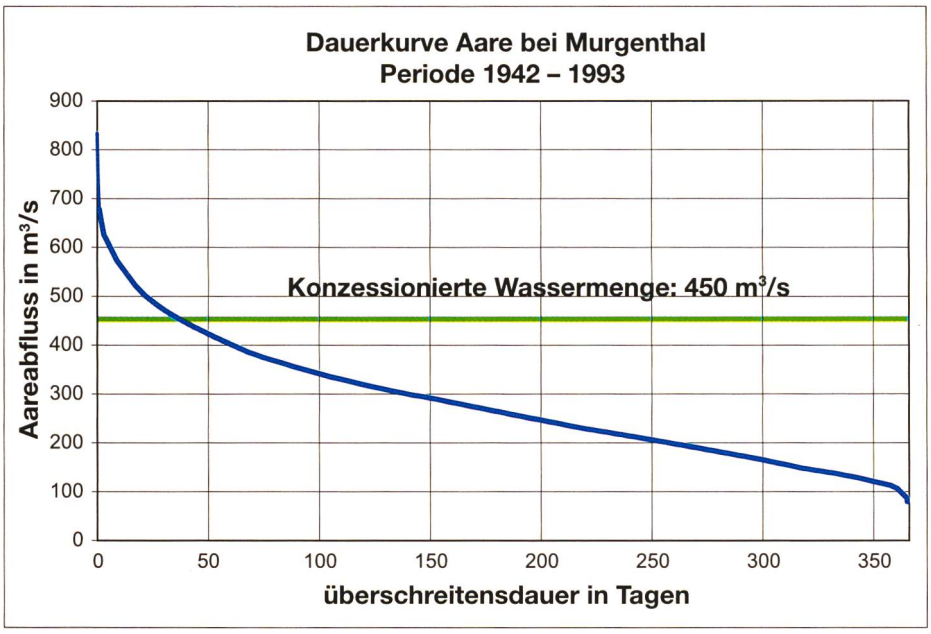

Bild A3-1. Dauerabflusskurve der Aare bei Murgenthal.

Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabfluss			
Q_{347}	124 m^3/s	Q_{mittel}	282 m^3/s
Q_{55}	417 m^3/s	HQ_{50}	1070 m^3/s
Q_9	585 m^3/s	HQ_{1000}	1330 m^3/s

Tabelle A3-1. Hydrologische Kenndaten.

A4 Bauliche Anlagen

Hansjürg Vögtli,
Hans Rudolf Frei

A4.1 Bauablauf und Terminplanung

Die Bauarbeiten für den Neubau des Kraftwerkes Ruppoldingen (Bild A4-1) wurden am 7. Oktober 1996 aufgenommen. Vorgängig erstellte man als «Vorgezogene Arbeiten» im Bereiche des Restaurants Aareblick die zukünftige, definitive neue Kraftwerkszufahrt, die aber auch als Baustellenzufahrt genutzt wurde.

Der Bau des Kraftwerkes Ruppoldingen in der Aare verlief in zwei Hauptbauphasen. In der *ersten* Phase wurden rechtsufrig drei Öffnungen des Wehrs gebaut. Die Gewährleistung des Aareabflusses erforderte eine Umleitung der Aare, was mit einer Aufweitung des Flussbettes am linken Ufer erreicht wurde. In der *zweiten* Phase floss die Aare durch die drei neu erstellten Wehröffnungen, während am linken Ufer das Maschinenhaus und die Wehröffnung 1 sowie alle Nebenbauwerke gebaut wurden.

Die Wahl der Phasengrenze zwischen den Wehröffnungen 1 und 2 ermöglichte das Stehenlassen von Stützböschungen im Bereiche des zukünftigen Wehrfeldes 1, welche die Stabilitätsverhältnisse in der Bauphase 2 verbesserten und den Bedarf an temporären Lockergesteinsankern stark verminderten. Ausserdem erlaubte diese Anordnung, die Platzverhältnisse für den linksufrigen Umleitkanal der Bauphase 1, welche durch den Verlauf der Kantonsstrasse eingeschränkt waren, optimal zu nutzen.

Die Ausserbetriebnahme und der Rückbau des bestehenden Kraftwerkes wurden so terminiert (Bild A4-2), dass kurz nach Beendigung des Wehrabbruches die erste Maschine der neuen Anlage den Betrieb aufnehmen konnte. Ab dem Zeitpunkt der Ausserbetriebnahme des alten Wehres erfolgte die provisorische Stauhaltung mit dem alten Stauziel durch den bereits gebauten Teil des neuen Wehres.

Parallel zu den Baugruben- und Rohbauarbeiten wurden die Erd- und Flussbauarbeiten ausgeführt. Sie waren unterteilt in Arbeiten ober- und unterwasserseitig des neuen Wehres. Die Arbeiten im Oberwasser wurden sofort während der ersten Bauphase aufgenommen. Mit dem Aushubmaterial aus der Baugrube und anschliessend mit dem Kiesmaterial der ober- und unterwasserseitigen Aarebaggerungen für die Sohlenabtiefungen wurden die diversen Schüttungen und Umweltmassnahmen im Stauraum ausgeführt. Sie dauerten bis Mitte des Jahres 2000.

Die Geländeanpassungen unterhalb des alten Stauwehres, im Wesentlichen der grossflächige Abtrag auf der Insel, gebildet von Oberwasserkanal und Aare, der so genannten Planie, und die Auffüllung des Oberwasserkanals konnten erst nach der Ausserbetriebnahme des alten Werkes in Angriff genommen werden. Die Arbeiten konnten, hochwasserbedingt, erst Mitte 2001 abgeschlossen werden.

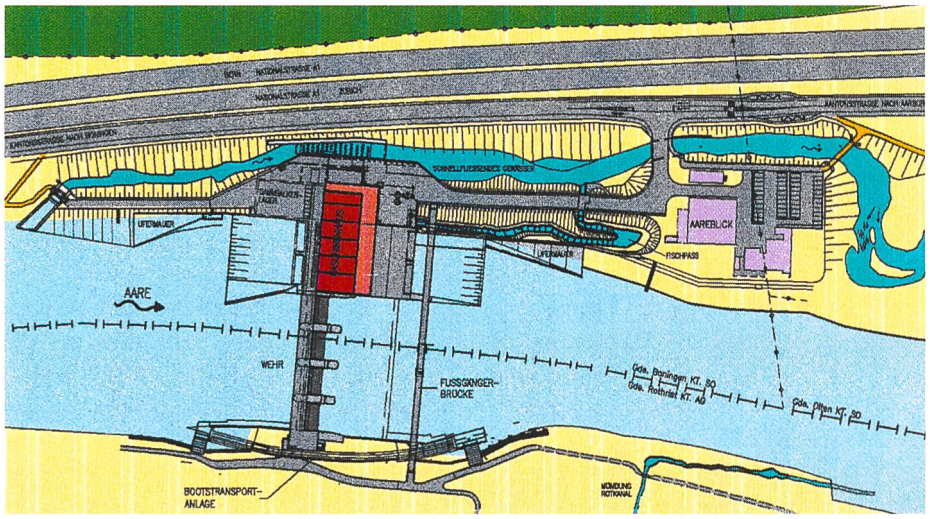

Bild A4-1. Anordnung der neuen Kraftwerksanlage.

A4.2 Baustelleninstallationen

Die gesamten Bau- und Montagearbeiten für das Kraftwerk mussten gemäss Auflage in der Baubewilligung von der durch die Kantonsstrasse Aarburg – Boningen gut erschlossenen Solothurner Seite aus durchgeführt werden. Die Wohnüberbauungen am Aargauer Ufer durften den Emissionen infolge der umfangreichen Materialtransporte nicht ausgesetzt werden. Deshalb war die Erstellung einer provisorischen Dienstbrücke zur Erschliessung der Wehrbaugrube über die Aare unumgänglich.

Für die Ausführung der Arbeiten auf der Insel zwischen dem Oberwasserkanal und der Aare – der so genannten «Planie» – war eine weitere Dienstbrücke erforderlich. Weiterhin waren gemäss Auflagen Materialtransporte über Aarburg ans aargauische Ufer oder auf der Solothurner Seite durch die nahe liegenden Dörfer Boningen und Härkingen nicht erlaubt oder nur in Ausnahmefällen zulässig. Die Transporte mussten darum per Schiff auf der Aare durchgeführt werden. Dies bedingte die Installation einer Klappschute (Fassungsvermögen 150 m^3) mit zugehörigen Schubbooten.

Für die Erstellung der Rohbauten wurden, je nach Bauphase, bis zu vier Turmdrehkrane eingesetzt. Der gesamte Beton wurde von nahe liegenden Betonwerken bezogen – eine eigene Ortsbetonanlage erübrigte sich somit.

Die Arbeitszeiten auf der Baustelle beschränkten sich praktisch nur auf Tagesschichten. Da zudem der grösste Teil des Baustellenpersonals aus der Region täglich anreiste, konnte auf die Errichtung von Unterkünften und Kantine verzichtet werden. Es wurden deshalb lediglich Magazine, Personalräume und Büros installiert.

Genereller Terminplan

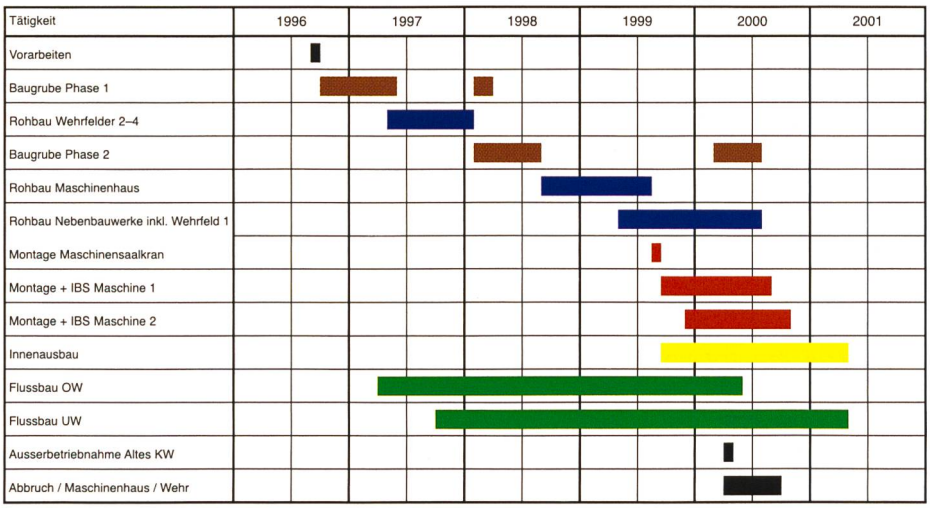

Bild A4-2. Generelles Terminprogramm.

A4.3 Baugruben

Das Grundkonzept der Baugrubenabschlüsse bestand aus zwei mehrfach verankerten Kastenfangdämmen von je ca. 20 × 20 m Seitenlänge und 25 m Höhe in der Aare ober- und unterwasserseitig der Wehröffnung 1, verbunden mit einer einhäuptigen Spundwand entlang der Hauptphasengrenze etwa in der Flussmitte. Diese Kastenfangdämme dienten während der beiden Hauptbauphasen als Ausgangspunkt für die Anschlussspundwände zu den beiden Ufern.

A4.3.1 Bauphase 1, Wehröffnungen 2 bis 4

Die Baugrube zur Ausführung der Arbeiten der Bauphase 1 lag vorwiegend im hochdurchlässigen Aareschotter und wurde deshalb vollständig, infolge der vorhandenen Grundwasserträger auch entlang des rechten Ufers, umspundet (Bild A4-3).

Die erforderliche minimale Spundwandlänge von ca. 18 m ergab sich aus der Lage des praktisch dichten Seebodenlehms, in den die Spundwände ca. 2 m eingebunden wurden. Ein Teil der Spundwände (Flussmitte) wurde von Schiffsbatterien aus gerammt. Die aus statischen Gründen erforderlichen Stützböschungen wurden nach einer Teilabsenkung des Wasserspiegels in der Baugrube vor Kopf geschüttet.

Da die obersten Meter der Spundwände im Wasser standen, konnte eine ausreichende Schubübertragung entlang der Spundwandschlösser nicht ohne weiteres angenommen werden. Sie wurden deshalb zum Teil verschweisst, um ihre Tragfähigkeit voll ausnützen zu können.

Die Spundwand entlang der Hauptphasengrenze und ein Teil der Spundwände der beiden Kastenfangdämme wurden so ausgelegt, dass sie auch für die Baugrube der Phase 2 verwendet werden konnten (Bild A4-4). Da das Maschinenhaus wesentlich tiefer fundiert war, waren diese Spundwände sehr lang (bis 25 m) und mussten deshalb vorgebohrt werden. Die Kastenfangdämme wurden mit Stabankern in der oberen und mit Lockergesteinsankern in der unteren Lage versteift respektive abgestützt.

Ein Teil der rechtsufrigen Baugrubenumschliessung wurde als Fortsetzung der Abdichtungsspundwand unter dem Wehr als permanente Dichtwand konzipiert. Dazu wurden fabrikneue Spundbohlen verwendet.

Die Baugrubenentwässerung erfolgte über eine offene Wasserhaltung; ausserdem wurden die Auftriebsverhältnisse – vor allem in der im Seebodenlehm eingelagerten Sandschicht – mit Piezometern überwacht.

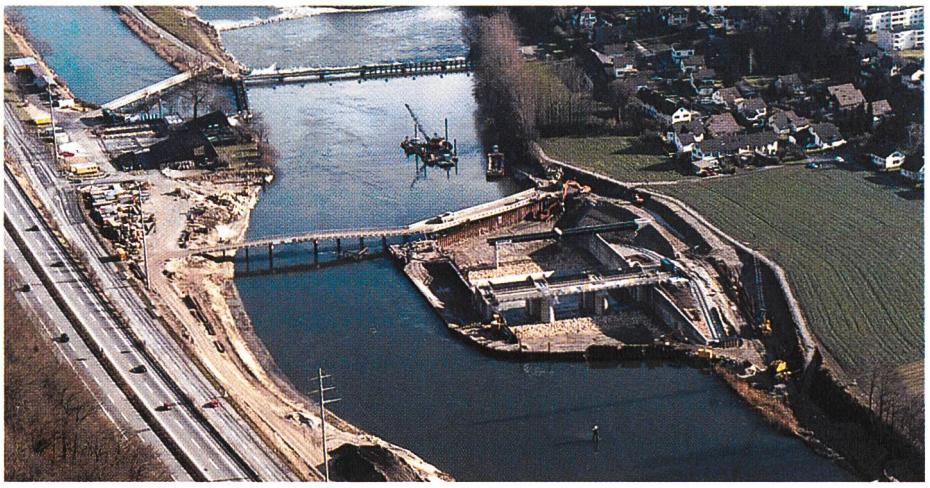

Bild A4-3. Baugrube Phase 1.

Bild A4-4. Phasengrenze Baugrube 1 zu Baugrube 2.

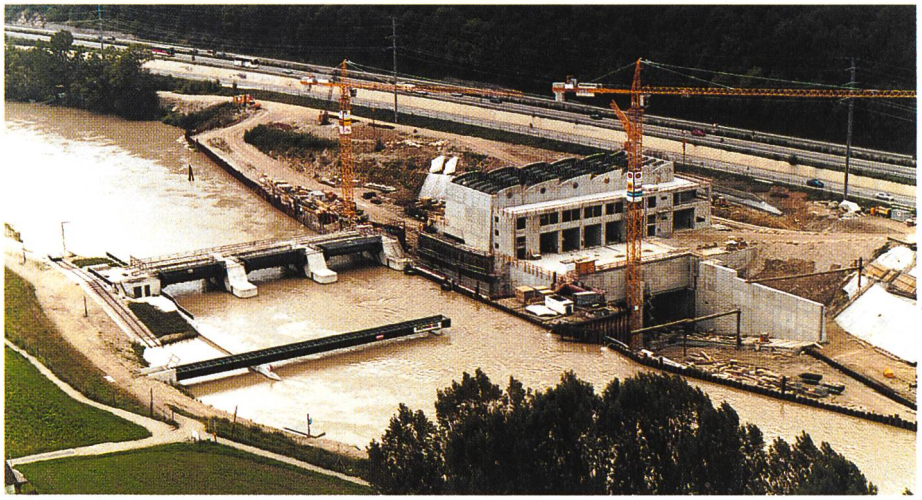

Bild A4-5. Baugrube Phase 2.

A4.3.2 Bauphase 2, Maschinenhaus und Wehröffnung 1

Mit einer Tiefe von imposanten 25 m war die Baugrube für die zweite Ausführungsphase wesentlich tiefer als die Wehrbaugrube. Sie war auch wesentlich komplizierter, da die verschiedenen Schichten (Seebodenlehm, Feinsand und Grundmoräne) alle im Bereich der Fundationskote für das Maschinenhaus auskeilten und die Schichtgrenzen daher nur ungenau vorhergesagt werden konnten. Da die linke Uferpartie jedoch in der praktisch undurchlässigen geologischen Formation «gletschernaher Randbereich» lag, war hier keine Abdichtung der Baugrube nötig, und es konnte, ausgehend vom Niveau der Kantonsstrasse, mit einer Neigung von 1:1 geböscht werden (Bild A4-5).

Zur Abstützung der tiefen Spundwand entlang der Hauptphasengrenze in Fliessrichtung der Aare wurde vor allem die Bodenplatte des in der ersten Bauphase gebauten Tosbeckens des Wehrfeldes 2 herbeigezogen. Zu diesem Zweck wurden massive Zugbügel aus Armierungsstahl an die Spundwand geschweisst und diese im Beton verankert. Um den Wasserdruck während der Bauphase 2 auf diese Spundwand zu reduzieren, und damit die Horizontaldeformationen des bereits gebauten Wehres zu vermindern, wurde der Kieskörper unter dem Tosbecken des Wehrfeldes 2 vollständig umspundet und mit zwei Brunnen entwässert.

Für die Wasserhaltung wurde ein kombiniertes System aus Grossfilterbrunnen, Kleinvakuumfilterbrunnen und offener Wasserhaltung eingesetzt.

A4.3.3 Erfahrungen bei der Ausführung

Die Baugrubensicherung war kostenmässig ein wesentliches Element der gesamten Investitionen für den Neubau. Dementsprechend wurde sie im Rahmen einer umfassenden Wertanalyse speziell auf ihre Wirtschaftlichkeit hin überprüft. Man kam mit dem Bauherrn überein, gewisse Risiken zu akzeptieren und mit der so genannten Beobachtungsmethode den Erfolg der getroffenen Massnahmen im Zusammenhang mit den angetroffenen Baugrundverhältnissen ständig zu überprüfen und gegebenenfalls weitere Massnahmen einzuleiten.

Im Folgenden wird auf die Erfahrungen und einige während des Baus notwendig gewordene Anpassungsmassnahmen kurz eingegangen.

Schon bald nach Beginn der Spundwandarbeiten für die Baugrubenabschlüsse zeigte sich, dass die angenommenen Rammbedingungen und Rammleistungen trotz den Vorversuchen zu optimistisch eingeschätzt worden waren. Die effektiven Rammleistungen lagen deutlich unter den durch die ausführende Arbeitsgemeinschaft (Arge) erwarteten Werten. Damit der Zwischentermin für die Fertigstellung der Baugrubenumschliessung trotzdem eingehalten werden konnte, setzte die Arge zu den zwei vorgesehenen Rammgruppen drei zusätzliche Rammgruppen ein und beschleunigte damit die Arbeiten erfolgreich.

Nach dem Auspumpen der Baugrube der Phase 1 zeigte sich, dass sich in der im Seebodenlehm eingelagerten Feinsandschicht *gespanntes Grundwasser* mit einem höheren Druckniveau als erwartet bildete. Das vorhandene Druckniveau entsprach beinahe jenem des Aarewasserspiegels. Die Grundbruchsicherheit für die Bauphase 1 war zwar noch akzeptabel, da aber die *Sandschicht* im Bereich der tiefen Spundwand in der Flussmitte *einige Meter höher* war als erwartet, wurde Feinsand entlang dieser Spundwand durch die sich einstellende vertikale Sickerströmung nach oben transportiert und dort abgelagert. Ein nachträgliches Ausinjizieren des Spundwandfusses war deshalb unerlässlich.

Auf Grund dieser Beobachtungen war absehbar, dass sich das Wasserhaltungsproblem vor allem für die Bauphase 2 verschärfen würde. Auf Grund von Zusatzuntersuchungen (u.a. Kernbohrungen) und Überprüfung von alternativen Massnahmen zeigte sich, dass an Stelle der vorgesehenen wenigen Grossfilterbrunnen mit Vakuumbetrieb eine grössere Zahl von *Kleinvakuumfilterbrunnen* (geschlitztes 5″-Rohr mit Filtergewebe und Quarzsandfilter, Bohrdurchmesser 220 mm) mehr Erfolg versprachen. Ein sofort im Bereich zwischen den Kastenfangdämmen durchgeführter Pumpversuch verlief befriedigend, und man entschloss sich, dieses System für die Phase 2 zur Anwendung zu bringen. Mit total 24 Kleinvakuumfilterbrunnen konnte die gewünschte Absenkung in befriedigendem Ausmasse erreicht werden. Dabei musste allerdings der ursprünglich geplante Abstand von 10 bis 15 m an gewissen Orten entsprechend dem Absenkresultat noch verkleinert werden. Im Bereich von lokalen Aushubvertiefungen wurden zusätzlich noch 2 bis 3 m tiefe Pumpensümpfe erstellt.

Trotz diesen umfangreichen Massnahmen konnte jedoch nicht verhindert werden, dass sich gegen Ende der Bauzeit im Bereich des oberen Kastenfangdammes ein *hydraulischer Grundbruch* ereignete, der durch notfallmässige Hinterfüllungen mit Beton sowie Zement- und Schauminjektionen ohne Flutung der Baugrube unter Kontrolle gebracht werden konnte.

Im Verlaufe des Aushubs für das Maschinenhaus zeigte sich, dass die mit Druckmessdosen überprüften Anker der *Kastenfangdämme* höhere Zugkräfte aufwiesen als errechnet. Es waren deshalb verschiedene *zusätzliche Abstützungen* in Form von Spriessen, Longarinen und Stabankern notwendig. Beim oberen Kastenfangdamm hatte man auch Mühe, die gewünschte Wasserspiegelabsenkung zu erreichen, da die Aareschotter hier nicht die allgemein sehr hohe Durchlässigkeit aufwiesen. Es mussten deshalb etwa 10 m lange Drainagelöcher als Horizontalbrunnen von der Baugrube aus gebohrt werden.

Wegen der unerwartet höheren Lage der Sandschicht wurde die Vorböschung rechts vom Maschinenhaus mit einer *Rühlwand* aus Grossbohrpfählen und Spritzbetonausfachung geschützt. Dies war mit geringem Mehraufwand möglich, da die Pfahlbohrinstallationen für die Fundationsarbeiten bereits auf Platz waren. Aus dem gleichen Grund wurde die vorgesehene temporäre Nagelwand für die Treppenhausvertiefung auf der linken Seite durch eine Rühlwand ersetzt.

Die vorstehend erwähnte so genannte Beobachtungsmethode setzte einen entsprechenden Überwachungsplan voraus. Zur Sicherung der Baugrube wurde diese entsprechend den Anforderungen mittels eines umfangreichen Messdispositives aus Piezometern, geodätischen Deformationsmessungen, Ankerkraftmessdosen und Inklinometern überwacht.

Neben bereits erwähnten Piezometer- und Ankerkraftmessungen gaben vor allem das Ausmass der Deformation des oberen Kastenfangdammes mit einer maximalen horizontalen Auslenkung des Kopfes von knapp 30 cm zu Diskussionen Anlass. Erklärungen für Deformationen dieser Grösse sind Überbeanspruchungen der Stabanker (vgl. oben) und eine Beeinträchtigung der Fundation durch den Grundbruch.

Mit Hilfe einer Finite-Elemente-Berechnung waren die *Deformationen der zuerst gebauten Wehröffnungen 2 bis 4* prognostiziert worden. Durch laufend durchgeführte geodätische Messungen wurden diese Prognosen sehr gut bestätigt. Infolge des grossen Wasserdruckes verschob sich die Wehröffnung 2 während der zweiten Bauphase um fast 3 cm Richtung linkes Ufer. Dieser Wert nahm Richtung rechtes Ufer ab und betrug am rechten Widerlager noch etwa die Hälfte. Die maximalen Setzungen betrugen etwa 2 cm. Deformationen dieser Grössenordnung waren bereits in der Projektierungsphase erwartet worden, und die Wehrkonstruktion wurde entsprechend konzipiert, das heisst ohne Dilatationsfuge in Flussrichtung und mit entsprechend höherem Armierungsgehalt. Durch die Flutung der Baugrube Phase 2 wurde ein Teil dieser Verschiebung erwartungsgemäss wieder kompensiert.

A4.4 Stauwehr (Bild A4-6)

Das *Stauwehr* besteht aus vier Wehröffnungen von je 14,50 m lichter Weite, drei Wehrpfeilern von 4 m Breite sowie einem rechts- und einem linksseitigen Widerlager. Im rechten Widerlager sind ein Treppenhaus sowie diverse Räume für die Antriebsaggregate und die Steuerung der Wehrschützen untergebracht. Über die Wehrpfeiler führt eine 7,5 m breite Wehrbrücke. Sie dient ausschliesslich betrieblichen Zwecken. Die hydraulisch günstig geformte Wehrschwelle bildet die Sohlstufe zwischen dem ausgebaggerten Unterwassergerinne und dem Stauraum mit der ursprünglichen Flusssohle. Da die Schwelle nur

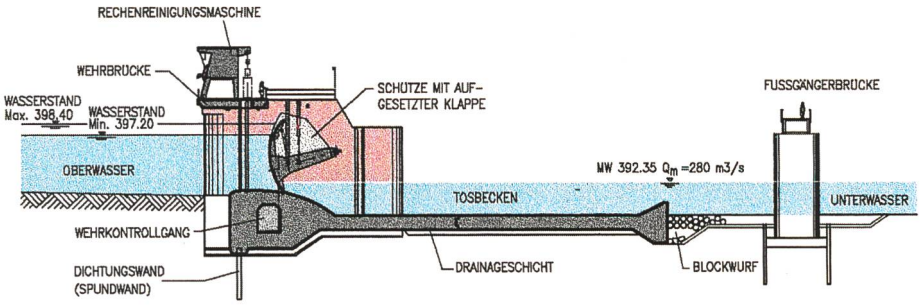

Bild A4-6. Längsschnitt Wehr.

unwesentlich über die Stauraumsohle hinausragt, ist der Geschiebedurchgang gewährleistet. Durch die Schwelle führt ein Kontrollgang von 2,5 m Breite und 3 m Höhe. Die Abmessungen erlauben, allfällig erforderliche Injektionsarbeiten zur Verhinderung von Unterströmungen des Wehres von diesem Gange her ausführen zu können. Weiterhin dient der Gang als Kabel- und Leitungskanal wie auch als Fluchtweg aus den unteren Geschossen des Maschinenhauses. Vom Kontrollgang können über Schächte in den Wehrpfeilern, in denen ebenfalls Kabel und Leitungen geführt werden, die Pfeileroberflächen und die Wehrbrücke erreicht werden.

Unterwasserseitig der Wehrschwelle schliesst eine Tosbeckenplatte von 35 m Länge mit einer über die Flusssohle hinausragenden Endschwelle an. Diese Endschwelle dient der besseren Energievernichtung bei Abflüssen über das Wehr.

Das gesamte Wehr ist auf dem gut durchlässigen und mitteldicht gelagerten Aareschotter flach fundiert. Die an das Maschinenhaus angrenzende Wehröffnung liegt auf der Maschinenhaushinterfüllung. Zur Verminderung übermässiger Setzungen wurden die Schwelle und die Tosbeckenplatte auf eine fest mit dem Maschinenhaus verbundene Konsole aufgelagert. Die Unterströmung der Wehrschwelle durch den darunter liegenden Schotter wird durch eine Dichtungsspundwand verhindert. Diese wurde zwischen 2 und 3 m in die ca. 5 m tiefer liegende Seebodenlehmschicht eingebunden. Die Wehrschwelle und die Wehrpfeiler sind monolithisch erstellt worden. Die Tosbeckenplatte ist durch eine Dilatationsfuge quer zur Fliessrichtung von der Wehrschwelle abgetrennt.

Auf der Rothrister Seite, am rechten Ufer und angrenzend an das Widerlager, befindet sich die Boot-Transportanlage. Unter- und oberwasserseitige Einfahrten und Verladestellen sind durch Ufermauern vom Hauptgerinne abgetrennt. Dadurch können sie sicher erreicht werden.

Die eigentliche Übersetzanlage bildet eine Standseilbahn mit einem Boot-Transportwagen, der auf Bahngeleisen über einen Kulminationspunkt im Bereich der Wehrbrücke zwischen Oberwasser und Unterwasser verkehrt. Es ist möglich, Boote bei allen Wasserständen ohne Hebezeuge zu verladen. Der Antrieb und die Steuerung der Anlage sind im rechten Wehrwiderlager untergebracht.

Die stahlwasserbauliche Ausrüstung des Wehres besteht aus einem Satz Oberwasserdammbalken und vier hydraulisch angetriebenen Segmentschützen mit aufgesetzten Klappen. Auf die Anschaffung von unterwasserseitigen Dammbalken wurde verzichtet. Getroffene bauliche Vorkehrungen erlauben allerdings, allfällige Unterwasser- oder die Oberwasserdammbalken mit einem Mobilkran einzusetzen.

Die Oberwasserdammbalken dienen als Notverschluss und werden auch für Revisionszwecke eingesetzt. Es sind drei mit Rollen ausgerüstete Balkenelemente, die auch bei strömendem Wasser einsetzbar sind. Sie werden mit Hilfe eines Zangenbalkens mit der Rechenreinigungsmaschine, deren Geleise über die Wehrbrücke führen, versetzt. Die Dammbalken werden in einem abdeckbaren Schlitz über den Turbineneinläufen des Maschinenhauses gelagert.

In allen vier Wehröffnungen wurden die gleichen Wehrschützen eingebaut. Sie bestehen aus einem Drucksegment von ca. 6 m und einer aufgesetzten Klappe von 1,7 m Höhe. Die Stauhöhe beträgt maximal 7,40 m. Je nach Wasserführung der Aare erfolgt die Regulierung bzw. die Stauhaltung mit den Maschinengruppen durch das Absenken der Stauklappen oder, bei Hochwasser, durch das Heben der Segmente. Jedes Segment wird durch zwei Hubzylinder, die an den Stützarmen angreifen, bewegt. Die Klappen besitzen einen eigenen ölhydraulischen Antrieb, der jeweils in Klappenmitte angebracht ist und sich auf den Segmentkasten abstützt. Das Senken der Klappen und der Segmente erfolgt auf Schwerkraftbasis. Die Ölhydraulikaggregate und die Steuerungseinheiten sind in den Räumen des rechten Widerlagers untergebracht. Bei Ausfall der internen Energieversorgung besteht die Möglichkeit, über das unabhängige Netz von Rothrist Energie zu beziehen oder aber die Schützen mit einem dieselgetriebenen Nothydraulikaggregat zu bewegen. Der Einbau einer Heizung an den Dichtungsreibflächen der Schützen gewährleistet den Wehrbetrieb auch im Winter bei tiefen Temperaturen. Zusätzlich wird eine in der Wehrschwelle eingebaute Luftschleieranlage die Wasseroberfläche vor den Schützen eisfrei halten.

In der ersten Bauphase bzw. innerhalb deren Baugrubenumschliessung wurden drei Wehrfelder, die Boot-Transportanlage sowie ein Teilstück der Fussgängerbrücke gebaut. Für den Aushub wurden konventionelle Geräte eingesetzt. Dagegen erfolgte der Abtransport des Aushubmaterials zu den Schüttstellen im Stauraum zum grössten Teil per Schiff auf der Aare. Die Ausführung der Stahlbetonarbeiten wurde am rechten Ufer, mit der Wehrschwelle und dem Widerlager, begonnen und Richtung Flussmitte fortgesetzt. Die gesamten Bauarbeiten, inklusive die Betoneinbringung, wurden mit Hilfe von zwei leistungsfähigen Turmdrehkranen bewerkstelligt. Als Beton wurde ein B25/35 mit einer Körnung 0–32 mm verwendet. Die Bindemitteldosierung betrug 250 kg Zement und 50 kg Flugasche. Damit wurden eine geringere Abbindetemperatur, ein kleineres Schwindmass und eine geringere Neigung zur Rissbildung und entsprechend eine bessere Wasserdichtigkeit erreicht. Der Beton wurde mit Trommelmischern zugeführt. Für die Rohbauarbeiten der drei Wehröffnungen, der Wehrbrücke, der rechtsseitigen Ufermauern sowie der Boot-Transportanlage mit einer Betonkubatur von total 12500 m^3 standen knapp sieben Monate Bauzeit zur Verfügung. Das ergab eine mittlere tägliche Betoneinbringleistung von ca. 100 m^3.

Entsprechend dem Fortschritt der Rohbauarbeiten erfolgten die Montagen und das Einbetonieren der Dammbalken- und Schützenarmaturen. Darauf erfolgte die Montage der Wehrverschlüsse. Der Antransport der grossen Stahlteile erfolgte über die Baubrücke und über eine Transportpiste direkt auf die Tosbeckenplatte. Von dort wurden die Wehrschützen und Klappen mittels eines grossen Mobilkranes montiert. Die sehr zügig und flexibel ausgeführten Arbeiten für die Montage und Inbetriebsetzung der Wehrverschlüsse haben unter anderem wesentlich dazu beigetragen, dass die Terminvorgaben für die Bauphase 1 eingehalten werden konnten.

A4.5 Maschinenhaus (Bilder A4-7 bis A4-9)

Das *Maschinenhaus* liegt in der Verlängerung der Stauwehrachse am Solothurner Ufer. Seine Abmessungen werden weitgehend

durch das hydraulische Profil der beiden Maschinengruppen bestimmt. Der Unterbau gliedert sich auf in die Bereiche des Einlaufes, des Turbinenschachtes und des Saugrohres. In Fliessrichtung weist es eine totale Länge von 62 m auf. Ober- und unterwasserseitig schliessen die als Rampen ausgebildeten Einlauf- und Auslaufplatten an. Bei einem Abstand der Turbinenachsen von 17,1 m ergibt sich eine Unterbaubreite von 37 m. Die für die Fundation massgebende Bodenplatte liegt auf Kote 375,00, somit 10 m tiefer als die Unterkante der Wehrschwelle, aber auch *ca. 21 m unter dem vorhandenen Stauspiegel.* Der Pumpensumpf zwischen den beiden Saugrohren ist der tiefstliegende Bauwerksteil.

Da die Gebäudeunterkanten zum grössten Teil in geologisch ungünstigen Feinsandschichten liegen, ist das Bauwerk mit Pfählen auf dem darunterliegenden Molassefels aufgelagert. Die Tiefenfundation besteht im Wesentlichen aus fünf Längs- und einer Querpfahlwand. Letztere wirkt zusätzlich als Dichtungselement gegen Unterströmungen. Die Gesamtlänge der insgesamt gut 400 erstellten Bohrpfähle beträgt 4500 m.

Über dem Einlaufbereich liegt der Generatorvorraum. In ihm endet der Stahlschacht, in dem sich der Generator, das Getriebe und die Turbinenlager befinden. Über den Saugrohren sind diverse Räume für elektrische Einrichtungen angeordnet. Dazwischen liegt der Turbinenschacht. Er wird einzig vom Triebwasserleitungssystem mit Leitapparat, Laufradmantel und Saugrohrverbindung durchquert. Bei Montagen und Revisionen dient der Schacht als Zugang zum Laufrad. Auf der Kote des Maschinensaalbodens ist er mit einem befahrbaren Deckel abgeschlossen. Treppenhäuser links- und rechtsseitig des Unterbaus sowie ein Lift erschliessen alle Geschosse des Maschinenhauses. Dem Maschinensaal oberwasserseitig vorgelagert ist der Rechenboden auf Kote 401,00 m ü.M. Auf ihm verkehrt die Rechenreinigungsmaschine. Im Rechenboden eingelassen sind die Geschwemmselrinne und die Wehrdammbalkenlager. Unterirdische Räume land- und oberwasserseitig des Rechenbodens dienen der Lagerung der Einlaufdammbalken. In diesen Räumen installiert sind ebenfalls die Einrichtungen für die Geschwemmselentsorgung mit den dafür erforderlichen Containern. Ein Vorbau mit Betriebs- und Büroräumen schliesst unterwasser- und landseitig an den Maschinensaal an.

Die Zufahrt zum Maschinenhaus erfolgt von der Unterwasserseite her. Der Rechenboden, der Geschwemmselcontainerraum und die Wehrbrücke werden über eine seitlich am Maschinenhaus vorbeiführende Rampe erreicht. Diese Rampe als Durchgang vom Ober- ins Unterwasser steht neben dem Werkverkehr auch den Fussgängern und Velofahrern zur Verfügung und ist Bestandteil eines regionalen Wanderweges.

Bild A4-7. Rohbau: Spezialschalungen für Einläufe und Saugrohre in verschiedenen Erstellungsphasen.

Das Trinkwasser wird von der Wasserversorgung der Gemeinde Rothrist bezogen. Die Entsorgung des Abwassers erfolgt mit der kürzlich gebauten Kanalisationsdruckleitung der Gemeinde Boningen zur Kläranlage Aarburg. Beide Leitungen überqueren die Aare in der neu erstellten Fussgängerbrücke. Das Sicker- und Drainagewasser des Maschinenhauses wird im Pumpensumpf gesammelt und über eine Ölabscheideranlage mit Koaleszenzfilter ins Unterwasser gepumpt.

Die Ausrüstung des Stahlwasserbaues für das Maschinenhaus besteht aus Einlaufrechen, je einem Satz Einlauf- und Auslaufdammbalken für eine Maschinengruppe sowie der Rechenreinigungsmaschine und dem Geschwemmselentsorgungssystem.

Die Rechen weisen eine Schrägstellung von 15 Grad auf und decken je eine Einlauföffnung mit den Abmessungen von 16 × 15 m ab. Die einzelnen Rechenelemente stützen sich dabei auf Auflager am Rechenfuss und Rechenkopf sowie auf drei fischbauchförmigen Zwischenträger ab. Der Rechenstababstand beträgt 150 mm.

Die zehn Elemente des Satzes der Oberwasserdammbalken werden mit der Rechenreinigungsmaschine versetzt. Sie sind als Notschlussorgane konzipiert und können so auch unter Strömung versetzt werden. Im Schutze dieser Portaldammbalken kann der gesamte Rechen im Trockenen einer Revision unterzogen werden. Die Dammbalken werden in einem Raum unter der Terrainoberfläche gelagert. Als Unterwasserabschluss stehen Rolldammbalken zur Verfügung. Die vier Elemente werden von der unterwasserseitigen Plattform aus mit einem Mobilkran versetzt. Die Lagerung der Dammbalken erfolgt hängend über den Ausläufen.

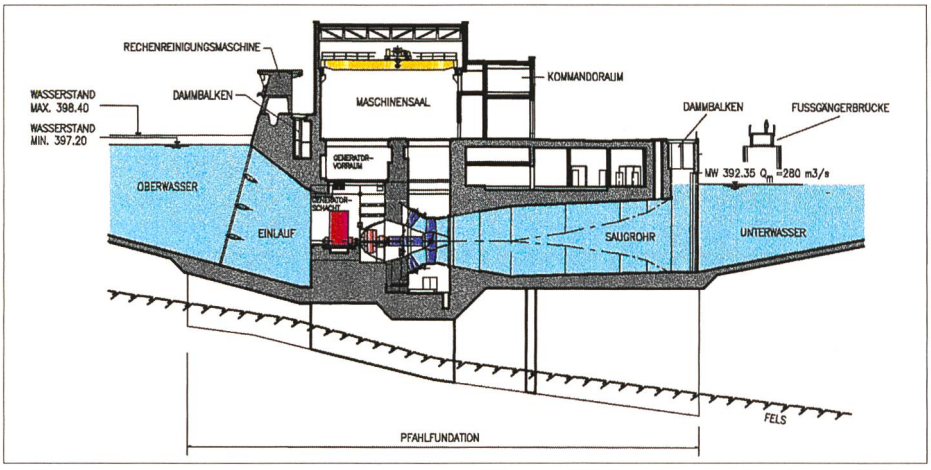

Bild A4-8. Längsschnitt Maschinenhaus.

Bild A4-9. Die beiden mächtigen Einläufe.

Um die anvisierten Endtermine für die Inbetriebsetzung einhalten zu können, erforderten sowohl die Rückbauarbeiten für die Baugrube der Phase 2 wie auch die abschliessenden Flussbaggerungen eine möglichst frühzeitige Flutung dieser Baugrube, dies zu einem Zeitpunkt, an dem die Montagearbeiten beider Maschinengruppen unter Hochdruck liefen. Die frühzeitige Flutung bedingte deshalb, dass die Ein- und Ausläufe beider Maschinengruppen verschlossen wurden. Da nur ein eigener Satz Einlauf- wie Auslaufdammbalken vorhanden war, wurden durch den Stahlwasserbauunternehmer Dammbalken von anderen Kraftwerksbetrieben zugemietet und den örtlichen Gegebenheiten temporär angepasst.

Die Rechenreinigungsmaschine ist in der Lage, auf Grund einer Rechenverlustmeldung beide Maschineneinläufe automatisch zu reinigen und das Geschwemmsel in der Rinne zu deponieren. Von dort wird das Geschwemmsel in die Auffangcontainer gespült. Zur Verfügung stehen zwei Container, welche wahlweise beschickt werden können. Der Containerlagerraum liegt ebenfalls unter der Terrainoberfläche. Zur Entsorgung des Geschwemmsels werden die vollen Container mit einer Hebebühne auf den Rechenboden angehoben und per Lastwagen abtransportiert.

Anfang 1998, unmittelbar nach der Flutung der Wehrbaugrube, konnten die Arbeiten für die Baugrube der Phase 2 termingerecht in Angriff genommen werden. Die Erstellung der Baugrubenabschlüsse dauerte drei Monate, und nach Trockenlegung der Baugrube erfolgten die Aushubarbeiten und Installationen für die Wasserhaltung. Da die Fundationskote des Maschinenhauses im Bereich der Wasser führenden Feinsandschichten lag, waren sowohl die Wasserhaltungsmassnahmen, bestehend aus offener Wasserhaltung sowie Gross- und Kleinfilterbrunnen, wie auch die Etappierung des Aushubes und die Ausführung der Bohrpfahlfundation eine bautechnische Herausforderung. Auf Grund der geologischen Verhältnisse fielen diese Arbeiten wesentlich umfangreicher aus als vorgesehen und beanspruchten darum auch mehr Zeit. Insbesondere mussten wegen der stark variierenden Felsoberfläche mehr und längere Bohrpfähle erstellt werden. Anfang September 1998 waren diese Arbeiten so weit fortgeschritten, dass der erste Konstruktionsbeton eingebaut werden konnte. Im Gegensatz zum Wehr und obwohl drei leistungsfähige Turmdrehkrane installiert waren, erfolgte das Einbringen des Betons mit mobilen Betonpumpen. Gründe dazu waren die teilweise sehr grossen Betonieretappen sowie das sehr enge Bauprogramm.

In einer ersten Bauetappe wurden der terminkritische Maschinenhausunterbau und der Maschinensaal gebaut. Nach knapp einem Jahr waren diese Bauwerksteile im Rohbau fertig gestellt und konnten für die Maschinensaalkran-, die Turbinen- und die Stahlwasserbaumontagen sowie die Innenausbauarbeiten an weitere Unternehmer übergeben werden. Die zweite Bauetappe umfasste die Erstellung verschiedener Nebenbauwerke wie Dammbalkenlager, Geschwemmselcontainerraum, Abflusskontrollbauwerk, Ufermauern, Ein- und Auslaufplatten. Gleichzeitig mit dieser Etappe erfolgten die Hinterfüllung des Maschinenhauses und die Ausführung des Wehrfeldes 1. Entsprechend dem jeweiligen Arbeitsfortschritt und den Erfordernissen wurden die Zweitbetonarbeiten für die Maschinengruppen und den Stahlwasserbau ausgeführt. Die Arbeiten dieser Etappe dauerten bis Ende Februar 2000. Anschliessend erfolgten die Flutung und der Rückbau der Baugrube. Die Inbetriebnahmeversuche für die erste Maschinengruppe konnten kurz darauf programmgemäss beginnen.

A4.6 Erd- und Flussbauarbeiten

Neben den Erdarbeiten bei der eigentlichen Kraftwerksbaustelle, d.h. im Wesentlichen während des Voraushubs am linken Ufer für die Aareumleitung, Bauphase 1 und der Aushübe der beiden Baugruben, erstreckte sich der Ausführungsbereich der erd- und flussbaulichen Arbeiten auf fast die ganze Konzessionsstrecke, also von Murgenthal bis zur Wiggermündung oberhalb von Aarburg. Der Umfang dieser Arbeiten für die ökologischen Massnahmen ist detailliert im Kapitel A8 beschrieben. Die Ausführung selbst war stark von der Witterung abhängig und war zudem mit umfangreichen Koordinations- und Logistikaufgaben behaftet.

Vom flussbaulichen Standpunkt aus interessant war die Aareausbaggerung unterhalb des neuen Kraftwerkes (Bild A4-10). Dort musste zum Schutze der Ruppoldinger Inseln und zur vollen Nutzung der Staustufe die Abflusskapazität des Gerinnes durch eine Sohlenausbaggerung vergrössert werden.

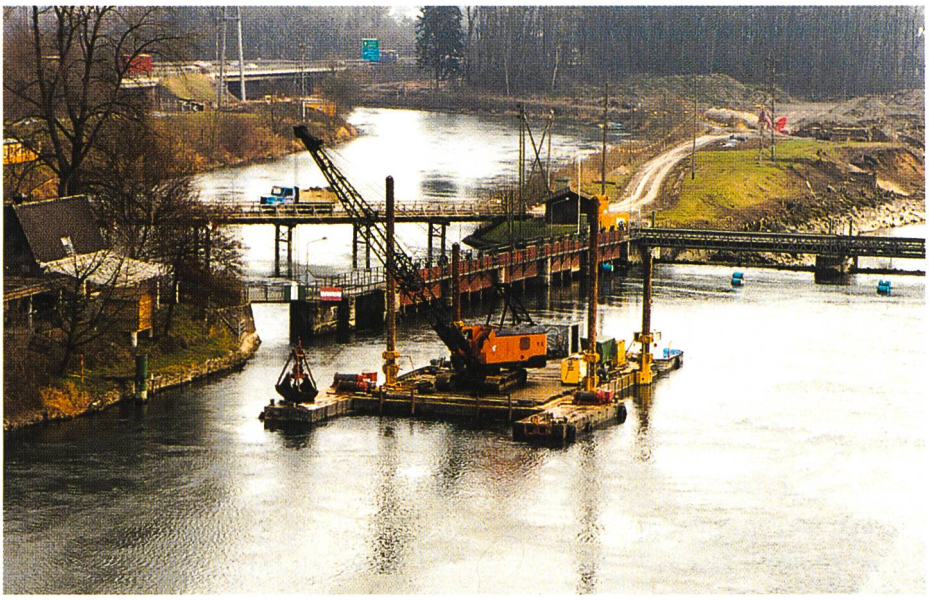

Bild A4-10. Baggerungen in der Aare.

Die Baggerarbeiten zwischen den beiden Wehren wurde während der Bauphase 1 schwimmend ab einem Ponton mit einem Seilbagger ausgeführt. Der Materialabtransport zu den Schüttstellen im Stauraum erfolgte per Schiff. Auflagenbedingt musste auf die winterlichen Fischlaichzeiten Rücksicht genommen werden. Diese Auflage und der grosse Umfang der Arbeiten hatten zur Folge, dass die Baggerungen nur etappenweise während der Sommermonate 1997 bis 2000 ausgeführt werden konnten. Die Baggerungen unterhalb des alten Wehres erfolgten ab Dämmen und Pisten aus Aushubmaterial. Die Aushubtiefe ab Dammoberkante betrug ca. 5,5 m. Als Aushubgeräte wurden Hydraulikbagger eingesetzt. Der Materialabtransport erfolgte durch Grossdumper oder Lastwagen. Da einzelne Schüttstellen nur per Schiff erreicht werden konnten, musste Kiesmaterial auch zwischendeponiert werden. Im Zuge dieser Baggerungen wurden auch die Böschungssicherungen entsprechend ergänzt.

Aus den Baugruben und der Aare wurden gesamthaft ca. 650 000 m^3 Material ausgehoben und ca. 32 000 Tonnen Blockwurf aus Kalkstein eingebaut.

Der *Bewirtschaftung* des Aushubmaterials kam grosse Bedeutung zu. An verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten wurden qualitativ verschiedene Materialien gewonnen, während zu anderen Zeitpunkten an anderen Orten qualitätsabhängig Material eingebaut werden musste. Lehmiger, feinsandiger und organisch verschmutzter Kies sowie Altlastmaterial mussten grundsätzlich aussortiert und in Unternehmerdeponien abgeführt werden. Für die flussbaulichen Gestaltungen konnte nur qualitativ gutes Material verwendet werden. Je nach Verwendungsort und -zweck musste Kiesmaterial auf der Baustelle aufbereitet und teilweise in einzelne Kornfraktionen aussortiert werden. Das qualitativ gute Material wurde fast gänzlich wieder auf der Baustelle verwendet und eingebaut. Überschüssiges Kiesmaterial wurde nur sehr wenig abtransportiert.

A4.7 Rückbau alte Anlagen

Die alten Kraftwerksanlagen, welche zu Ende des 19. Jahrhunderts erstellt wurden, mussten dem Neubau weichen.

Der Rückbau des alten Wehres erfolgte in zwei Etappen: In einer ersten Etappe wurde oberwasserseitig des Wehres, im Bereich der rechten Wehrhälfte, ein Damm geschüttet, von dem aus die Rückbauarbeiten dieses Teils des Wehres ausgeführt wurden. Dabei konnte der ehemalige Oberwasserkanal noch zusätzlich als Ableitung von Aarewasser verwendet werden. Nach dem Rückbau des Betonkörpers des Wehres wurde die Flusssohle entsprechend den hydraulischen Anforderungen abgetieft.

Die linksseitige Wehrhälfte konnte anschliessend ohne Schüttdamm rückgebaut werden. Die Ableitung der Aare erfolgte durch die Lücke des bereits abgebrochenen Wehrteiles. Die Rückbauarbeiten profitierten von einer recht geringen Wasserführung der Aare.

Die Rückbauarbeiten des Maschinenhauses sowie des Einlaufwehres konnten dank einer Vorschüttung für die Gestaltung des Ufers praktisch im Trockenen ausgeführt werden.

Alle rückgebauten Materialien mussten entsprechend einem Entsorgungskonzept sortiert und aufbereitet oder deponiert werden.

A5 Die elektromechanischen Hauptkomponenten

■ *Martin Hüsler*

A5.1 Getriebeschachtturbine

Im Maschinenhaus sind zwei Getriebeschachtturbinen eingebaut (Tabelle A5-1), welche über Getriebe die in horizontaler Achse liegenden Generatoren antreiben. Die geringe Fallhöhe ergibt zusammen mit der grossen Schluckwassermenge ein entsprechend grosses Laufrad mit einer niedrigen Drehzahl. Ein hohes Verhältnis von Durchbrenndrehzahl zu Nenndrehzahl ist für diesen Turbinentyp charakteristisch und war für die Festlegung der Generatorendrehzahl massgebend. Die Turbine verfügt über ein Radiallager, angeordnet zwischen Laufrad und Getriebekupplung. Der positive bzw. negative Axialschub wird vom Laufrad über die Turbinenwelle auf die Getriebewelle übertragen und vom Axiallager im Getriebe aufgenommen.

Das Turbinengehäuse bzw. der Generatorschacht, bestehend aus vier zusammengeschweissten Hauptteilen, ist für einen späteren Höherstau von 0,5 m ausgelegt. Im Eintrittsbereich (Bulb) ist ein Spaltkühler integriert. Dieser Wasser-Wasser-Wärmetauscher erlaubt die Rückkühlung des von Generator, Getriebe und Transformator erwärmten Kühlwassers durch das Triebwasser.

Der Leitapparat mit Schliessgewicht und Hydrauliklenkern zwischen jeder zweiten Leitschaufel und dem Regulierring sorgen zusammen mit den unter Strömung einsetzbaren Portaldammbalken für ein zu jeder Zeit sicheres Schliessen der Maschine.

Im Auftrag des Turbinenlieferanten wurden für die neuen Getriebeschachtturbinen im Labor der Anstalt für Strömungsmaschinen (Aströ) in Graz (A) im Sommer 1996 *Modellversuche* durchgeführt. Zweck der Versuche waren die Entwicklung einer neuen Turbinenhydraulik und der Nachweis der hydraulischen Garantien, im Wesentlichen der Jahresarbeit, der Leistung, der Kavitationsreserve und der Durchbrenndrehzahl. Zusätzlich wurden das Leitschaufeldrehmoment (im und ausserhalb des Verbandes), das Stillstands- sowie das Planschmoment und die Differenzdrücke (Winter-Kennedy) gemäss Pflichtenheft gemessen.

Die Affinität der hydraulischen Konturen des Modells zur Wirklichkeit erstreckte sich vom Einlauf (Messquerschnitt nach dem Rechen) bis zum Saugrohraustritt (Messquerschnitt vor dem Saugrohraustritt). Der Bezugsdurchmesser des Modellrades betrug D_1= 340 mm. Somit ergab sich mit dem Laufraddurchmesser am Prototyp D_1= 5900 mm ein Modellmassstab von 1: 17,353.

Das Laufrad (Bild A5-1), bestehend aus vier Schaufeln, der Laufradnabe und dem in der Nabe integrierten Laufradservomotor, ist im Werk komplett zusammengebaut, vermessen und so auf die Baustelle transportiert worden. Die gegossenen Laufradschaufeln sind aus korrosionsfestem Stahlguss 13/4 ausgeführt. Von aussen auswechselbare Laufschaufeldichtungen in bewährter Konstruktion verhindern den Austritt von Nabenöl und den Eintritt von Triebwasser.

Anzahl Getriebeschachtturbinen	2
Laufraddurchmesser D_1	5900 mm
Turbinendrehzahl	64,0 min^{-1}
Durchbrenndrehzahl	195,0 min^{-1}
Bruttofallhöhenbereich (Pegeldifferenz)	3,6–6,3 m
Schluckwassermenge pro Turbine	275 m^3/s
Nennleistung	11,5 MW *
Einbaukote Laufrad	385,0 m ü.M.
Minimale Unterwasserkote	390,95 m ü.M. bei Q_{Aare} = 83 m^3/s
Mittlere Jahresenergieproduktion der Turbinen	119,4 GWh
Auslegung für Inselbetrieb	nein

* Maximale Turbinenleistung > 11,5 MW; Begrenzung durch Getriebenennleistung.

Tabelle A5-1. Kenndaten der neuen Turbine.

Die Hauptlagerung der Laufschaufeln erfolgt mittels Tellerlagerung. Die Laufradverstellung geschieht durch Gleitsteine. Durch diese kompakte Bauweise verringert sich das Nabenölvolumen gegenüber herkömmlicher Konstruktionen massgeblich. Ausserdem kann das fertig geprüfte Laufrad als geschlossene Einheit montiert werden. Die Haube wird anschliessend angebracht und hat nur noch eine wasserführende Funktion. Sie ist offen und kann sich mit Betriebswasser füllen.

Der Leitapparat wird aus Sicherheitsgründen mit Hilfe eines Schliessgewichtes in die Geschlossenstellung gebracht. Zum Öffnen ist Drucköl notwendig. Jede zweite Verbindung zwischen Leitschaufel und Regulierring ist mit einem Hydrauliklenker ausgerüstet. Falls bei einem Schliessvorgang Fremdkörper zwischen zwei Leitschaufeln gelangen, nimmt der betroffene Hydrauliklenker die nötige Auslenkung auf, ohne Deformation irgendwelcher Maschinenkomponenten. Zusätzlich verfügen die Leitschaufeln über den gesamten Verstellbereich über hydraulisch schliessende Tendenz.

Die konischen Leitschaufeln mit den integrierten Zapfen bestehen aus Stahlguss GS 20 Mn 5.

Die Turbinenwellen mit den integrierten Flanschen bestehen aus Schmiedestahl 20 Mn 5. Sie sind mit drei teilweise durchgehenden Bohrungen versehen, welche der Einführung von Druck- und Nabenöl in den Laufrad-Servomotor dienen. Die Flanschverbindungen zum Laufrad und zum Getriebe sind als Reibschlusskupplungen ausgeführt.

Als Wellendichtung wurde eine Lippendichtung eingebaut, die als Gegenlauffläche Keramikplatten aufweist. Als Kühl- und Schmiermittel der Lippendichtung dient Betriebswasser. Somit kann auf die Zuführung von aufbereitetem Sperrwasser verzichtet werden. Die überwachte Leckwassermenge wird zur Beurteilung der Dichtungsfunktion herangezogen. Eine von Hand bedienbare Revisionsdichtung erlaubt den Zugang zur Lippendichtung ohne das Trockenlegen der Turbine und schützt vor einem grösseren Wassereinbruch bei einer allfälligen Beschädigung der Lippendichtung.

Jede Gruppe ist mit einem Turbinenregel- und Steuerschrank ausgerüstet. Darin sind der Hauptregler, die Notsteuerung, die Drehzahlmesseinrichtung und die Vibrationsüberwachung eingebaut. Neben den üblichen Hauptfunktionen wie Positionierung Leitrad/Laufrad, Öffnungs-, Leistungs- und Abflussregelung sind auch Spülsteuerungen – ausgelöst durch eingeklemmte Gegenstände im Leitrad bzw. ein verschmutztes Laufrad – oder das Finden des optimalen Leitrad-Laufrad-Zusammenhanges implementiert.

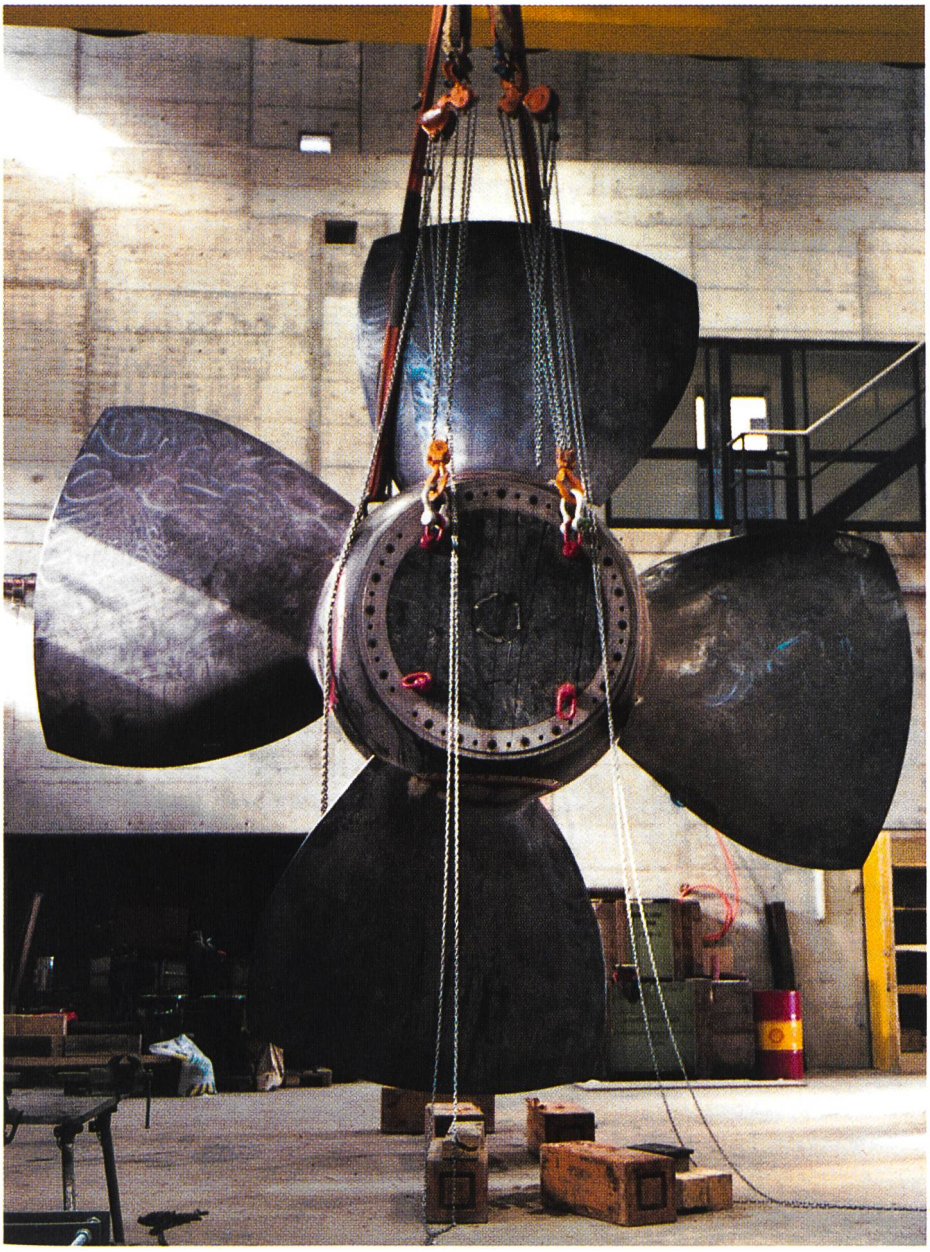

Bild A5-1. Laufradmontage.

A5.2 Getriebe (Tabelle A5-2 und Bild A5-2)

Wegen der geringen Turbinendrehzahl ist aus wirtschaftlichen Überlegungen zwischen der Turbine und dem Generator ein Drehzahlerhöhungsgetriebe eingebaut. Dieses einstufige Planetengetriebe ist über einen Flansch starr mit der Turbinenwelle verbunden. Der von der Turbine verursachte positive und negative Axialschub wird von einem im Gehäuse integrierten doppeltwirkenden Kippsegment-Axiallager aufgenommen. Der für ein Niederdruckkraftwerk schnelllaufende Generator ist über eine Zahnkupplung mit limitiertem Axialspiel mit dem Planetengetriebe verbunden. Dadurch ist gewährleistet, dass Wellenverlagerungen optimal ausgeglichen werden.

Sonnenritzel und Planetenträger bestehen aus legiertem Stahl. Die Zahnflanken sind einsatzgehärtet und mit den nötigen Längs- und Profilkorrekturen geschliffen. Dadurch wird unter Last ein optimales Tragbild erreicht.

Die Innenzahnkränze sind aus vergütetem Stahl hergestellt und präzisionsgehobelt.

Gehäuseteile und Planetenträger wurden als Schweisskonstruktion ausgeführt. Das Gehäuse ist für Flanschmontage konzipiert. Die Krafteinleitung in das Turbinengehäuse erfolgt dadurch optimal auf der Höhe der Wellenachse.

Getriebe, Turbine und Generator verfügen über eine gemeinsame Schmierölversorgung mit allen notwendigen Pumpen, Kühlern, Heizungen, Filter und Überwachungseinrichtungen. Eine Druckölentlastung in allen Radiallagerstellen verhindert Mischreibung während des Anfahrens und Abstellens der Maschinengruppe.

Auf Grund der qualitativ hochstehenden Fertigung der einzelnen Getriebeteile zeichnet sich das Planetengetriebe durch einen – für Getriebe dieser Art – besonders ruhigen Lauf aus. Der vom Getriebe verursachte Gesamtschallpegel liegt unter 90 db(A).

A5.3 Generator: Auslegung, Konstruktion, Ausführung

Der Dreiphasen-Synchrongenerator (Tabelle A5-3) ist über eine Zahnkupplung mit dem Getriebe gekuppelt. Die Maschine ist vollständig geschlossen und für Kreislaufkühlung ausgelegt. Die Luftumwälzung erfolgt durch einen auf der Welle angebrachten Radialventilator in axialer Richtung. Rückgekühlt wird die erwärmte Luft durch einen (bzw. mit dem Heizkreis zwei) Luft-Wasser-Wärmetauscher. Durch die bei der hohen Schleuderdrehzahl von 2000 min^{-1} auftretenden mechanischen Belastungen wurden Rotor- und Polkörper aus einem massiven Stück gefertigt (Bild A5-3). Durch konstruktive Massnahmen konnte die erste biegekritische Drehzahl mit genügender Sicherheit über die Schleuderdrehzahl angehoben werden, sodass der Rotor unterkritisch läuft.

Der Generator ist mit einem an der Nichtantriebsseite angebauten Wechselstromerreger mit rotierenden Dioden versehen.

Der einteilige Stator besteht aus dem geschweissten Gehäuse, dem Statorblechkörper und der Statorwicklung. Nach dem Einbau der Wicklung in das Eisenpaket erfolgte die Trocknung und Imprägnierung der gesamten Einheit im Vakuumtank. Durch dieses Verfahren entsteht eine in isolationstechnischer und mechanischer Hinsicht sehr widerstandsfähige Wicklung. Stator- und Rotorwicklung entsprechen der Isolationsklasse F, werden aber nur nach Klasse B ausgenützt.

Der Rotorkörper und die beiden Wellenenden sind aus einem Schmiedestück gefertigt. Wegen der hohen mechanischen Belastung bei Schleuderdrehzahl wurden die Polköper aus dem geschmiedeten Zentralkörper ausgefräst. Die Polschuhe, welche die Fliehkräfte der Polspulen aufnehmen, sind mit den massiven Polkörpern verschraubt.

Jeder Generator ist mit zwei Gleitlagern mit Spülölschmierung ausgerüstet. Das Lager auf der Antriebseite übernimmt gleichzeitig die axiale Führung der Generatorwelle. Die Schmierung erfolgt nach dem Prinzip der hydrodynamischen Schmierung.

Die für den sicheren Maschinenstillstand notwendige Bremse ist im Generator eingebaut. Die Auslegung der pneumatischen Bremse berücksichtigt das Restantriebsmoment resultierend aus dem nicht vollständig geschlossenen Leitapparat der Turbine (Fremdkörper zwischen zwei Schaufeln).

Leistung	11,5 MW
Drehzahl (turbinenseitig)	64 min^{-1}
Drehzahl (generatorseitig)	600 min^{-1}
Drehzahlverhältnis	9,38
Gewicht	67 t (massgebendes Gewicht für Auslegung Maschinensaalkran)

Tabelle A5-2. Technische Daten Getriebe.

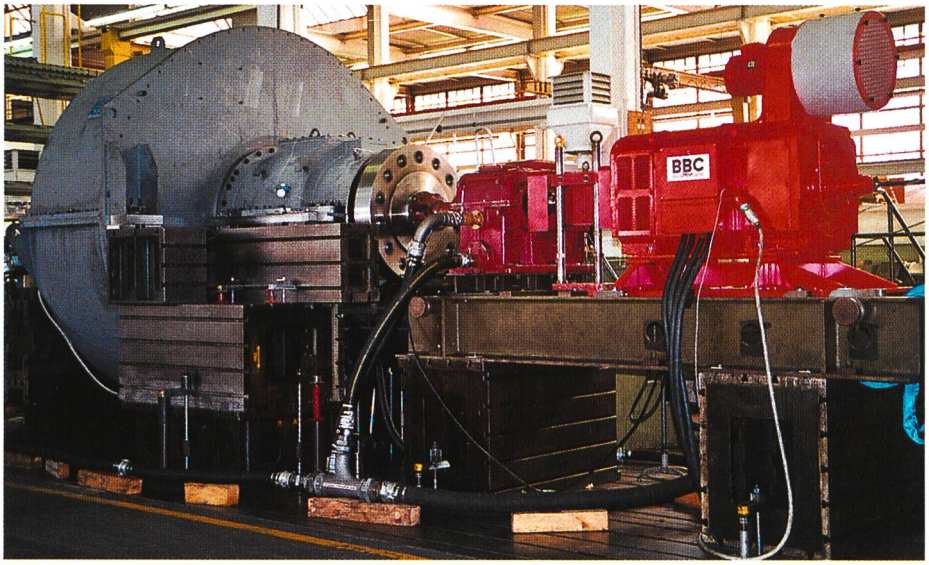

Bild A5-2. Getriebe beim Hersteller Maag auf dem Prüfstand.

Nennleistung	13,5 MVA
Nennleistungsfaktor cos φ (übererregt)	0,85
Nennspannung	10 kV
Nennstrom	779 A
Nennfrequenz	50 Hz
Nenndrehzahl	600 min^{-1}
Schleuderdrehzahl	2000 min^{-1}
Gewicht (kompl. inkl. Stator, Rotor, Lagerung)	54 t

Tabelle A5-3. Generatorkenndaten.

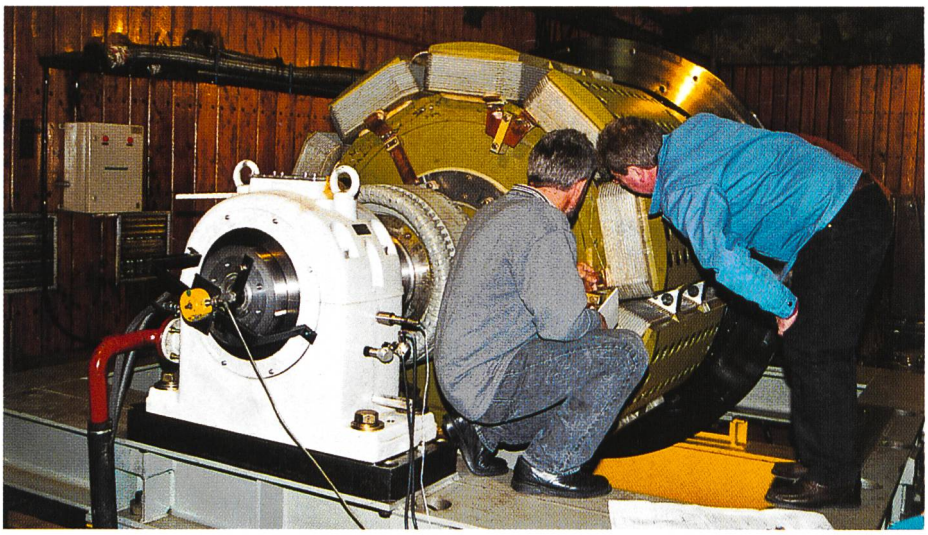

Bild A5-3. Generator beim Schleuderversuch.

A5.4 Kühlsystem/Abwärmenutzung

Das Kühlsystem besteht – pro Gruppe – aus einem offenen Primär- und einem geschlossenen Sekundärkreis (Tabelle A5-4). Der offene Primärkreis wird durch den Turbineneinlauf und das, das Generatorgehäuse umströmende, Triebwasser der Aare gebildet. An der Aussenseite des Generatorgehäuses ist ein Spaltkühler (Wasser-Wasser-Wärmetauscher) angebracht, der den Sekundärkreis rückkühlt. Der Sekundärkreis nimmt Verluste von Generator, Transformator und Schmieröl auf.

Wasserseitig getrennt vom Kühlkreis ist ein Heizkreis installiert, der einen Teil der anfallenden Generatorabwärme über einen im Generatorkühlluftkreis integrierten, separaten Luft-Wasser-Wärmetauscher für Heizzwecke direkt nutzen kann.

Das Rohrleitungsmaterial besteht aus Niro-Stahl (V2A). Spaltkühler, Pumpengehäuse und Armaturen sind aus schwarzem Stahl gefertigt. Spezielle Korrosionsschutzmassnahmen für schwarze Stahlteile im Sekundärkreis erübrigen sich, da dieser sauerstofffrei gefahren wird und dadurch korrosionsgeschützt ist.

Wassertemperaturen Primärkreis (min/max)	3/23 °C
Wassertemperaturen Sekundärkreis (Vorlauf / Rücklauf)	29/35 °C
Wassertemperaturen Heizkreis (Vorlauf / Rücklauf)	44/52 °C
Abzuführende Leistung Sekundärkreis pro Gruppe	470 kW
Leistung Heizkreis pro Gruppe	120 kW

Tabelle A5-4. Technische Daten Kühlsystem.

A6 Elektro- und Leittechnik

■ *Heiner Twers, Franz Jaeggi, Hans Zimmermann*

A6.1 Elektrische Anlagekomponenten

Der Standort des Kraftwerkneubaues liegt gegenüber dem abgebrochenen Altbau um mehr als 1 km flussaufwärts und erforderte eine neue Netzeinbindung. Die Frage nach dem optimalen Energieabtransport hatte umfangreiche Studien und Netzberechnungen zur Folge. Das alte Werk wurde aus Gründen der Verfügbarkeit in das 50-kV-Versorgungsnetz Gösgen-Flumenthal eingeschlauft. Gleichzeitig wurde auch eine Energieableitung in das lokale 16-kV-Netz Olten-Gäu betrieben. Die Netzberechnungen und die Auslegung der Synchrongeneratoren haben unter den nachstehend erwähnten Bedingungen eine wirtschaftliche und mit ausreichender Verfügbarkeit realisierbare Energieableitung ins lokale 16-kV-Netz aufgezeigt. Die Energieableitung der *Kraftwerksleistung von 2 × 11,5 MW* erfolgt durch zwei unabhängige Leitungsführungen. Die Freileitung in Richtung Stadt Olten (50/16-kV-Unterwerk Enge) liegt in dem von atmosphärischen Störungen weitgehend geschützten Ruttigertal. Zusätzlich ist der sehr schnelle Leitungsschutz mit einer Wiedereinschaltvorrichtung ausgerüstet. Die Ableitung in Richtung Gäu (50/16-kV-Unterwerk Kappel) ist eine reine Kabelleitung. Das Kraftwerk ist nicht für Inselbetrieb ausgelegt und kann bei einer grösseren Netzstörung erst nach dem Wiederaufbau des lokalen Versorgungsnetzes zugeschaltet werden. Alle für die Wasserhaushaltsregelung wichtigen Systeme, wie z. B. das Wehr, sind redundant versorgt und funktionieren auch bei einem Ausfall der ordentlichen Kraftwerksproduktion.

Der verbrauchernahe Abtransport der Kraftwerksproduktion auf tiefer Spannungsebene ist wegen der kurzen Übertragungsstrecken bis zu den Kunden wirtschaftlich sehr vorteilhaft.

Bei einer *Netzspannung* von 16 kV ist es technisch möglich, die Generatoren ohne Blocktransformatoren direkt ans Netz zu schalten. Eine *Nutzwertanalyse* ergab, dass die konventionelle Lösung mit verlustarmen Blocktransformatoren nur unwesentlich teurer ist. Durch die vorgeschalteten 16/10-kV-Transformatoren in Kombination mit Überspannungsableitern können jedoch die empfindlichen und teuren Generatoren optimal vor netzseitigen Störeinflüssen geschützt werden.

Die *Generatoren* und die *Transformatoren* sind in Blockschaltung miteinander verbunden, d.h. jedem Generator ist ein Transformator fest zugeordnet. Die Verbindung erfolgt mit XLPE-isolierten Einleiterkabeln. Zwischen dem Generator und dem Transformator ist jeweils eine 10-kV-*Generatorschaltanlage* eingebunden, welche bei Revisionen eine elektrische Trennung der beiden Komponenten ermöglicht und der Aufnahme von Schutzwandlern dient. Diese Schaltanlage befindet sich zusammen mit der Maschinensteuerung, dem Schutz und den Verteilungen für die Hilfsanlagen in einem lokalen Leitstand. Der Generator- und Blockschutz wird durch teilweise redundante, digitale Schutzrelais sichergestellt. Jede Maschine hat im 2. Untergeschoss ihren Maschinenleitstand.

Die Blocktransformatoren sind in Zellen im Erdgeschoss des Maschinenhauses aufgestellt. Es sind Dreiphasen-Öltransformatoren mit zwei unabhängigen Wasserkühlungen im Einsatz. Die Verlustwärme kann wie die der Generatoren für die Gebäudeheizung genützt oder via Spaltkühler in die Aare abgeführt werden. Damit die Spannungsübersetzung der Transformatoren veränderten Netzverhältnissen angepasst werden kann, sind oberspannungsseitig Spannungsumsteller vorgesehen. Die Transformatorzellen sind mit einer aktiven Gaslöschanlage versehen. Als Gewässerschutzmassnahme wird alles eventuell ausfliessende Öl in einer Auffangwanne mit einer Flammschutzabdeckung zurückgehalten. Ebenso sind die Montageplätze vor den Transformatorzellen über das Ölrückhaltesystem entwässerbar.

Die Verbindung zum lokalen 16-kV-Netz wird durch die *Netzschaltanlage* hergestellt, welche ebenfalls im Erdgeschoss des Maschinenhauses aufgestellt ist. Sie besteht aus typengeprüften, luftisolierten Schaltfeldern, in metallgekapselter, berührungssicherer Ausführung mit einem teilisolierten Sammelschienensystem. Die Leistungsschalter mit Vakuumschaltröhren sind ausfahrbar. Das Sammelschienensystem ist mit einer Längstrenneinrichtung bestückt.

In der Netzschaltanlage sind die Leistungsschalter der beiden Maschinengruppen eingebaut, mit welchen diese nach dem Hochfahren mit dem Netz automatisch synchronisiert werden. Die Energieableitung der gesamten Kraftwerksproduktion kann wie erwähnt über die unabhängigen Leitungsführungen nach den Unterwerken Kappel oder Enge erfolgen. Mit dem Öffnen der Sammelschienenlängstrennung kann diese Ringverbindung aufgetrennt und je eine Maschinengruppe einem Unterwerk zugeordnet werden.

Die Netzschaltanlage versorgt auch den Eigenbedarfstransformator des Kraftwerkes und weitere externe Verbraucher wie das unterhalb des Kraftwerkes liegende Ausflugsrestaurant Aareblick.

Die *Eigenbedarfsanlage* zur Versorgung der Hilfseinrichtungen des Kraftwerkes ist aus *Mulitcontrolmodulen* aufgebaut (Schubladen). Die einzelnen Leitungsabgänge können gegen Wiedereinschalten gesichert und durch Einschübe geerdet werden. Sämtliche Abgänge sind zudem über Schnittstellen zur Kraftwerksleittechnik überwacht und so in die Prozesssteuerung einbezogen. Zu den überwachten Hilfseinrichtungen zählen die Kühl-, Schmier- und Regeleinrichtungen der Maschinen, die Einrichtungen für die Rechenreinigung und die Antriebe der Segmente sowie die Klappen der Wehranlage. Die Eigenbedarfsanlage wird über den Eigenbedarfstransformator von der Netzschaltanlage und bei Netzausfall von einer *Diesel-Notstromgruppe* versorgt.

Der Eigenbedarfstransformator ist als dreiphasiger Giessharztransformator mit Selbstkühlung ausgeführt. Die Oberspannungswicklung ist mit Anzapfungen zur Anpassung der Übersetzung an eine veränderte Netzspannung ausgestattet.

Im *Notstromfall* werden alle nicht sicherheitsrelevanten Verbraucher wie die Hauptbeleuchtung, die Lüftung und die Spülsysteme gesperrt, damit genügend Leistung für die wesentlichen Verbraucher wie die Hydraulik der Wehrantriebe, Drainagepumpen, Turbinenhilfsbetriebe, Notbeleuchtung, Bat-

terieladegeräte usw. zur Verfügung steht. Auch bei Versagen der Notstromanlage werden die Turbinen sicher abgeschaltet, da das Schliessen der Leitschaufeln durch ein Schliessgewicht erfolgt. Das Öffnen der Wehre wird dann durch eine zusätzliche externe Einspeisung für die Hydraulikaggregate aus einem unabhängigen Netz oder einem zusätzlichen Nothydraulikaggregat sichergestellt.

Das Notstromaggregat ist im Erdgeschoss des Maschinenhauses aufgestellt und ist mit einem elektrischen Startsystem mit eigener Batterie ausgerüstet. Die Steuerung ist autonom und unabhängig von den übrigen Systemen.

Für Nebenanlagen wie die Lüftung und die Beleuchtung sind diverse Verteilungen in den einzelnen Geschossen installiert. Die haustechnischen Anlagen des Kraftwerkes werden über ein separates Gebäudeleitsystem gesteuert und überwacht.

Die Schutz- und Überwachungssysteme sowie die Kommunikationsanlagen des Kraftwerkes benötigen eine unterbrechungsfreie Stromversorgung. Diese besteht aus je zwei 48-V- und 110-V-Gleichstromsystemen und zwei 230-V-Wechselstromsystemen.

Die *110-V-Gleichstromsysteme* dienen der Versorgung der Schutz- und Steuereinrichtungen der Maschinen sowie der Schaltanlagen, und sie speisen auch die Wechselrichter an. Die Wechselrichter erzeugen eine unterbrechungslose Wechselspannung, welche für die Versorgung von einigen Schutz- und Überwachungseinrichtungen und der Bedienstationen des Kraftwerksleitsystems benötigt wird. Die *48-V-Gleichstromsysteme* sind für die Versorgung des Kraftwerksleitsystems selbst und der Kommunikationsanlagen ausgelegt.

Jedes Gleichstromsystem besteht aus einer Batterie mit Sicherungsschalter, einem Ladegerät und einer Verteilung. Als Batterien sind langlebige, wartungsarme Bleiakkumulatoren in einem separaten Batterieraum im 2. Untergeschoss installiert. Die Wechselrichter sind mit dem zugehörigen 110-V-Gleichrichter als handelsübliche «USV»-Anlage mit herausgeführtem Batterieanschluss ausgeführt und speisen je eine Wechselspannungsverteilung.

Für das Signalmanagement mit dem Kraftwerksleitsystem und der rechnergestützten Instandhaltung sind sämtliche Betriebsmittel durch ein normiertes *Kraftwerkskennzeichnungssystem* erfasst und beschildert.

Zur Minimierung von möglichen Brandschäden ist das gesamte Maschinenhaus in kleine Brandabschnitte unterteilt. Das Brandschutzkonzept beinhaltet auch die Führung der Fluchtwege und die Bereitstellung der Löschhilfen. Zur Sicherstellung des erwähnten Notbetriebes sind alle Kabelführungen zu sicherheitsrelevanten Systemen auf getrennten Kabelwegen geführt worden.

Bei allen Installationen wurde zudem, soweit technisch machbar, vom Bauherrn eine *halogenfreie Ausführung* zwingend vorgeschrieben. So sind insbesondere alle Kabel mit einer Leiterisolation aus halogenfreiem, flammwidrigem Kunststoff versehen, der bei Brandeinwirkung keine korrosiven Gase und nur wenige Rauchgase freisetzt, den Brand nicht fortleitet und selbstverlöschend ist. Bei der Beschaffung von etlichen Betriebsmitteln (Krananlagen, Transformatorensteuerungen usw.) war die Forderung nach halogenfreier Ausführung eine echte Herausforderung.

Die *Erdungsanlage* basiert auf einem Fundamenterdersystem, welches auch dem Hauptpotenzialausgleich und der Blitzstromableitung dient. Mit den im Beton speziell verlegten Leitern aus glattem Rundstahl ergeben sich niederohmige Ableitungen zu den Pfählen und den Spundwänden. Damit ist eine einfache und wirksame Erdung sichergestellt. Hilfreich ist zudem eine aktive Kompensation von Fehlerströmen im eingeschlauften 16-kV-Netz (gelöschtes Netz).

Für die *elektromagnetische Verträglichkeit* der verschiedenen Sensoren und Elektronikbauteile wurde auf konsequente Schirmung der Signalleitungen geachtet. Die Kabelschirme wurden nur an speziell definierten Punkten mit dem Potenzialausgleich verbunden.

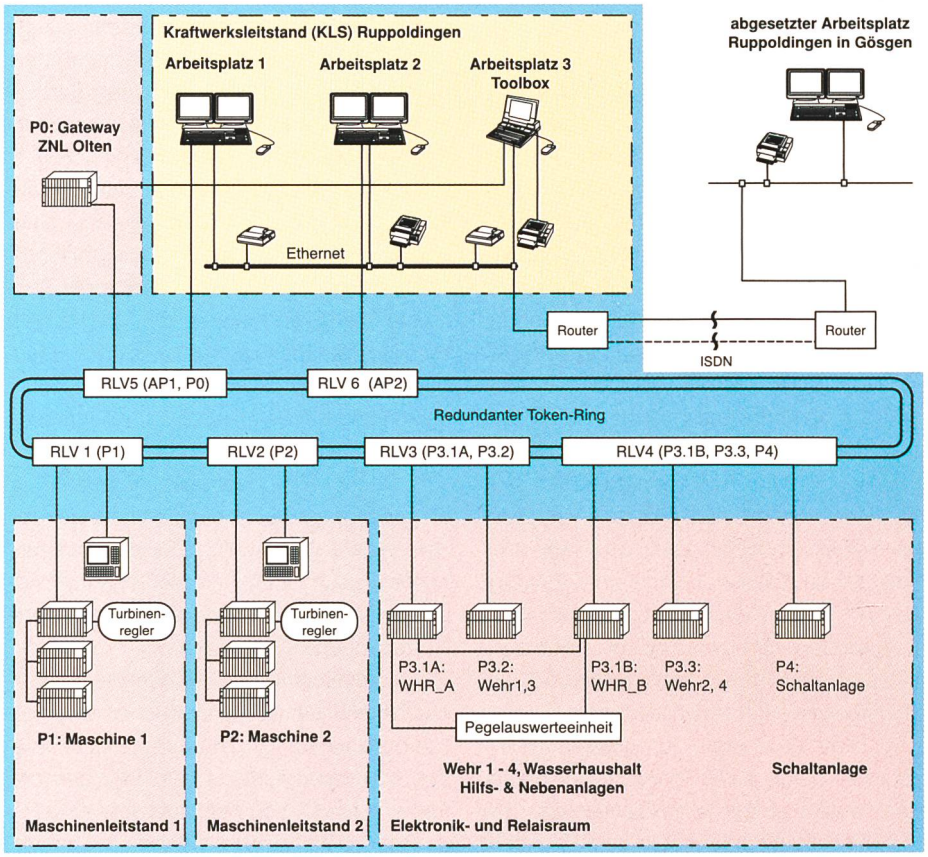

Bild A6-1. Topologie der Kraftwerksleittechnik Ruppoldingen.

A6.2 Leittechnische Ausrüstung

A6.2.1 Aufgabenstellung

Das Leitsystem soll einen vollautomatischen Betrieb des Kraftwerkes sowie die optimale Verarbeitung des Wasserangebotes in den beiden Turbinen gewährleisten. Das Kraftwerk ist während des Tages besetzt, um Routinearbeiten durchzuführen beziehungsweise um allfällig notwendige manuelle Eingriffe sicherzustellen. Zusätzlich existiert im Kraftwerk Gösgen ein abgesetzter Arbeitsplatz für das Kraftwerk Ruppoldingen. Die Steuerhoheit für das Kraftwerk liegt jedoch bei der während 24 Stunden und sieben Tagen die Woche besetzten zentralen Netzleitstelle der Atel in Olten. Diese bietet auch das Pikettpersonal im Falle von Betriebsstörungen auf.

A6.2.2 Lösungskonzept

Die dezentrale Struktur des Leitsystems ist aus Bild A6-1 ersichtlich. Den prozesstechnischen Funktionsbereichen sind einzelne Prozessstationen zugeordnet, welche über einen redundanten Tokenring miteinander kommunizieren. Dieser Tokenring in Lichtwellenleitertechnik (LWL) verbindet die an vier Stellen im Kraftwerk angeordneten Prozessstationen und die Arbeitsplatzrechner.

Im Normalbetrieb wird der automatische Betrieb des gesamten Kraftwerkes und des Wehres von den beiden Arbeitsplätzen im Kraftwerksleitstand überwacht (Bild A6-2) und gegebenenfalls durch Bedieneingriffe korrigiert.

Eine weitere Überwachungs- und Bedienmöglichkeit ist durch den jeweiligen Bedienbildschirm in den Maschinenleitständen gegeben (Bild A6-3). Dies ist insbesondere bei Revisionen sinnvoll, da in dem Maschinenleitstandsraum auch die maschinenbezogenen Eigenbedarfseinrichtungen, Motorcontrolcenter, Erreger- und Schutzeinrichtungen platziert sind.

A6.2.3 Kraftwerksleitstand (KLS)

Im Kraftwerksleitstand sind zwei redundante Arbeitsplätze, jeweils bestehend aus einem PC mit zwei TFT-Bildschirmen, einer Maus für die Bedienung am Bildschirm und einer Tastatur für direkte alphanumerische Eingaben (Bild A6-2). Ein separater Laptop ist für Projektierungs- und Diagnosetätigkeiten vorhanden. Diese drei Rechner kommunizieren miteinander über ein Ethernet-LAN, an dem auch Drucker zur Ausgabe von Ereignisprotokollen und anderer Hardcopies angeschlossen sind. Aus Redundanzgründen sind die beiden Arbeitsplatzrechner mittels getrennter Ringleitungsverteiler mit dem redundanten Anlagenbus verbunden.

Im Kraftwerksleitstand des KW Gösgen ist ein abgesetzter Bedienarbeitsplatz für das Kraftwerk Ruppoldingen installiert, der einerseits an dem dortigen Ethernet des Kraftwerkleitstandes Gösgen angeschlossen ist, andererseits via LWL-Verbindung mit dem Ethernet des Kraftwerkleitstandes Ruppoldingen kommuniziert.

Das Zeitsignal wird im KLS mittels DCF77-Antenne empfangen und an die beiden Arbeitsplatzrechner direkt übergeben sowie mittels Lichtwellenleiter im Kraftwerk verteilt.

A6.2.4 Prozessstation Schnittstelle zur ZNL (P0)

Diese Prozessstation dient dem Signalaustausch mit

- der Zentralen Netzleitstelle der Atel in Olten mittels redundanter serieller Schnittstellen und Lichtwellenleiterverbindungen (LWL);
- der Gebäudeleittechnik;
- der Brandschutzanlage.

Von der ZNL aus können die Maschinen über diese Schnittstelle der WHR zugeteilt, Sollwerte vorgegeben und abgefahren werden sowie die Notabstellung beider Maschinen bewirkt werden.

A6.2.5 Prozessstationen Maschinen (P1 und P2)

Eine Prozessstation Maschine besteht aus drei Schränken der Kraftwerksleittechnik und dem direkt daneben angeordneten Schrank des Turbinenreglers. Der Datenaustausch zwischen Kraftwerksleittechnik und Turbinenregler erfolgt sowohl seriell per Bus als auch bei sicherheitsgerichteten Signalen parallel per Kabel. Bei Ausfall der Kommunikation zwischen der Kraftwerksleittechnik und dem Turbinenregler ist der Turbinenregler, dank Integration der wichtigsten turbineninternen Schutzfunktionen immer noch in der Lage, die Turbine weiter zu betreiben, zu überwachen und zu schützen. Das automatische An- und Abfahren der Turbine und ihrer Hilfseinrichtungen, die Synchronisation sowie die prozesstechnische Überwachung werden von der Kraftwerksleittechnik durchgeführt. Mittels eines in die Schranktür eingebauten Arbeitsplatzrechners (siehe Bild A6-3) mit TFT-Farbdisplay, Folientastatur und Industriemaus (Mini-Joystick) sind manuelle Eingriffe auf die zugehörige Maschine möglich. Um allfällige Fehlbedienungen zu vermeiden, kann die andere Maschine von dort nur überwacht, aber nicht bedient werden.

Bild A6-2. Bedienarbeitsplatz im Kraftwerksleitstand Ruppoldingen.

Bild A6-3. Bedienstelle im Maschinenleitstand.

Der jeweilige Maschinenleitstandsraum befindet sich im 2.Untergeschoss in der Nähe der Hilfsanlagen der betreffenden Maschine in einem separaten Raum zusammen mit folgenden maschinenbezogenen Einrichtungen:

- dem Erregerschrank;
- dem Generatorschutzschrank;
- der Generatorschaltanlage;
- dem Zählerschrank;
- der Unterverteilung 400/230 V AC mit den MCCs.

A6.2.6 Prozessstationen der Wasserhaushaltsregelung (P3.1A und P3.1B)

Die Wasserhaushaltsregelung (WHR) hat die Aufgabe, den Oberwasserpegel des Kraftwerkes und die Dotierwassermenge des Umgehungsgewässers entsprechend den Bedingungen der Konzession abhängig von Jahreszeit und Abflussmenge zu regulieren und gegebenenfalls entsprechend der hinterlegten Kurve das Oberwasser auf- oder abzustauen. Sunk- und Schwallerscheinungen müssen minimiert und die Maschinen und das Wehr schonend zum Einsatz gebracht werden. Zusätzlich sorgt die WHR dafür, dass im Rahmen der Zulässigkeitsgrenzen der Maschinen möglichst viel Wasser turbiniert wird.

Die WHR ist so ausgelegt, dass sie jeweils einen der folgenden Systemstörfälle mit eingeschränkter Regelgüte beherrscht:

- Ausfall des Signals des Oberliegerpegels;
- Ausfall eines Stellorganes bzw. dessen Messungen;
- Ausfall der Prozessstationen P3.1A oder P3.1B;
- Ausfall der Berechnung der Dotierwassermenge des Umgehungsgewässers. (Die Berechnung und Steuerung dieser Wassermenge erfolgt über eine kleine speicherprogrammierbare Steuerung im Steuerschrank Umgehungsgewässer.)

Die WHR des Wasserkraftwerkes Ruppoldingen ist redundant aufgebaut in den Prozessstationen P3.1A und P3.1B. Über einen separaten Highspeedlink in LWL-Technik kommunizieren die redundanten Einheiten miteinander.

Das Niveau des Oberwassers des Kraftwerkes wird an drei Stellen erfasst, je Messung in getrennten Auswertegeräten aufbereitet und zur Kontrolle jeweils zweifach an die redundanten Baugruppen der WHR weitergeleitet (Plausibilität; Gradientenüberwachung, 2v3-Auswahl) und Weiterverarbeitung im Pegelregler. Gleiches geschieht mit den Pegelmessungen Unterwasser, nur dass hier eine 2v2-Auswahl verwendet wird. Durch die physikalische Aufteilung der Pegelauswerteeinheiten in den Schränken P3.1A und

P3.1B und deren getrennte Stromversorgung ist sichergestellt, dass mindestens ein Oberwasserpegel und ein Unterwasserpegel für die WHR verfügbar sind.

Pro Wehrstellorgan (Klappen und Segmente) ist nur ein Stellungsgeber vorhanden, dessen Stromversorgung jedoch zweifach vorhanden ist. Die Durchschlaufung des Signales jedes Stellungsgebers an beide WHR-Einheiten stellt sicher, dass die aktuelle Stellung der Stellorgane an mindestens einer Stelle verarbeitet wird.

Das Signal des Oberliegerpegels wird über einen in der WHR hinterlegten Zusammenhang bewertet und bildet die Führungsgrösse für den Durchfluss. Aus dem bewerteten Zuflusswert wird unter Berücksichtigung der Jahreszeit ein Sollpegel errechnet, mit dem Pegel-Ist-Wert verglichen und von dem Pegelregler unter Berücksichtigung des Zuflusswertes an die Stellgrössenverteilung Maschinen geleitet. Stehen die Maschinen für eine weitere Auslastung der WHR nicht zur Verfügung, z.B. weil eine Maschine nicht der WHR unterstellt ist oder beide Maschinen bereits maximal ausgelastet sind, so werden allfällige Mehrmengen an die Stellverteilung Wehr geleitet.

A6.2.7 Prozessstationen Wehr und Nebenanlagen (P3.2 und P3.3)

In den Prozessstationen Wehr und Nebenanlagen sind je Station die Automatisierungs- sowie Ein- und Ausgangsbaugruppen für zwei Wehrfelder installiert. Die Stellungssignale der Klappen und Segmente der Wehrfelder 1 und 3 werden in P3.2 aufbereitet und die der Wehrfelder 2 und 4 in P3.3. Über den Tokenringbus bzw. über den Ringleitungsverteiler kommunizieren diese Stationen mit den Prozessstationen der Wasserhaushaltsregelung.

Zusätzlich werden aus den Prozessstationen Wehr und Nebenanlagen alle Aggregate der Geschwemmselbeseitigung gesteuert und überwacht sowie der Signalaustausch mit der Rechenreinigungsmaschine vollzogen. Auch die Gebäude-Drainageanlage wird von hier aus überwacht.

A6.2.8 Prozessstation Schaltanlagen (P4)

Die Prozessstation Schaltanlage übernimmt Schaltungen und/oder Überwachungen der folgenden elektrotechnischen Bereiche:

- 16-kV-Schaltanlage;
- Hauptverteilung 400/230 V AC;
- redundante Hauptverteilung 230 V AC USV;
- redundante Hauptverteilung 110 V DC;
- redundante Hauptverteilung 48 V DC;
- Gleichrichter und Wechselrichter;
- Batterieanlage;
- Notstromdiesel;
- Eigenbedarfsversorgung des Wehres.

Ausserdem werden in der Prozessstation diverse Mess- und Zählsignale der Abgänge und Einspeisungen der 16-kV-Schaltanlage verarbeitet.

A7 Architektur

■ *Walter Heusser*

Die Gestaltung eines Maschinenhauses für ein Flusskraftwerk ist für den Architekten schon eine aussergewöhnliche und selten wiederkehrende Aufgabe. Dem Grundsatz *«Form folgt der Funktion»* müsste doch gerade bei einem solchen Bauwerk – schliesslich ein «Zweckbau» – explizit nachgelebt werden.

Allerdings kommt das neue Kraftwerk in eine besonders durch Bauten der Infrastruktur bereits stark vorbelastete Region, aber auch in ein intensiv genutztes Naherholungsgebiet zu liegen. *«Mehr Strom im Einklang mit der Natur»* war darum der grundlegende Leitgedanke der Bauherrschaft, bei der Bevölkerung wie den Behörden eine überzeugende Akzeptanz für «Neu-Ruppoldingen» zu finden.

Entsprechend diesem Leitgedanken wurden umfangreiche (und hier später beschriebene) gestalterische Massnahmen für den Erhalt und teilweise auch zur substanziellen Verbesserung von Ökologie und Landschaftsbild in vorbildlicher Weise umgesetzt. Eine Herausforderung für den Architekten also, ein Gleiches auch mit dem Maschinenhaus zu erreichen.

Trotz scheinbar gegenteiligen Forderungen verblieben jedoch dem beauftragten Architekten, der Thommen AG, noch gestalterische Freiräume, konnten mit schöpferischer Form- und geschickter Materialwahl seine Impressionen ausgedrückt werden, so hier ganz speziell jene von fliessendem Wasser und erzeugter Energie – dynamische Werte also.

Unter Berücksichtigung von Vorstudien der Architekten Christen – Sidler & Partner haben die Architekten ein Werk gestaltet, das bei Behörden wie Bevölkerung auf Anhieb Anklang fand und das wohl einen nachhaltigen Eindruck auch auf spätere Generationen machen wird (Bild A7-1).

So wird der massive, schwere Eindruck, den ein Maschinenhaus üblicherweise macht, aufgehoben mit einer dynamischen – dank ihren Rundfenstern leicht verspielt wirkenden – Dachform und zum gewollten Ausdruck von kontrollierter Bewegung umgeformt.

Eine auf die Gebäudeform, aber vor allem auch auf die unmittelbare Umgebung wie auch auf die angrenzende Landschaft harmonisch abgestimmte Farb- und Materialwahl fand einhellige Zustimmung der Bauherrschaft (Bild A7-2):

- graugrüne, bei Hochtemperatur gesinterte Feinsteinzeugplatten für den Gebäudesockel;
- fein gewelltes, mattgraues Titanzinkblech als Verkleidung der Dachkonstruktion.

Beide Materialien sind von prägnantem Ausdruck und Qualität.

Der angestrebte Einklang von Wasser, Energie, umgebender Natur und Bauwerk ist in vorbildlicher Weise erreicht worden (Bild A7-3).

Bild A7-1. Ansicht von Nordosten.

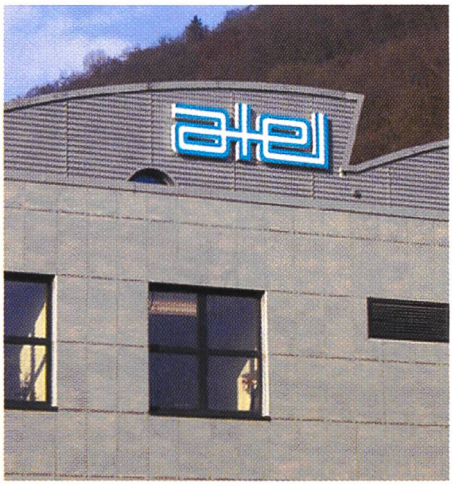

Bild A7-2. Detail der Keramikfassade.

Bild A7-3. Ansicht von Südosten.

A8 Umwelt

■ *Rolf-Jürgen Gebler*

A8.1 Umweltwirkungen des Kraftwerkes

Der Bau eines Wasserkraftwerkes der Grösse des KW Ruppoldingen ist mit erheblichen Eingriffen in die Landschaft und weitere Umweltbereiche verbunden. Direkt beeinflusst wird eine Flusslandschaft von ca. 10 km Länge in einem, insbesondere durch den Autoverkehr (A1) vorbelasteten Naherholungsgebiet. Indirekt ergeben sich aber wesentlich grossräumigere Auswirkungen z.B. auf den Geschiebetransport und die Fischbestände.

Vorrangiges Ziel der zweistufigen planungsbegleitenden Umweltverträglichkeitsuntersuchung waren die Minimierung der negativen Auswirkungen und die Erarbeitung effizienter Massnahmen zum Ausgleich der verbleibenden Eingriffe. Grosser Wert wurde hierbei auf die Vermeidung/Verringerung der Belastungen durch Wahl geeigneter Betriebskonzepte (z.B. variables Stauziel) und geeigneter Baumethoden (z.B. Materialtransport mit Schiff) gelegt.

Im Folgenden werden die wesentlichen positiven und negativen Umweltauswirkungen des Projektes dargelegt und die verschiedenen Massnahmen zur Eingriffsminderung und zur ökologischen Aufwertung behandelt.

A8.1.1 Signifikant positive Umweltauswirkungen

Mit dem Betrieb des neuen Kraftwerkes Ruppoldingen ist eine Produktionssteigerung an erneuerbarer umweltschonender Energie von jährlich ca. 74 Mio. kWh gegenüber der alten Anlage verbunden. Gegenüber einer Energieproduktion in thermischen Kraftwerken ergibt sich eine *Einsparung an CO_2-Ausstoss von ca. 35000 t/Jahr*. Hiermit wird ein nicht zu unterschätzender Beitrag zu den weltweiten Anstrengungen zur Verminderung des Treibhauseffektes geleistet.

Sehr positiv wirkt sich weiterhin der *Wegfall der Restwasserstrecke* im Unterwasser aus. Die bisher nur mit einem geringen Mindestabfluss beschickte, 900 m lange Restwasserstrecke wird zukünftig vom gesamten Aareabfluss durchflossen.

A8.1.2 Negative Umweltauswirkungen

Die wesentlichen negativen Wirkungen des Kraftwerksneubaus resultieren aus dem Höherstau um 2,0 m:

- *Verlängerung des Staubereiches* um ca. 2 km;
- *Verringerung der Fliessgeschwindigkeiten* im Mittelwasserbereich um 30 bis 50 %;
- *Einstau von Uferregionen,* der Uferbestockung, von Landwirtschaftsflächen, von Nebengewässern, von kleineren Auenwaldgebieten und der Boniger Inseln.

Die einschneidenste Umweltauswirkung besteht wohl in der Verkürzung der freien Fliessstrecke und der weiteren Reduktion der Fliessgeschwindigkeiten im Stauraum. Hierdurch verändern sich die Lebensraumbedingungen zu Ungunsten der gefährdeten strömungsliebenden Arten.

Die ehemalige freie Fliessstrecke zwischen der Brücke Murgenthal und der ARA Fulenbach ist neu der oberen Barbenregion zuzuordnen (früher Äschenregion), und der Staubereich gehört heute nicht mehr der oberen, sondern der unteren Barbenregion an.

Durch verschiedene, nachfolgend beschriebene Anpassungs- und Ersatzmassnahmen werden diese negative Auswirkungen minimiert oder aufgehoben.

A8.2 Umweltmassnahmen im Oberwasser

A8.2.1 Variables Stauziel

Aus ökologischen Gründen wird der Wasserspiegel im Oberwasser nicht konstant gehalten, sondern in Abhängigkeit des Aareabflusses reguliert. Bei Niedrigwasser liegt der Wasserspiegel um 1,2 m tiefer als das maximale Stauziel (Bild A8-1). Durch diese Regelung wird ein zu starkes Absinken der Fliessgeschwindigkeit im Oberwasser bei niedrigen Abflüssen verhindert und eine natürliche Wasserstandsdynamik simuliert.

A8.2.2 Kiestransporte

Die Massnahmen im Stauraum wurden hauptsächlich mit Kiesmaterial aus der Unterwasserbaggerung umgesetzt. Da hierfür die nicht geringe Menge von 150000 m^3 Kies transportiert und eingebaut werden musste, wurde in der Planungsphase ausgiebig über die geeigneten Transportmittel und -wege diskutiert. Ein Transport über öffentliche Strassen hätte durch enge Ortsgebiete geführt und wurde wegen der Beeinträchtigung der Anwohner ausgeschlossen. Als weitere Alternativen standen Transportbänder oder Transportpisten entlang des Aareufers zur Diskussion. Letztendlich fiel die Entscheidung auf einen Materialtransport auf dem Wasserweg mit einem Schiff (Bild A8-2). Da die Unterwasserbaggerung bereits in den Jahren 1997 bis 2000 erfolgte, wurden die Kiesschüttungen und Baumassnahmen im Stauraum bereits zwei bis drei Jahre vor Höherstau umgesetzt. Für diese Übergangszeit ergab sich der etwas bizarre Eindruck von grossen Kiesanhäufungen an den Ufern und den Boniger Inseln (Bild A8-3).

A8.2.3 Flachwasserzonen Boninger Feld und Längacher

Die 400 bis 900 m oberhalb des Wehres liegenden Bereiche Boninger Feld (linkes Aareufer) und Längacher (rechtes Ufer) sind die Uferregionen, die flächenmässig am stärksten vom Höherstau betroffen sind. Teilweise wurden diese Flächen durch Aufschüttungen zur weiteren landwirtschaftlichen Nutzung angehoben. Des weiteren wurden

an beiden Ufern ausgedehnte Flachwasserzonen von 1,4 bzw. 1,1 ha geschaffen (Bilder A8-4 und A8-5).

Diese Flachwasserzonen dienen als Lebensraum für Tiere und Pflanzen von Verlandungsbereichen sowie als Rast- und Nistplatz für Wasservögel. Als Abtrennung zum Flusslauf wurden entlang der alten Uferlinie Inseln aufgeschüttet. Bestehende grössere Bäume der Uferbestockung wurden belassen, wobei ein Absterben der Bäume in Kauf genommen wird. Durch eine geeignete Formgebung der Inseln wird eine Strömung innerhalb der Flachwasserzonen erzeugt, um so die Verlandung zu verzögern.

A8.2.4 Wiederherstellung Boniger Inseln

Ein wichtiges Landschaftselement der Region stellen die Boniger Inseln (Gesamtfläche ca. 0,4 ha) dar, die ohne Massnahmen 1,5 bis 2,0 m überstaut worden wären. Zum Erhalt der Inseln wurden diese um ca. 2,0 m durch Kiesaufschüttungen angehoben (Bild A8-3). Entgegen einem ursprünglichen Konzept wurden die schmalen Inseln nicht abgeholzt, sondern nur vom Buschwerk befreit. Die Einbringung des Kieses zwischen den Bäumen erfolgte mit dem Bagger von beiden Inselseiten her. Das Absterben von Bäumen infolge Anschüttung der Stämme und Einstaus wurde in Kauf genommen. Vor dem Höherstau waren in erster Linie Ausfälle bei den Erlen zu beobachten, Weiden und Eichen konnten die Kiesauflast offensichtlich eher verkraften. Da der Höherstau erst vor gut einem Jahr erfolgte, können über die Auswirkung des Einstaus noch keine Aussagen gemacht werden.

Zusätzlich zu den Inseln wurde auch die Aaresohle im Bereich der Boniger Inseln auf einer Fläche von ca. 2,7 ha mit Kiesschüttungen angehoben, um so die Strömungsgeschwindigkeiten in diesem unteren Staubereich zu erhöhen.

A8.2.5 Sukzessionsflächen – Auenwaldentwicklung

Infolge der zumeist steilen Ufer waren im Oberwasser kaum Auenwaldflächen vorhanden. Die vorhandene Auenwaldfläche von lediglich ca. 0,35 ha (Auenwald Sandmatten) wird mit dem Projekt um ca. 1,3 ha erheblich ausgedehnt. Durch den Höherstau um 2 m werden bisher über dem Wasserspiegel liegende Uferregionen dauerhaft eingestaut. Hiervon sind die genannte Auenwaldfläche, aber auch Wiesengelände und die Uferbestockung betroffen. In diesen Bereichen wird eine natürliche Auenwaldsukzession zugelassen. Auf eine Abholzung der betroffenen Flächen wurde verzichtet und folgendes Konzept umgesetzt:

- Entfernung der Grasnarbe, keine Bepflanzung der Sukzessionsflächen;
- Stehenlassen bestehender Gehölze, absterbende Bäume verbleiben als Totholz;
- Geländeanhebung im Bereich der Uferlinie, Anschüttung der Uferbestockung mit Kies;
- Abgrenzung der Sukzessionsflächen von den Landwirtschaftsflächen mit Bepflanzung;

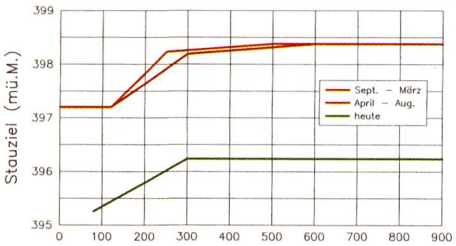

Bild A8-1. Variables Staureglement in Abhängigkeit vom Aareabfluss.

Bild A8-2. Kiestransport mit Schiff (Klappschute) zwischen den Boniger Inseln.

Bild A8-3. Bereich Boniger Inseln und Flachwasserzone Längacher mit Kiesaufschüttungen vor dem Höherstau.

Bild A8-4. Bereich Boniger Inseln und Flachwasserzone Längacher nach dem Höherstau bei maximalem Stauziel.

Bild A8-5. Blick auf neues Kraftwerk und die neu gestaltete Flachwasserzone Boninger Feld.

- selbständige Auflandung der überfluteten Flächen hinter der Uferbestockung;
- natürliche Auenwaldentwicklung in den Sukzessionsflächen.

A8.2.6 Uferstrukturmassnahmen im Stauraum

Auf grossen Abschnitten wurden die Ufer im Stauraum mit Kiesvorschüttungen strukturiert. Ziel war es hierbei, überströmte Kiesflächen als Lebensräume für Fische und andere Wassertiere und flache, verzahnte Übergänge Wasser-Land als Lebensräume der Gewässer begleitenden Fauna zu schaffen. Als Beispiel sind die grossflächigen Ufervorschüttungen an beiden Ufern oberhalb Aaretränki zum Erhalt der vorhandenen periodisch überströmten Kiesbänke zu nennen. Als weitergehende Massnahme wurden – den Wünschen der Naturschutzverbände entsprechend – weitere, über dem Wasserspiegel liegende, möglichst sonnenbeschienene Kiesflächen als Libellenstandorte aufgeschüttet.

Die Kiesschüttungen erhöhen allgemein die Attraktivität und die Zugänglichkeit der Ufer. Es findet eine intensive Nutzung der Uferregionen zum Sonnenbaden, Schwimmen, aber auch als Grillplatz statt, sodass Interessenkonflikte zwischen Naturschutz und Freizeitnutzung festgestellt wurden, welche aber wohl unausweichlich sind.

A8.2.7 Anpassung und Renaturierung der Mündungsabschnitte der Nebengewässer

Durch den Höherstau werden auch die Mündungsabschnitte der Nebengewässer eingestaut. Um den Charakter eines fliessenden Gewässers zu erhalten, wurden die Mündungsabschnitte der Nebengewässer durch Aufschüttungen mit Kiesmaterial auf die neuen Aarewasserstände angehoben. Zum Erhalt des Gewässercharakters der unteren Forellenregion (Einhaltung Mindestgefälle) wurden die Sohlanhebungen relativ weit in die Gewässer gezogen. Die Sohlanhebung wurde jeweils bis zu einem vorhandenen Absturz geführt, wodurch gleichzeitig dessen biotopzerschneidende Wirkung aufgehoben wurde.

A8.2.8 Wiederherstellung eines naturnahen Ufersaumes

Der Einstau der bestehenden Uferbestockung durch den Höherstau führt im rechtlichen Sinn zu einer Rodung. Die eingestauten Bäume wurden jedoch nicht gefällt und entfernt. Je nach Einstauhöhe und Baumart werden einzelne Bäume überleben, viele werden jedoch absterben. Auch die absterbenden Bäume sollen als wichtige Strukturelemente natürlicher Flüsse nicht entfernt werden. Lediglich an stark frequentierten Orten ist ein Fällen von gefährdeten Bäumen vorgesehen. Bei starken Stürmen werden die abgestorbenen Bäume verstärkt brechen und zu einem erhöhten Anfall von Schwemmholz am Kraftwerk führen. Der hiermit verbundene erhöhte Aufwand wird vom Kraftwerksbetreiber in Kauf genommen. Gemäss Konzession wurden der vom Aufstau betroffene Uferstreifen und ein mindestens 3 m breiter wasserfreier Uferstreifen vom Bauherrn erworben und an die Kantone Solothurn und Aargau abgetreten. Der bestehende Ufersaum wurde landeinwärts mit standortgerechten Bäumen und Sträuchern hinterpflanzt. Ziel ist die Entwicklung eines durchgehenden naturnahen Ufergehölzstreifens mit stufigem Aufbau.

A8.3 Umweltmassnahmen im Unterwasser

Die wesentlichen Ersatzmassnahmen zur Verbesserung der Flussökologie erfolgen im Unterwasser des Kraftwerkes durch die Gestaltung eines 1,2 km langen Umgehungsgewässers im alten Oberwasserkanal und durch Neuschaffung von ca. 5,2 ha Auenwaldfläche auf der Planie (Bild A8-6).

A8.3.1 Schnell fliessendes Umgehungsgewässer

Entlang des neuen Maschinenhauses sowie im alten Kraftwerkskanal wurde ein naturnahes Umgehungsgewässer geschaffen, das mit einer Länge von total 1,2 km, einem Abfluss von 2 bis 5 m^3/s, einer Breite von 10 bis 20 m und einem mittleren Gefälle von 3 % die Dimension und den Charakter eines kleinen Gebirgsflusses aufweist. Mit diesem Umgehungsgewässer werden Laichgebiete und Lebensräume für die stark bedrohten Kieslaicher (Barbe, Nase, Schneider, Äsche, Bachforelle) und eine Verbindung der aquatischen Lebensräume unterhalb und oberhalb des Kraftwerkes geschaffen. *Das Umgehungsgewässer ist in seiner Grösse und Gestaltung ein weltweit einzigartiges Objekt.*

Das Umgehungsgewässer unterteilt sich in zwei unterschiedliche Abschnitte. Der eigentliche strukturreiche Abschnitt erstreckt sich auf 740 m Länge im alten Kraftwerkskanal. Der obere ca. 460 m lange, in eher beengtem Raum verlaufende Abschnitt verbindet den Stauraum mit dem unteren strukturreichen Abschnitt.

Der im unteren Abschnitt überwundene Gesamthöhenunterschied von maximal 5,6 m wird an der Mündungsrampe (h = max. 2,1 m) und an neun Stromschnellen (h = 0,3 bis 0,4 m) abgebaut. Die im Bereich des ehemaligen Maschinenhauses gelegene, 1:30 geneigte Mündungsrampe dient der Vermeidung des Einstaues des Fliessgewässers bei hoher Wasserführung der Aare.

Die strukturreiche Ausgestaltung des Fliessgewässers (Bild A8-7) basiert auf Messungen an natürlichen Flussstrukturen und auf einer Planung des Autors für ein Umgehungsgewässer am neuen KW Rheinfelden am Hochrhein.

Der alte Kraftwerkskanal wurde mit ca. 100 000 m^3 auf der Planie gewonnenem Aushubmaterial lageweise verfüllt und verdichtet (Bild A8-8). Auf Grund der vorhandenen Dichtheit des Kraftwerkskanals und der Beschaffenheit des Verfüllmaterials konnte auf eine gesonderte Abdichtung verzichtet werden. Dieses Rohplanum wurde mit Kiesmaterial (ca. 20 000 m^3) überdeckt und mit Grobkies/Bollensteinen strukturiert.

Der obere ca. 460 m lange Abschnitt vom Einlaufbauwerk oberhalb des Wehres bis zum alten Kraftwerkskanal wird durch verschiedene Nutzungen eingegrenzt, sodass die Gestaltungsmöglichkeiten stark eingeengt sind.

Im Einlaufbauwerk ca. 190 m oberhalb des Maschinenhauses sind eine Tauchwand, ein Grobrechen sowie zwei Kontrollfenster mit Kontrollreusen für die Erfolgskontrolle installiert. In dem Abschnitt vom Einlaufbauwerk bis zum Maschinenhaus tritt der schwankende Oberwasserspiegel auf.

In das Umgehungsgewässer wird ein Abfluss von Q = 2 bis 5 m^3/s abgegeben. Die Abflussdotierung erfolgt in Abhängigkeit des Aareabflusses. Zu Spülzwecken kann ein Abfluss bis zu 10 m^3/s in das Umgehungsgewässer abgegeben werden.

Am Abflusskontrollbauwerk, auf der Höhe des Maschinenhauses, erfolgen die Anpassung des Umgehungsgewässers an die schwankenden Wasserstände im Stauraum (max. 1,2 m) und die Dotierung des Umgehungsgewässers mit dem oben genannten Abfluss. Das Abflusskontrollbauwerk (Bild A8-9) besteht aus einem ungeregelten (Blocksteinrampe) und einem dazu parallel verlaufenden geregelten Abflussquerschnitt (Kanal mit Drehtor und seitlichem Hubschütz).

A8.3.2 Fischpass beim Maschinenhaus

Da nur ein Teil der flussaufwärts wandernden Fische in das über 1 km unterhalb des Krafthauses mündende Umgehungsgewässer einsteigt, andere aber der Hauptströmung bis zum Kraftwerk folgen, wurde am Krafthaus ein eigentlicher Fischpass errichtet. Der 155 m lange, naturnahe Raugerinnebeckenpass zweigt unterhalb des Maschinenhauses vom schnell fliessenden Umgehungsgewässer ab und mündet direkt unterhalb des Turbinenauslaufes in die Aare. Der Fischpassabfluss beträgt ca. 300 l/s, das Gefälle 1:26.

A8.3.3 Auenwaldentwicklung auf der Planie

Auf dem vom schnell fliessenden Umgehungsgewässer und der Aare eingeschlossenen Gebiet (so genannte Planie) wurden Auenlebensräume von 5,2 ha neu geschaffen. Durch Anbindung des Planiegeländes an die Abfluss- und Wasserstandsdynamik der Aare wurden die Voraussetzungen für eine natürliche Zonierung von Weich- und Hartholzauenwald geschaffen.

Die Planie entstand erst beim Bau des Kraftwerks vor 100 Jahren. Das damals angefallene Aushubmaterial aus dem Oberwasserkanal wurde auf das Gelände aufgebracht. Dadurch entstanden Höhendifferenzen von bis zu 6 m zum Wasserspiegel der Aare. Durch Abtrag dieser Aufschüttung und Wiederfüllung des Oberwasserkanals erfolgt eine Annäherung an den ursprünglichen Zustand. Im Einzelnen wurden auf der Planie folgende Massnahmen durchgeführt:

- Erhalt des bestehenden Weichholzauenwaldes (Grauerlen-Auenwald) im Uferstreifen;
- grossräumige Tieferlegung des Geländes südlich der A1 um durchschnittlich 5,5 m zur Schaffung geeigneter Standortbedingungen für die Entwicklung einer Weichholzaue (Materialabtrag: 170 000 m^3). Planungsziel: grossflächige Überflutung bei Q_{55}, vollständige Überflutung bei Q_9;
- zusätzliche Vernässung des bestehenden Auenwaldes und der neu geschaffenen Flächen durch tiefer liegende Vernässungsrinnen beidseitig der A1.

Bereits die Überflutung des Planiegeländes im Frühjahr 2001 hat zu der gewünschten eigendynamischen Strukturierung des Geländes mit Kiesablagerungen/-umlagerungen und Erosionen geführt (Bild A8-10).

Bild A8-6. Gesamtübersicht Umgehungsgewässer und Planie.

Bild A8-7. Unterer Abschnitt des strukturreichen Umgehungsgewässers bei einem Abfluss von 5,0 m^3/s mit Stromschnellen, Kiesbänken, Gewässerverzweigung.

A8.3.4 Naturnahe Ufergestaltung

Am rechten Ufer wurde der Bereich des abgerissenen alten Wehres und am linken Ufer der gesamte 1 km lange Uferabschnitt mit Kiesvorschüttungen, buhnenartigen Strukturen und Steilufern strukturreich gestaltet. Hierdurch wurden sowohl Lebensräume für Fische als auch für die Gewässer begleitende Flora und Fauna (z. B. Flussuferläufer, Wasseramsel, Gebirgsstelze und Eisvogel) geschaffen beziehungsweise initialisiert. Im Bereich der Planie wurden zwei Steiluferbereiche, die vom Eisvogel bereits bewohnt werden oder werden können, belassen. Diese derzeit aus dem Planiegelände herausragenden «Hügel» werden der natürlichen Erosion überlassen.

A8.3.5 Renaturierung Pfaffnern

Die am rechten Aareufer mündende hart ausgebaute Pfaffnern wurde auf einer Länge von ca. 200 m renaturiert. An diese Strecke schloss sich die Umgestaltung eines ca. 2 m hohen Absturzes in eine naturnahe Blocksteinrampe als Baumassnahme des Kantons Aargau an.

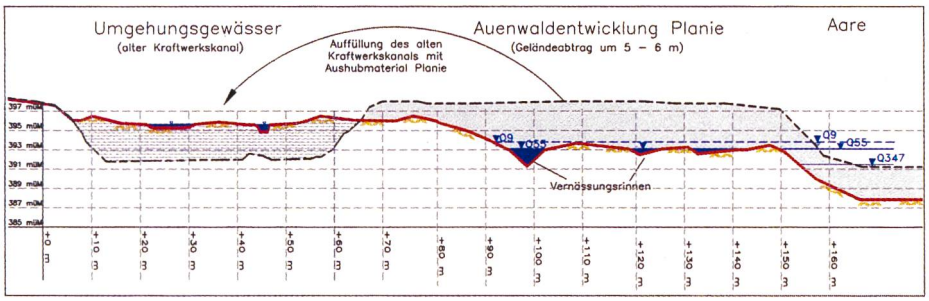

Bild A8-8. Querschnitt durch alten Kraftwerkskanal und Planie.

Bild A8-9. Abflusskontrollbauwerk des Umgehungsgewässers, ungeregelte Blocksteinrampe und mit einem Drehtor regelbarer Kanal (unter der Abfahrt).

Bild A8-10. Abgesenktes Planiegelände im Juni 2001 bei einem Abfluss = Q_9 (Blick Richtung Unterwasser).

A8.3.6 Anbindung Abschlag Rotkanal

Der im Ausgangszustand kurz oberhalb des alten Wehres in den Stauraum mündende Abschlag des Rotkanales wurde über ein naturnahes Raugerinne an das neue Unterwasserbett der Aare angebunden.

A8.4 Entwicklung, Monitoring

Die Planung der Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen erfolgte nach dem Grundsatz, dass Natur nicht gestaltet werden kann, sondern «nur» die Voraussetzungen für eine natürliche Entwicklung der betroffenen Gebiete geschaffen werden können. Insofern sind die meisten Gebiete als so genannte Sukzessionsflächen einzustufen. Die Entwicklung dieser Bereiche wird sich teilweise über lange Zeiträume erstrecken. Zur Beweissicherung und zur Beobachtung der Entwicklung wird ein langfristiges Umweltmonitoring durchgeführt.

A8.5 Zusammenfassende Wertung

A8.5.1 Oberwasserbereich

Im Oberwasser des Wehres erfolgt eine deutliche Vergrösserung der Auenwaldflächen und der Lebensräume für Amphibien und Wasservögel. Die ausgedehnten überfluteten Kiesstrukturen vermindern die negative Wirkung des Höherstaus.

A8.5.2 Unterwasserbereich

Eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand ergibt sich im Unterwasserbereich. Durch die Aufhebung der Restwasserstrecke und die strukturelle Aufwertung der Uferregionen ergibt sich eine entscheidende ökologische Aufwertung dieses Flussabschnittes. Durch die Errichtung des schnell fliessenden Umgehungsgewässers werden Laichgebiete für die gefährdeten Kieslaicher bereitgestellt und ein zusätzlicher Fliessgewässerlebensraum geschaffen. Im Bereich der Planie werden die Voraussetzungen für eine natürliche Entwicklung einer typischen Auenvegetation und Auenfauna geschaffen.

A8.5.3 Gesamtbetrachtung

Die mit dem Neubau KW Ruppoldingen vom Bauherrn umgesetzten Umweltmassnahmen sind sowohl in ihrer Art (naturnahes Fliessgewässer) als auch in ihrem Umfang als einzigartig anzusehen. Mit den durchgeführten Massnahmen wurde ein wesentlicher Beitrag zum Arten- und Naturschutz geleistet, der über das eigentliche Projektgebiet hinaus zur Verbesserung des Ökosystems Aare wirksam wird. In fast allen Umweltbereichen konnte eine Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation erreicht werden.