

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 83 (1991)
Heft: 1-2

Artikel: Ausbau und Erneuerung des Rheinkraftwerks Laufenburg
Autor: Fust, Armin / Ruoss, Roland / Vögtli, Hansjürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940972>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Ausbau und Erneuerung des Rheinkraftwerks Laufenburg

Armin Fust, Roland Ruoss, Hansjürg Vögtli,
Jürg Vontobel

Das seit 1914 in Betrieb stehende Flusskraftwerk am Rhein bei Laufenburg wird, ohne Unterbruch der Stromproduktion, um- und auf 110 MW ausgebaut. Die bestehenden 10 Francisgruppen werden durch 10 Straflogruppen ersetzt. Das bisherige Maschinenhaus wird so ausgebaut, dass die gesamte elektromechanische Ausrüstung, Werkstätten und Magazine darin untergebracht werden können. Die Wehranlage wird einer umfassenden Revision unterzogen.

1. Einleitung

Das in den Jahren 1908 bis 1914 erbaute Kraftwerk Laufenburg liegt unterhalb des gleichnamigen Städtchens am Hochrhein, der hier die Grenze zwischen Deutschland und der Schweiz bildet. Es ist das dritte Kraftwerk, nach Rheinfelden 1898 und Augst-Wyhlen 1912, das am Hochrhein gebaut wurde. Die erstmals quer in den Fluss gestellten Kraftwerksanlagen (Bild 1) umfassen im wesentlichen das Kraft- und Maschinenhaus auf der schweizerischen Rheinseite sowie das Wehr und die Schiffsschleuse auf der deutschen Seite.

Das Kraftwerk war bisher mit 10 Doppel-Zwillings-Francis-turbinen ausgerüstet, die auf einen maximalen Ausbaudurchfluss von 1080 m³/s ausgelegt waren (Bild 2). Seit der Inbetriebnahme des Rheinkraftwerks Säckingen 1966 ist das Kraftwerk Laufenburg eingestaut und der Ausbaudurchfluss auf 1025 m³/s reduziert. Die Werkleistung betrug danach 80 MW, und die mittlere jährliche Energieproduktion belief sich auf 490 GWh. Die Konzessionen zur Nutzung der Wasserkraft des Rheins bei Laufenburg wurden Ende 1986 für weitere 80 Jahre erneuert mit der Auflage, den Ausbaudurchfluss auf maximal 1420 m³/s zu erhöhen.

2. Variantenstudien

Umfangreiche Ausbaustudien [1] zur Ermittlung des optimalen Ausbauprojektes wurden durchgeführt. Dabei mussten die folgenden Bedingungen berücksichtigt werden:

- Der Ausbaudurchfluss muss auf maximal 1420 m³/s erhöht werden.
- Die erneuerten Konzessionen sind wiederum für 80 Jahre gültig.
- Bei den Niederdruckmaschinen hat die Weiterentwicklung der Rohrturbine mit Aussenkranzgenerator (Straflo) zu Ausführungen geführt, welche diesen Turbinentyp als attraktive Alternative zur Rohrturbine (Typ Bulb) werden liessen.

Erste Untersuchungen hatten folgendes ergeben:

- Um möglichst viel der baulichen Substanz des Kraft- und Maschinenhauses zu erhalten, müssen die vorhandenen Turbinenachsabstände übernommen werden.
- Es ist möglich, in den bestehenden Turbinengruben sowohl Rohrturbinen (Typ Bulb) als auch Strafloturbinen mit der geforderten Schluckwassermenge unterzubringen.
- Der Ersatz der bestehenden Maschinengruppen ist langfristig gesehen unvermeidlich. Es war deshalb richtig, bei der Suche nach der kostengünstigsten Lösung von einer Kraftwerksanlage mit durchwegs neuen Maschinen auszugehen.

Damit ergaben sich die folgenden prinzipiellen Varianten:

- Die 10 bestehenden Maschinengruppen werden durch 10 neue Gruppen (Rohr- oder Strafloturbinen) mit einer Schluckwassermenge von je max. 142 m³/s ersetzt.
- Eine elfte Gruppe mit einer Schluckwassermenge von 340 m³/s wird neu am Schweizer Ufer gebaut. Dazu werden 7 der 10 bestehenden Gruppen durch 7 neue Gruppen (Rohr- oder Strafloturbinen) mit einer Schluckwassermenge von je 145 m³/s ersetzt.

Die Kosten/Nutzen-Rechnung und der Vergleich der Vor- und Nachteile, insbesondere die unterschiedlichen baulichen Schwierigkeiten und Bauzeiten der verschiedenen Varianten, zeigten als wirtschaftlichste Variante den etappenweisen Ersatz der 10 Francis-Maschinengruppen durch 10 Straflo-Turbinen-Generatorgruppen (Tabelle 1). Die gewählte Ausbaubauweise ergibt die geforderte Erhöhung des Ausbaudurchflusses und ermöglicht den etappenweisen Einbau der neuen Gruppen in den bestehenden Maschinengruben ohne Änderung der Achsabstände, ohne den Bau von speziellen Baugrubenabschlüssen (z.B. Fang-



Bild 1. Rheinkraftwerk Laufenburg, bisheriger Zustand mit Aussenrechen.

Tabelle 1. Ausbauvarianten – Kostenvergleich.

Variante	Investitions- kosten	Totalkosten inkl. Produktions- ausfall
Ersatz der bestehenden Turbinen durch Strafloturbinen	100 %	100 %
Einbau einer grossen Rohrturbine und Ersatz von 7 bestehenden Turbinen durch Strafloturbinen	122 %	118 %
Einbau einer grossen Rohrturbine und Ersatz von 7 bestehenden Turbinen durch kleine Rohrturbinen	160 %	175 %
Ersatz der bestehenden Turbinen durch Rohrturbinen	152 %	190 %

dämme) und mit vertretbaren baulichen Änderungen an den statisch wichtigen Gebäudeteilen (Bild 3) [2].

3. Voruntersuchungen

3.1 Geologie und bestehende Bausubstanz

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

Felseigenschaften wurden Sondierbohrungen ausgeführt und die Felsparameter bestimmt. Zur Verifizierung dieser Parameter wurden aus dem Krafthausausbruch ebenfalls Proben entnommen und geprüft. Die Prüfergebnisse bestätigten die Voruntersuchungen.

Der mehr als 70 Jahre alte Beton des Krafthauses verfügt über Eigenschaften, die der damaligen Betontechnologie (Stampfbeton) entsprechen: ungleichmässige Verdichtung mit Stellen hoher Durchlässigkeit, insbesondere entlang der Arbeitsfugen. Das Maschinenhaus, ab Erdgeschoss mit Backsteinen gemauert, ist in gutem Zustand.

3.2 Hydraulische Modellversuche

Die Strömungsverhältnisse im Ober- und Unterwasser des Kraftwerks und im Turbineneinlauf wurden von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, an 2 Modellen im Massstab 1:60 beziehungsweise 1:20 untersucht. Die Erkenntnisse aus den Versuchen führten zu keinen grossen grundsätzlichen Änderungen an der bestehenden Anlage. Die Anpassungen ergaben sich hauptsächlich wegen der Erhöhung des Ausbaudurchflusses und der tieferen Einbauhöhe der Straflomaschinen. Sie sind im folgenden beschrieben:

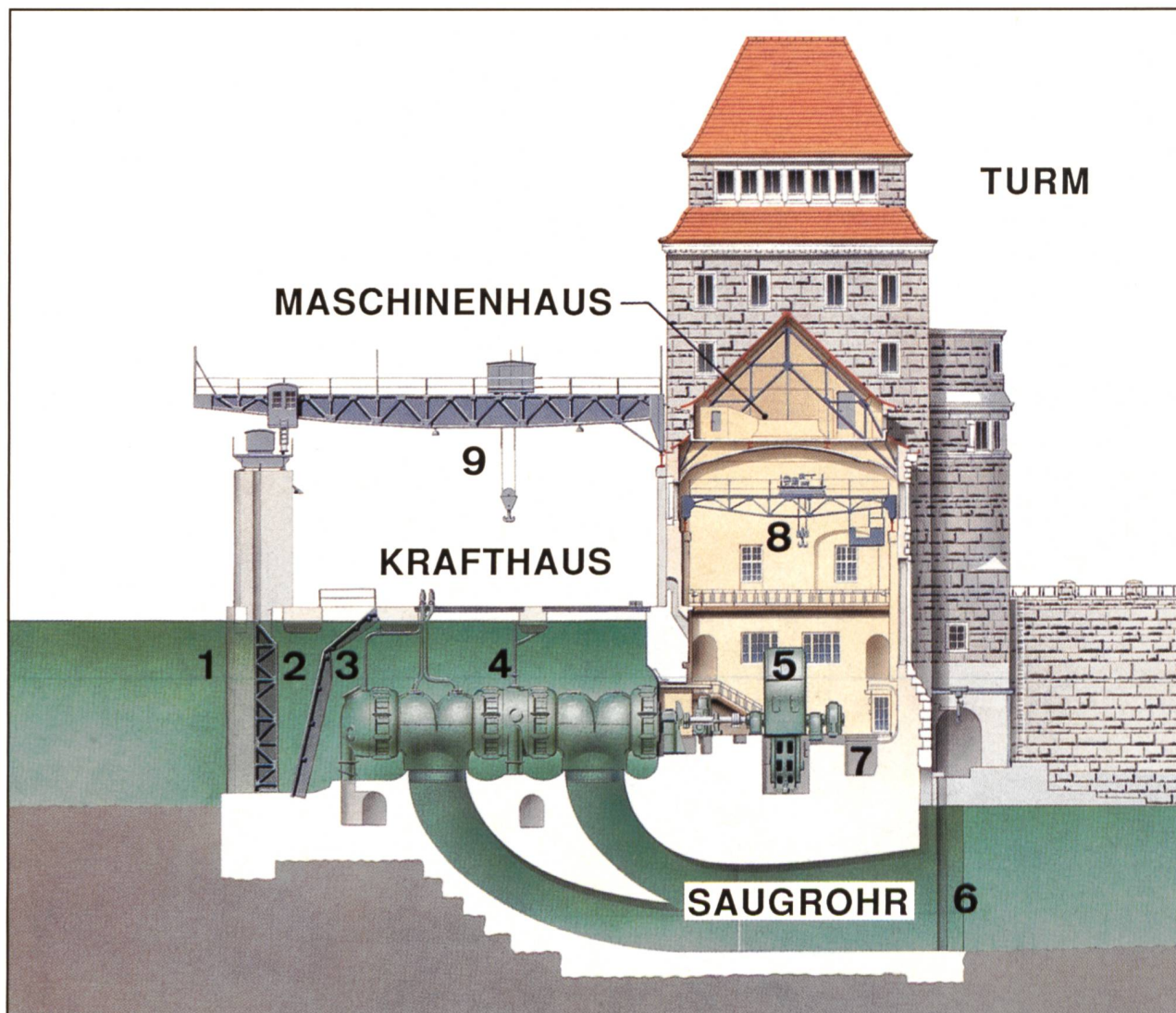


Bild 2. Schnitt durch das alte Kraftwerk mit den Francis-Maschinengruppen. 1 Gleitdambalken-Nut, 2 Einlaufschütze, 3 Innenrechen, 4 Francis-Turbine, 5 Generator, 6 Unterwasser-Dambalken, 7 Energieableitungskanal, 8 Montagekran für Generatoren, 9 Montagekran für Turbinen.

Neue Rechenanlage vor den Turbineneinläufen

Das bestehende Kraftwerk verfügt über einen 185 m langen Aussenrechen (Bild 1). Zusätzlich ist jede Maschinengruppe mit einem Innenrechen im Einlauf ausgerüstet. Der Aussenrechen, der mit einem Winkel von ca. 30° zur Flussströmung angeordnet ist, besteht aus einer massiven, bis 4 m hohen Betonschwelle, einer Fachwerktragkonstruktion (Joche), dem 7 m hohen, 5:1 geneigten Rechen, einer Tauchwand und einem Unterhaltssteg. Die Rechenstäbe (Rechteckprofil 100 × 15 mm, lichter Abstand 56 mm) stehen rechtwinklig zur Schwellenachse, d.h. ein Grossteil der Stäbe wird nicht parallel zu ihrer Längsrichtung angeströmt. Die Rechenstäbe bewirken also eine zweimalige Strömungsumlenkung und eine starke Querströmung, was zu Ablösungen an den Stäben und damit zu einer unverhältnismässig hohen Energieumwandlung führt. Auch die Schwelle trägt dazu bei, dass der Aussenrechen ein beträchtliches Quergefälle des Wasserspiegels vor den Turbineneinläufen vom Schweizer Ufer gegen das Wehr verursacht. Eine Auffüllung an der Schwellenhinterseite mit einer flachen Böschung ergab nur eine geringe Wirkung. Die Versuche zeigten, dass der gesamte Rechen und die Schwelle über 80 m (8 Joche) zu entfernen sind, um die Anströmung der Maschinen massgebend zu verbessern. Es war naheliegend, zur Reduzierung der hohen hydraulischen

Verluste auf einen Aussenrechen ganz zu verzichten. Zwei Varianten wurden untersucht:

- Ersatz des Aussenrechens durch eine Tauchwand und Einzelrechen in den Turbineneinläufen,
- Abbruch des Aussenrechens und Erstellen einer komplett neuen, durchgehenden Rechenanlage, welche den Turbineneinläufen parallel vorgelagert ist (Bild 4).

Der Vergleich der beiden Varianten führte trotz höheren Investitionskosten zur Wahl der zweiten Variante. Dies aus folgenden Gründen:

- Die Gefällsverluste sind geringer, da die Tauchwand nicht erforderlich ist und der Durchflussquerschnitt beim Rechen ca. 23% grösser ist als bei Einzelrechen.
- Die Rechenreinigung ist wesentlich einfacher und weniger aufwendig als bei Einzelrechen in den Turbineneinläufen.
- Das Verstopfen eines Turbineneinlaufes durch verklemmtes Treibgut, was zum Abstellen einer Maschinengruppe führen könnte, ist praktisch ausgeschlossen.
- Die Anordnung der gesamten Anlage vor den Dammbalken lässt eine optimale Gestaltung der Geschwemmselentsorgung zu und schafft Raum über den Turbineneinläufen, der als Lagerplatz für die Wehrdammbalken genutzt wird. Der Nachteil, die Unterhaltsarbeiten unter Wasser ausführen zu müssen, wurde in Kauf genommen.

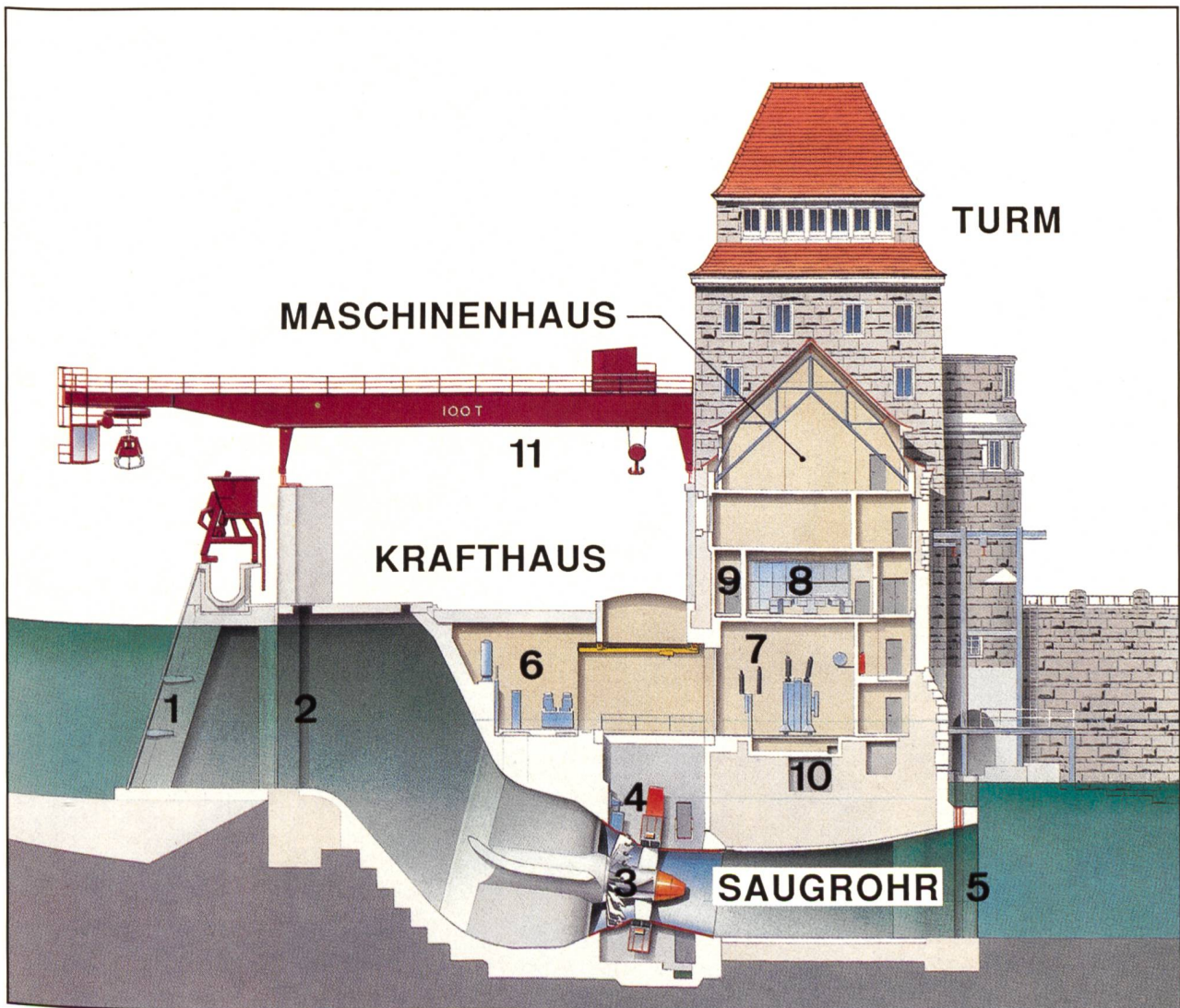


Bild 3. Schnitt durch das ausgebaute Kraftwerk mit den Straflomaschinen. 1 Rechen, 2 Rolldammbalken-Nut, 3 Strafloturbine, 4 Aussenkranzgenerator, 5 Unterwasser-Dammbalken, 6 hydraulischer Turbinenregler, 7 Maschinentransformator, 8 Leitstelle, 9 Energieableitung, 10 Rohrkanal.

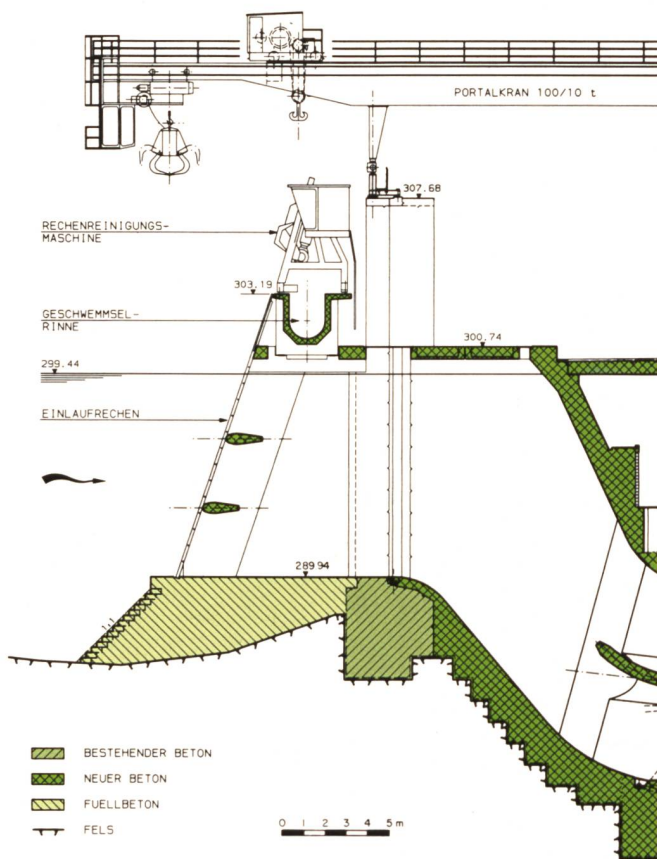


Bild 4. Neue Rechenanlage mit Rampen vor der Sohlenplatte.

Neue Formgebung für den Trennpfeiler zwischen Turbine 10 und Wehröffnung 1

Nach Abbruch des Aussenrechens führt der bestehende Trennpfeiler zu Ablösungen, die eine saubere Anströmung und damit eine gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung im Einlauf der Turbine 10 verunmöglichen. Die neue Form gemäss Variante 6 (Bild 5) ergab die gewünschte gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung.

Ausrundung der Trennpfeilerköpfe zwischen den Turbineneinläufen

Bei der Überprüfung der Geschwindigkeitsverteilung im Eintrittsquerschnitt der Turbinen für verschiedene Betriebszustände zeigte sich, dass vor jeder Turbine, deren Nachbarturbinen ausser Betrieb sind, Querströmungen entstehen. Diese ungünstige Anströmung wird durch Ausrundung der bestehenden rechteckigen Trennpfeilerköpfe verbessert (Bild 6).

Anpassung der Flusssohle an die Turbineneinläufe

Im Bereich der Turbinen 6 bis 10 liegt die Flusssohle bis 2,5 m tiefer als die Sohlenplatte des Einlaufrechens, was die Anströmung ungünstig beeinflusst. Durch Anschütten einer Rampe lässt sich eine deutliche Verbesserung der Anströmung der Maschinen erzielen (Bild 4).

Rechentragkonstruktion

Für die aus vorfabrizierten Betonstützen und Trägern bestehende Tragkonstruktion wurden die hydraulisch optimalen Querschnitte bestimmt.

Turbineneinlauf

Um den Oberwasserdambalken als Baugrubenabschluss benutzen zu können, musste der neue Turbineneinlauf sehr steil ausgeführt werden (50° Neigung). Dies erforderte die Überprüfung der Strömung und der Geschwindigkeitsver-

teilung vor dem Turbinenlaufrad. Versuche mit dem Einlaufmodell 1:20 zeigten, dass die Strömung bei allen Betriebsfällen frei von Ablösungs- und Wirbelerscheinungen ist und eine gleichmässige Beaufschlagung des Turbinenlaufrades garantiert. Spezielle Massnahmen sind daher nicht nötig.

Verbesserung der Strömungsverhältnisse im Unterwasser

Für das Unterwasser wurden verschiedene Möglichkeiten der Erweiterung des Abflussquerschnittes (Änderung der Trennmauer, Verlegung der linksufrigen Böschung, Sohlenbaggerung) untersucht, mit dem Ziel, den Wasserspiegel zu senken. Die Versuchsergebnisse zeigten aber, dass der erzielbare Gefällsgewinn mit den untersuchten Massnahmen sehr gering ist. Falls kein Wehrabfluss vorhanden ist, entsteht durch die einseitige Kraftwerksabströmung am Ende der Trennmauer ein riesiger Wirbel (Durchmesser bis 100 m), der den Abflussquerschnitt verengt. Es ist also nicht die geometrisch engste Stelle, die für den Gefällsverlust entscheidend ist, sondern die Einengung des Abflussquerschnittes durch den genannten Wirbel. Die Erweiterung des Flussprofils, um in Fliessrichtung eine gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung zu erzielen, müsste deshalb viel weiter flussabwärts geführt werden, als bei den untersuchten Varianten vorgesehen war. Dies ist baulich sehr aufwendig und daher bei den geringen erzielbaren Gefällsgewinnen nicht wirtschaftlich. Bei Wehrüberfall (während nur etwa 60 Tagen pro Jahr im langjährigen Mittel) verschwindet der genannte Wirbel. Mit einer geschickten Betriebsweise des Wehres (Entlastung durch die Wehröffnungen 1 und 2) kann dann der Unterwasserspiegel günstig beeinflusst werden.

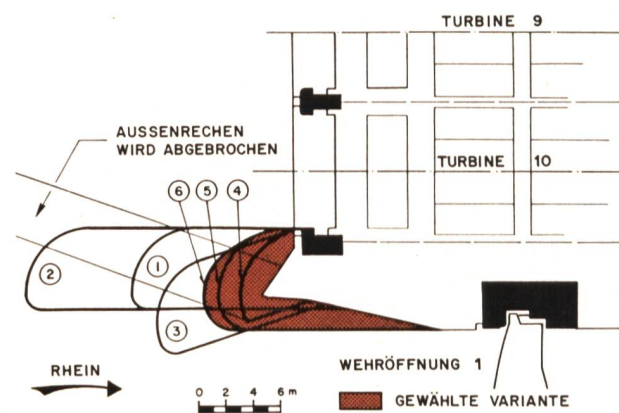


Bild 5. Trennpfeiler zwischen Turbine 10 und Wehröffnung 1.

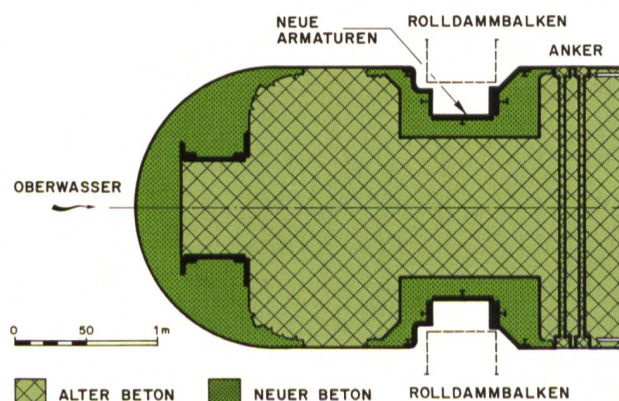


Bild 6. Trennpfeilerköpfe.

3.3 Kühlwassergewinnung

Durch den Ausbau des Kraftwerks erhöht sich der Kühlwasserbedarf von bisher 54 l/s auf maximal 160 l/s. In der bestehenden Anlage wird dieses Kühlwasser mittels 3 Brunnen aus dem Grundwasser entnommen. Eine Erhöhung der Entnahme bei diesen 3 Brunnen in der geforderten Größenordnung erwies sich aufgrund eines Pumpversuches als unzulässig, da die nahegelegenen Trinkwasserfassungen beeinträchtigt wurden. Somit musste eine neue Lösung gesucht werden.

Es wurde die Möglichkeit untersucht, das Kühlwasser künftig dem Fluss zu entnehmen. Um Kühlwasser von genügender Reinheit zu erhalten, damit ein problemloser Betrieb erwartet werden kann, sind umfangreiche Aufbereitungseinrichtungen notwendig. Neben dem eigentlichen Fassungsbaupunkt mit Grob- und Feinrechen sind Filtersiebe verschiedener Feinheit und ein Kiesfilter vorzusehen. Wie Erfahrungen von anderen Kraftwerksbetreibern am Hochrhein zeigen, sind diese Anlagenteile sehr unterhaltsintensiv, da sie leicht verschlammten und dann Schlamm und Schwebstoffe in die Kühler gelangen können. Ein weiteres Problem bieten die sogenannten Wander- oder Dreiecksmuscheln, die sich in der Fassung und im Kühlsystem festsetzen und zu Schäden führen. Aus diesen Gründen sind sowohl die Investitions- als auch die Unterhaltskosten für eine Flusswasserentnahme deutlich höher als für eine Grundwasserfassung.

Es wurde deshalb erneut versucht, das zusätzlich erforderliche Kühlwasser dem Boden zu entnehmen, allerdings nicht direkt aus dem bisher angezapften Grundwasserstrom, sondern mittels Uferinfiltratsbrunnen (Bild 7). Dabei sollten im Uferbereich des Rheins rund 100–400 m unterhalb des Kraftwerks 3 neue Brunnen erstellt werden. Die Untersuchung, welche für die behördliche Genehmigung

durchgeführt werden musste, bezog sich wieder auf die Beeinflussung der nahegelegenen Trinkwasserfassungen und gliederte sich in folgende zwei Phasen:

Ausführung einer Computer-Modellstudie

Um die erforderlichen Parameter für das mathematische Modell, basierend auf einem Finite-Element-Programm, festlegen zu können, mussten die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse genau abgeklärt werden. Die Modellrechnung zeigte, dass diese Brunnen hauptsächlich durch Flusswasser gespiesen werden, das bei der Sickerung zum Brunnen gereinigt wird. Eine Beeinflussung der umliegenden Grundwasserfassungen wird somit vermieden. Die Baubewilligung für die Brunnen wurde aufgrund dieses Nachweises erteilt, und die neue Brunnenanlage wurde erstellt.

Verifizierung der Modellstudie mittels Simultanpumpversuchen

Ein 21-tägiger Pumpversuch, bei dem in allen 3 Brunnen zusammen rund 70 bis 150 l/s entnommen wurden, bestätigte die Modelluntersuchungen vollumfänglich. Darauf wurde auch die Genehmigung zur Entnahme des erforderlichen Kühlwassers erteilt.

Somit steht für die Kühlung der Generatoren und Transformatoren Wasser von einwandfreier Qualität zur Verfügung, das auch zum Betrieb einer nachgeschalteten Wärmepumpenanlage für die Heizung des Kraft- und Maschinenhauses geeignet ist.

4. Umbaukonzept

4.1 Allgemeines

Das Bauprogramm, optimiert bezüglich Baukosten und Energieausfall während der Bauzeit, sieht pro Gruppe für die baulichen Arbeiten 15 Monate und für die Montage und

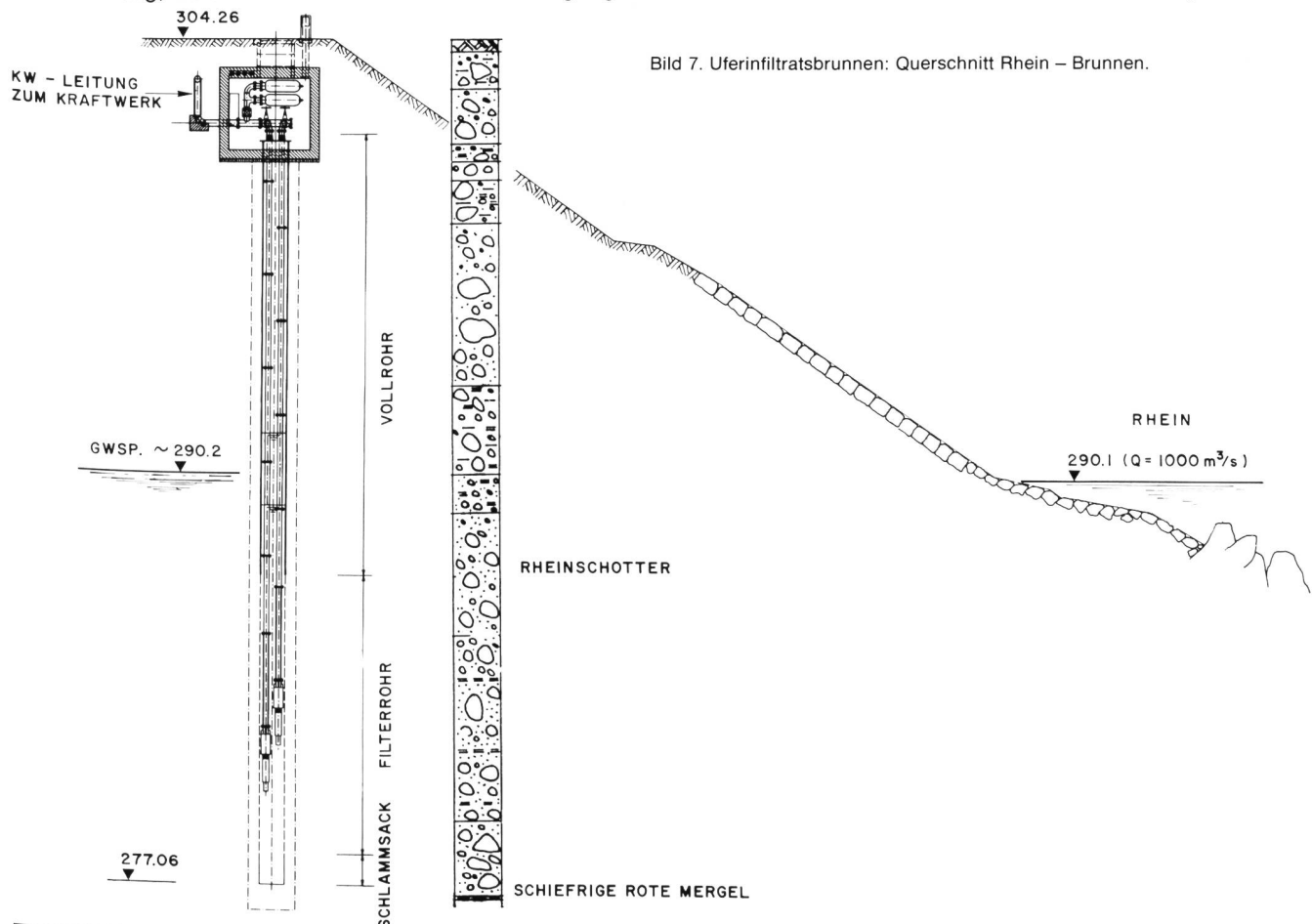


Bild 7. Uferinfiltratsbrunnen: Querschnitt Rhein – Brunnen.



Bild 8. Der neue Rolldamm balken nach der Endmontage.



Bild 10. Saugrohrverschluss mit Umsetzkran.

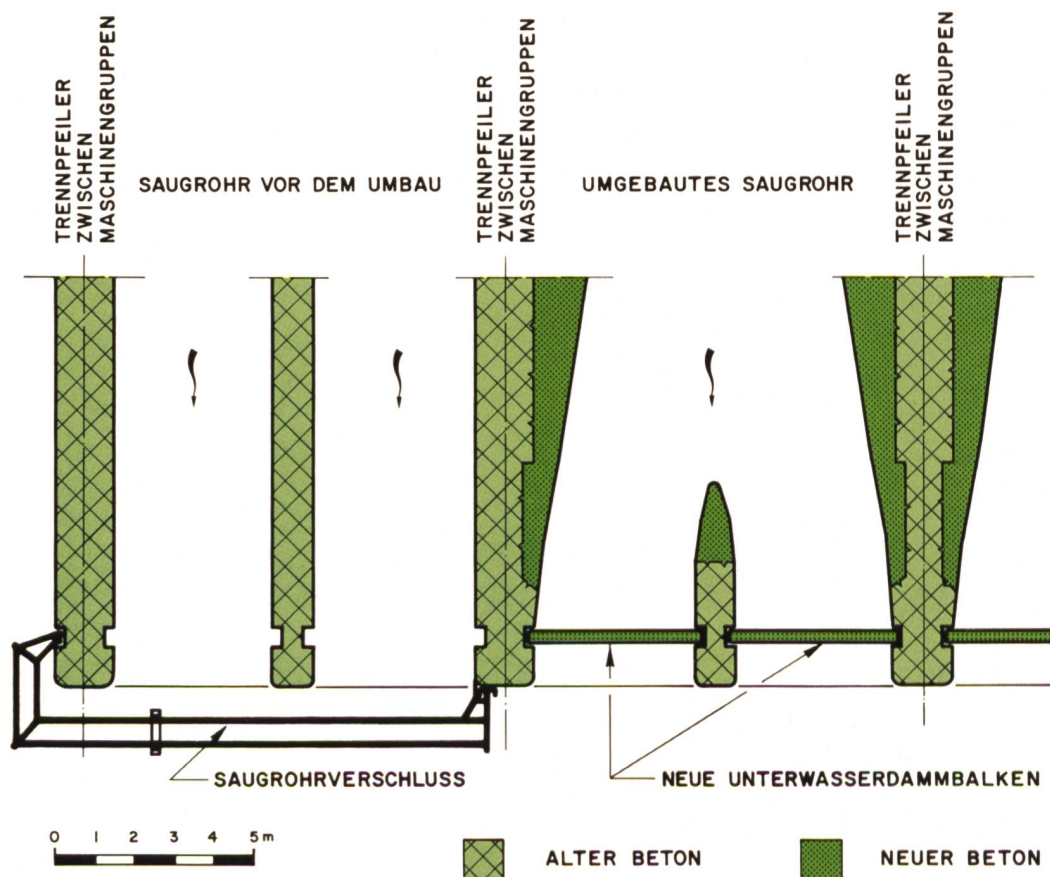


Bild 9. Saugrohrverschluss – Prinzip.

Inbetriebsetzung der Gruppe 6 Monate vor, wobei alle 4 Monate eine Francisgruppe ausser Betrieb und nach 21 Monaten Umbauzeit eine neue Straflomgruppe in Betrieb gesetzt wird. Der Umbau erfolgt vom Schweizer Ufer her in Richtung Flussmitte. Dies hat den Vorteil, dass die 110-kV-Energieableitung, die Kühlwasserversorgung und die Gruppenentwässerung definitiv mit den neuen Gruppen in Betrieb gesetzt werden können. Es muss dagegen in Kauf genommen werden, dass die Energieableitung für die alten Gruppen durch die Baustelle geführt werden muss. Der Einbau der neuen Maschinengruppen kann mit den gleichen Achsabständen wie bei den alten Maschinen erfolgen, bedingt aber die Tieferlegung der Maschinenachsen um ca. 10 m und eine neue Formgebung des Einlaufbauwerkes und des Saugrohres.

Das äussere Erscheinungsbild des Kraftwerkes bleibt unverändert. Mit Ausnahme der 110-kV-Schaltanlage können die gesamte elektromechanische Ausrüstung, Werkstätten und Magazine darin untergebracht werden.

4.2 Oberwasserseitige Abschlussorgane

Im bisherigen Kraftwerk bestanden bei den Turbineneinläufen zwei Abschlussmöglichkeiten, nämlich die Einlaufschütze und vorgelagert der Gleitdammbalken. Für den zukünftigen Betrieb der 10 Straflomaschinen genügen 3 neue Rolldammbalken, welche mit dem Montagekran in die einzelnen Turbineneinläufe abgesenkt werden können.

Nach dem Schliessen der Einlaufschütze und der Stilllegung der Gruppe wird ein Gleitdammbalken gesetzt. Damit können die Demontagen (alte Maschinengruppe, Einlaufschütze inklusive Windwerk, Innenrechen und Kranbahn) und die Abbrucharbeiten für die ersten Etappen des Trennpfeilerumbaus und die Maschinenhausfassadenunterfangung ausgeführt werden.

Im Schutze des Gleitdammbalkens werden auch die Rolldammbalkenarmaturen in die Nuten der alten Einlaufschütze eingebaut. Vorher müssen allerdings die entsprechenden Trennpfeilerseiten bis zur Kote der Dammbalkenschwelle baulich fertiggestellt sein, was vom Zeitpunkt des Abstellens einer Francisgruppe bis zur Fertigstellung der Rolldammbalkenführungen ca. 12 Monate in Anspruch nimmt. Dieser auf den ersten Blick lange Zeitraum erklärt sich aus den zahlreichen Abhängigkeiten, die sich daraus ergeben, dass die erste Etappe des Pfeilerumbaus und die damit zusammenhängende Maschinenhausfassadenunterfangung Pfeilerweise und nicht gruppenweise erfolgen und zudem aus Sicherheitsgründen erst nach der Ausserbetriebnahme der angrenzenden alten Maschine begonnen werden kann. Da alle 4 Monate 1 Francisgruppe abgestellt wird, d. h. ein Dammbalken gesetzt werden muss, der erste Rolldammbalken in Einheit 1 aber erst nach 12 Monaten eingesetzt werden kann, müssen für den Umbau zusätzlich zu den Rolldammbalken 3 Gleitdammbalken zur Verfügung stehen. Der in Einheit 1 gesetzte Rolldammbalken steht nach der Inbetriebsetzung der Gruppe 1 zur Verfügung für die weiteren Inbetriebsetzungen und als Notabschlussorgan (Bild 8).

4.3 Unterwasserseitige Abschlussorgane

Da die alten Francis turbinen über dem Unterwasserspiegel angeordnet sind, wurden die Unterwasserdammbalken nur sehr selten gebraucht, und ihre Dichtigkeit liess zu wünschen übrig. Für die neuen Straflomaschinen müssen diese Abschlüsse im Unterwasser bei jeder Maschinenrevision eingesetzt werden, so dass ein Ersatz der Dammbalken und der zugehörigen Führungsnuten unumgänglich war. Zusammen mit dem Umbau dieser Dammbalkennuten wird zur

Verbesserung des Wirkungsgrades auch das Saugrohr um 1,5 m verlängert. Damit diese Arbeiten im Trockenen ausgeführt werden können, muss temporär ein vorgelagerter Saugrohrverschluss (Bild 9) eingesetzt werden. Die genannten Arbeiten nehmen maximal 4 Monate in Anspruch und können demnach bis zur Ausserbetriebnahme der nächsten Gruppe fertiggestellt werden. Damit genügt ein provisorischer Verschluss, der jeweils alle 4 Monate zum nächsten Saugrohr umgesetzt wird (Bild 10). Der Saugrohrabschluss erfolgt dann bis zur Inbetriebsetzung der entsprechenden Maschine mit einem der neuen Unterwasserdammbalken. Der provisorische Saugrohrverschluss besteht aus 3 U-förmigen Elementen, die auf einer vorgängig unter Wasser betonierten Schwelle gelagert und gedichtet sind. Rheinseitig wird der Verschluss in der Dammbalkenführung, die dem abzuschliessenden Saugrohr abliegt, uferseitig auf dem Pfeilerkopf abgestützt und gedichtet. Umgesetzt wird der Verschluss mit einem eigens dazu montierten temporären Versetzkran.

4.4 Rechenanlage

Die gesamte Rechenanlage befindet sich vor den Oberwasserdammbalken und muss teilweise unter Wasser erstellt werden. Die Rechentragkonstruktion, Schrägstützen mit Horizontalträgern (Bild 11), wird deshalb mit vorfabrizierten Betonelementen ausgeführt. Lediglich die Bodenplatte und die Stösse der Fertigelemente sowie der über dem Wasserspiegel liegende Auflagerträger für die Geschwemmselrinne werden mit Ortsbeton erstellt. Die Versetz- und Betonarbeiten erfolgen mit Tauchern. Die Geschwemmselrinne wird ebenfalls aus Betonfertigteilen zusammengesetzt. Alle Fertigelemente werden mit dem 100-t-Kran versetzt. Der Stahlrechen wird elementweise ebenfalls mit dem Mon-



Bild 11. Montage einer Schrägstütze des Einlaufrechens.

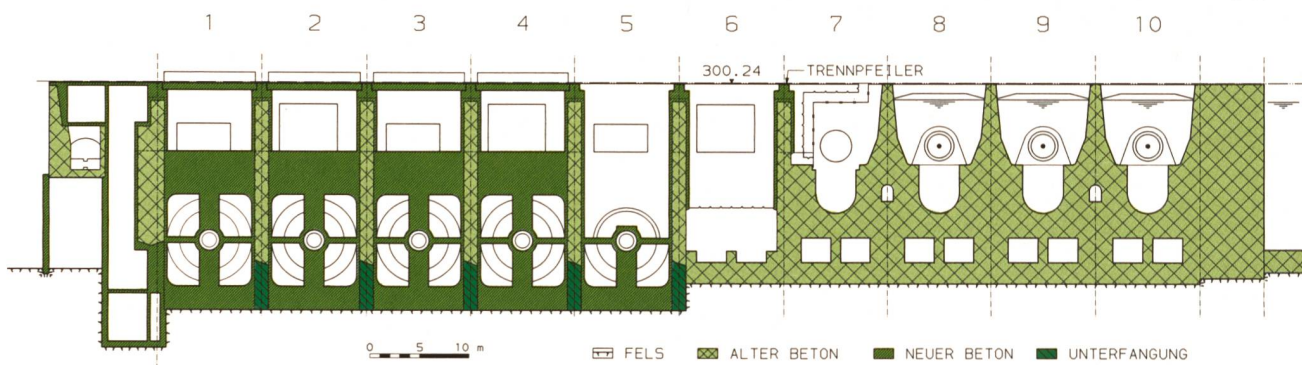


Bild 12. Typischer Bauzustand. Gruppen 1 und 2, Straflotgruppen in Betrieb; Gruppe 3, Straflotgruppe wird montiert; Gruppe 4 ist bereit zur Maschinenmontage; Gruppe 5, Trennpfeiler erstellt, Betonieren des Einlaufs; Gruppe 6, Trennpfeilerkronen beidseitig erstellt, Abbruch und Betonieren der Verkleidungen bis Sohle und Saugrohrumbau in Arbeit; Gruppe 7, Francisturbine demonstriert. Trennpfeilerkronen, erste Etappe der Maschinenhausunterfangung und Trennpfeilverkleidung bis Sohle der alten Turbinenkammer erstellt; Gruppen 8, 9 und 10, Francisgruppen in Betrieb.

tagekran versetzt und von Tauchern an der Betonkonstruktion befestigt. Die erforderliche Baugenauigkeit wird mit vorgängig versetzten und genau eingemessenen Stahlaufslagern erreicht. Das Geschwemmsel wird in die am Schweizer Ufer angeordnete Containeranlage gespült, die mit drei Containern ausgerüstet ist, die zum geeigneten Füllen verschoben werden können. Mit dem 100-t-Kran werden die Container auf ein gewerbeübliches Transportfahrzeug verladen.

4.5 Krafthaus

Der Bauablauf ist in Bild 12 schematisch dargestellt.

Ausbruch und Sicherung

Die neue Trennpfeilerkronen und der Trennpfeiler bis auf die Kote des alten Turbinenkammerbodens sowie die erste Etappe der oberwasserseitigen Maschinenhausfassadenunterfangung wurde pfeilerweise erstellt. Damit kann die

benachbarte Turbine weiterbetrieben werden. Nach dem Abstellen dieser Maschine werden Fassadenunterfangung, Abbruch-, Beton- und Sicherungsarbeiten bis zur Gruppenschachtsohle gruppenweise weitergeführt. Dabei erfordert der Umbau des über 70 Jahre alten Bauwerkes zur Sicherung der Qualität und Sicherheit besondere Massnahmen. Die bestehende, massive Betonstruktur ist im allgemeinen in einem guten Zustand, wenn auch lokal sehr durchlässig. Die zulässigen Spannungen wurden bei weitem nicht ausgenutzt. Die Betonstruktur wurde deshalb übernommen. Die Trennpfeiler werden von oben nach unten etappenweise abgespitzt, wo nötig unterfangen und beidseitig mit einer 20 bis 30 cm starken, fein armierten Betonverkleidung versehen. Um ein einwandfreies Zusammenwirken des alten und neuen Betons zu gewährleisten, werden voll vermörtelte, nicht vorgespannte Anker versetzt. Die Einlaufschwelle, die vom bestehenden Bauwerk über-



Bild 13. Saugrohr, Zustand während des Umbaus.



Bild 14. Montage der Mauerringe mit einer Lehre.

nommen wird, wird mit Felsankern gesichert. Dichtungs-injektionen im Einlaufbereich vermindern den Wasserandrang in die Baugrube. Das bestehende, ca. 100 m lange Bauwerk verfügt über keine Dilatationsfugen. Die nachträgliche Ausbildung von Fugen war aus konstruktiven Gründen nicht möglich. Diesem Umstand wurde bei der Auslegung der Armierung Rechnung getragen.

Saugrohr, Einlauf und Gruppenschacht

Die bestehende Saugrohrmittelwand wird teilweise abgebrochen und die verbleibende Restwand zu einem Pfeiler ergänzt. An der Sohle, den Wänden und der Decke des Saugrohres sind Abbrucharbeiten auszuführen, damit die neue Form betoniert werden kann (Bild 13).

Nach dem etappenweisen Betonieren der Gruppenschacht- und der Einlaufsohle werden der ober- und unterwasserseitige Turbinenmauerring versetzt und im Erstbeton einbetoniert. Das Betonieren des Einlaufbauwerks und die Fertigstellung des Gruppenschachts bis zum Erdgeschoss erfolgen wiederum etappenweise, jedoch von unten nach oben.

4.6 Maschinenmontage

Die Maschinengruppen werden in grossen, weitgehend vormontierten Komponenten auf die Baustelle geliefert, um Montagezeit einzusparen. Die Montage erfolgt mit einem 100-t-Portalkran durch die Montageöffnung des Gruppenschachtes wie folgt:

Ober- und Unterwassermauerring werden ausserhalb der Baugrube mittels einer Lehre vormontiert und als gesamtes in die Maschinengrube abgesenkt und ausgerichtet (Bild 14). Anschliessend werden die Bauarbeiten fertiggestellt und die Lehre entfernt. Durch die Vormontage und das gleichzeitige Einbauen der beiden Mauerringe konnten die Toleranzen der Positionierung der Mauerringe verkleinert und Zeit eingespart werden. Danach erfolgt zuerst die Montage des Leitapparates (50 t) und der Servomotoren. Das Laufrad ($D = 4,25$ m) wird ebenfalls komplett zusammengebaut, inklusive Lager und Aussenkranz mit aufgesetzten Polen ($D = 5,98$ m, $G = 100$ t) geliefert (Bild 15) und mit vorgespannten Schrauben durch die Leitapparat- und Mauer-



Bild 15. Das Laufwerk vor dem Einfahren in den Gruppenschacht.



Bild 16. Absenken eines Maschinentransformators in den Gruppenschacht.

ringnabe im Nabenmittelpfeiler verankert. Der Stator wird einteilig geliefert (Abmessungen $1,55 \times 8,40 \times 8,40$ m, $G = 42$ t) und unterwasserseitig des Laufrades auf die seitlichen Längskonsolen im Gruppenschacht abgesetzt. Auf den Konsolen wird er in Richtung Oberwasser bis zur Laufradachse verschoben, dann ausgerichtet und fixiert. Abschliessend werden der Unterwasserlaufradmantel und der Saugrohranschluss (Verbindung zwischen Laufradmantel und Unterwassermauerring) eingebaut, die Aussenkranz- und Nabendichtungen sowie die Verschalungen und die Leckwasserableitungen montiert sowie die Verrohrung und Verdrahtung fertiggestellt.

Ein spezielles Montage- beziehungsweise Transportproblem war für die 5 Maschinentransformatoren zu lösen. Die Transformatoren sind im Maschinenhaus jeweils bei den «geraden» Gruppen (Gruppen 2, 4, 6 usw.) in Zellen, die über das erste und zweite Untergeschoss im Maschinenhaus reichen, untergebracht. Da die etappenweise Inbetriebsetzung der Gruppen auch den etappenweisen Ausbau des Maschinenhauses, insbesondere des im Erdgeschoss angeordneten Hochspannungskabelkanals (Energieableitung) und der Kommandoanlage, erfordert, war der Antransport der 80 t schweren Transformatoren durch das Maschinenhaus versperrt. Die Transformatoren werden deshalb ebenfalls in den Gruppenschacht abgesenkt, auf einer versetzbaren Stahlbrücke abgesetzt und in die Transformatorzellen geschoben (Bild 16).

4.7 Maschinenhaus

Der Ausbau des Maschinenhauses kann ausführungstechnisch als eigenes Bauwerk betrachtet werden, das aber mit dem Arbeitsfortschritt beim Krafthaus verknüpft ist, da die

Räume für die Hilfsbetriebe für die Inbetriebnahme der Gruppen jeweils entsprechend bereit sein müssen. Um die Stabilität des Maschinenhauses zu gewährleisten, werden die bestehenden Backsteinwände mit anbetonierten und verankerten Wänden verstärkt und durch Decken ausgesteift. Das Maschinenhaus wird neu auf 5 Stockwerke ausgebaut (Bild 17). Darin sind die 5 Blocktransformatoren, die neue Leitzentrale, der Hochspannungskabelkanal, die gesamte elektromechanische Hilfsausrüstung, mechanische, elektrische und elektronische Werkstätten, Sozialräume sowie Magazine untergebracht.

5. Revision der Wehranlage

5.1 Baulicher Teil

Die Wehranlage schliesst direkt an das Maschinenhaus an. Sie besteht aus 4 Öffnungen von 17,3 m Breite und am deutschen Ufer aus einer Schleuse von 12 m Breite und 30 m Länge (Bild 18). Die ganze Wehranlage ist im Fels gegründet und ist bis heute baulich so erhalten, wie sie in den Jahren 1908 bis 1914 in Caissonbauweise erstellt wurde. Die massiven Pfeiler von 4,5 m Breite und 25 m Länge sowie die Sohle sind mit Granitblöcken und an Stellen grösserer Beanspruchung mit Stahlplatten verkleidet. Die durchgeführte Untersuchung der Wehrpfeiler zeigte lediglich einige ausgewaschene Fugen, im übrigen ist der bauliche Zustand gut. Kernbohrungen bestätigten die schon beim Krafthaus festgestellten Betoneigenschaften. Aufgrund der Resultate der Felsuntersuchung wird die Standsicherheit überprüft und über allfällig notwendige Massnahmen entschieden werden. Es ist bemerkenswert, dass ein Bauwerk, das vor 80 Jahren in mutiger Bauweise als erstes Wehr mit Öffnungen dieses Ausmasses zusammen mit dem Maschinenhaus quer in den Fluss gestellt wurde, sich in all den Jahren bewährt hat, so dass es auch in der nächsten Konzessionsperiode ohne nennenswerte Erneuerung seine Aufgabe erfüllen wird.

5.2 Mechanischer Teil

Je 2 Tafelschützen, welche an Ketten hängen, schliessen die Wehröffnungen von 15 m Höhe ab (Bild 19). Der Antrieb befindet sich auf einer Fachwerkbrücke, welche die Pfeiler überspannt. Die Schützentafeln sind genietete Fachwerkstrukturen. Die Überprüfung der Wandstärken und der Nieten mit Ultraschall und Magnetpulver zeigte einen einwandfreien Zustand der Schützen, bei welchen bisher alle 10 Jahre der Bitumen-Korrosionsschutz erneuert worden war. Auch die Materialprüfung von Blechproben des verwendeten Flussstahls St 37 zeigte Festigkeitswerte, die über

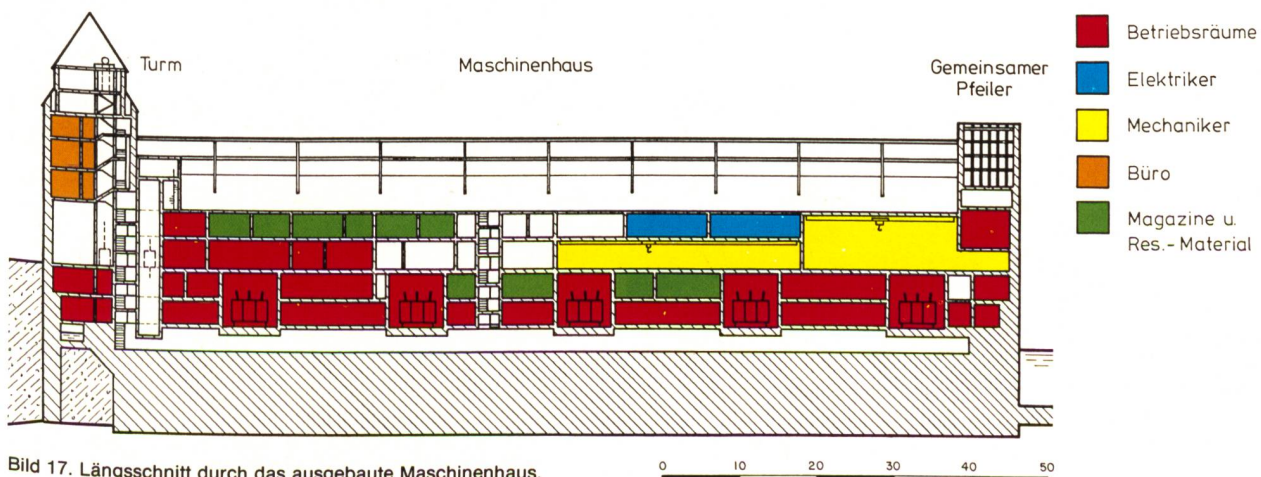


Bild 17. Längsschnitt durch das ausgebaute Maschinenhaus.

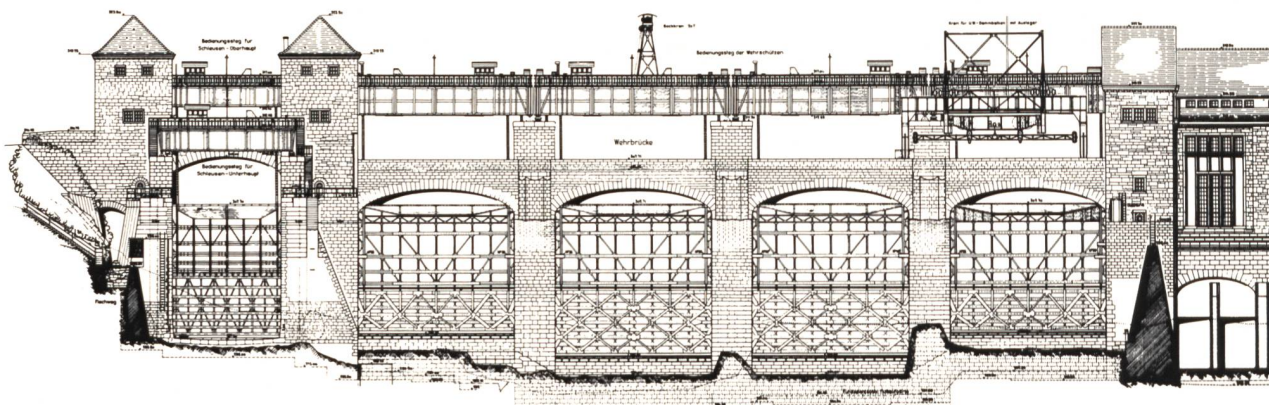


Bild 18. Wehranlage und Schiffschleuse, Ansicht vom Unterwasser.

denen des heutigen Stahls St 37 liegen. Einzig die Kerbschlagzähigkeit lag tiefer, weshalb grundsätzlich keine Schweißarbeiten an den Schützen durchgeführt werden. Abgesehen vom Ersatz einiger Verkleidungen oder Dichtungspartien musste an den Schützen selbst lediglich der Korrosionsschutz erneuert werden. Etwas mehr Aufwand erforderte die Revision der Lagerung der Schützentafern. Die Schützen sind seitlich auf robuste Rollwagen (Bild 20) abgestützt, welche einerseits mit den Schützentafern verbunden sind und andererseits auf Stahlschienen der Pfeiler laufen. Diese Rollwagen wurden bei der jetzigen Revision das erste Mal in der nahezu 80jährigen Betriebsdauer aus-

gebaut, obwohl die Konstruktion dies eigentlich nicht vorsieht und sie die Funktion bisher anstandslos erfüllten. Bei der Zerlegung zeigte sich dann erheblicher Verschleiss an den Walzenlagern der Rollen, welche hauptsächlich im Grenzbereich Wasser-Luft im Einsatz waren. Dieser Verschleiss war die Folge von defekten Dichtungen, so dass das Schmierfett ausgewaschen wurde und Sand eindringen konnte. Dort, wo die Dichtungen intakt waren, war auch die Lagerung intakt. Zudem war eine Rolle angerissen und eine ganz zerbrochen. Ob diese Schäden auf Überlastungen oder Gussfehler zurückzuführen sind, lässt sich nicht mehr eruieren. Jedenfalls wurden alle Rollenwagen unter Ver-

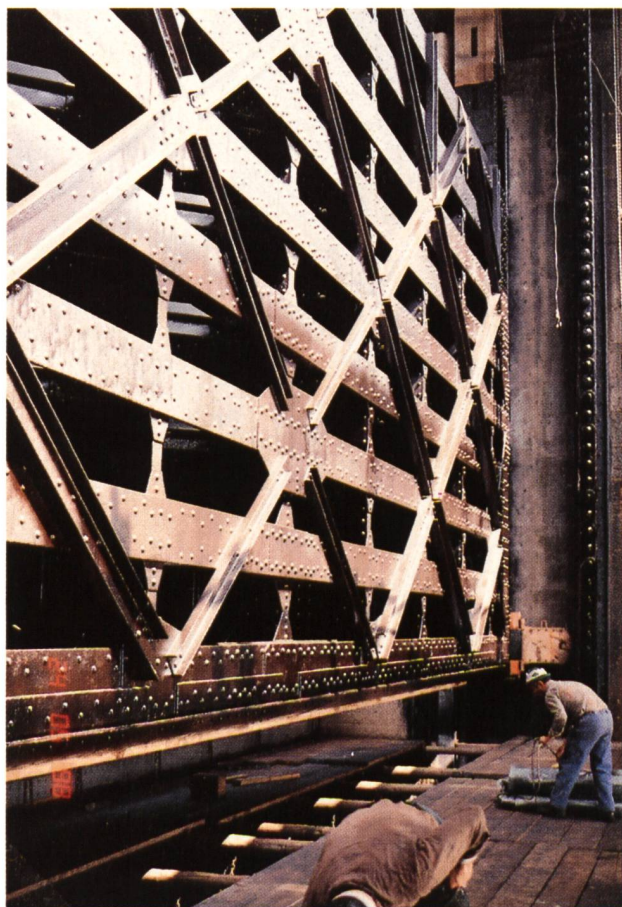


Bild 19. Untere Schützentafer im Wehrfeld 1 nach dem Auftrag des Korrosionsschutzes.

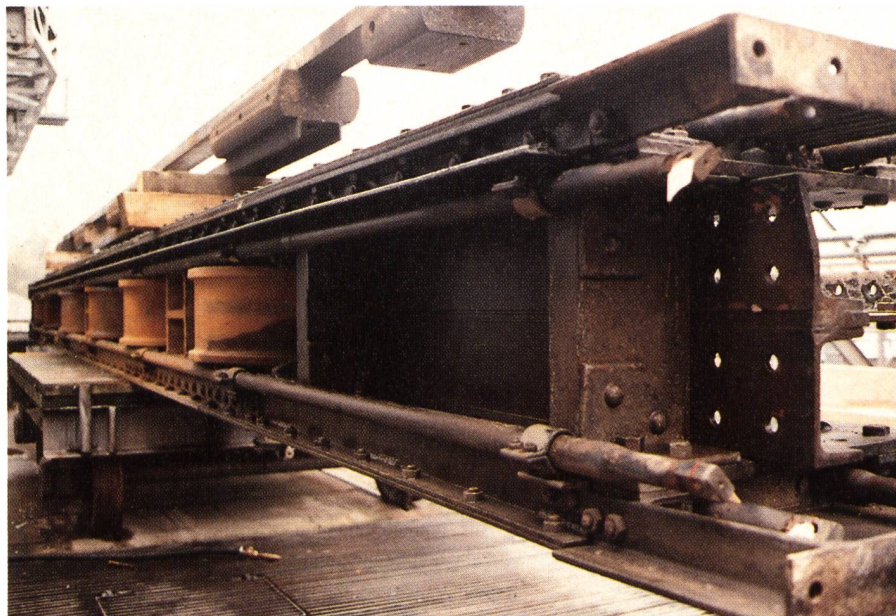
Tabelle 2. Hauptdaten des Kraftwerks Laufenburg

Beschreibung	Einheit	Altes Kraftwerk	Ausgebautes Kraftwerk
Einzugsgebiet	km ²	34074	34074
Mittlerer jährlicher Abfluss (1933–1984)	m ³ /s	1008	1008
Oberwasserstaukote	m ü. M.	299,44	299,44
Brutto-Fallhöhe:			
– $Q_{\text{Rhein}} = 475 \text{ m}^3/\text{s}$	m	9,89	10,05 ²
– $Q_{\text{Rhein}} = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$	m	9,01	9,45 ²
– $Q_{\text{Rhein}} = 2650 \text{ m}^3/\text{s}$	m	7,50	8,38 ²
Turbinen:			
– Ausbaudurchfluss	m ³ /s	1080	1370
– Anzahl Einheiten	–	10	10
– Typ	–	Francis	Straflo
– Installierte Leistung	MW	100	110
– Nenndrehzahl	U/min	125	107,14
– Laufraddurchmesser D1	m	1,70	4,25
Generatoren:			
– Nennleistung	MVA	13	12
– Überlast-Leistung	MVA	–	13,75
– Nenn-Cosphi übererregt	–	–	0,9
– Nennspannung	kV	6,4	10,5
– Spannungsbereich	%	±5	±5
– Normalfrequenz	Hz	50	50
Energieproduktion (ohne Einstauersatz):			
– Winter	GWh	223	277
– Sommer	GWh	267	353
– Jahr	GWh	490	630
Wehr:			
– Anzahl Wehrfelder	–	4	4
– Breite der Wehrfelder	m	17,30	17,30
Schwellenkote:			
Felder 1 und 4	m ü. M.	282,74	282,74
Felder 2 und 3	m ü. M.	285,24	285,24

¹Neuer Schweizer Horizont (NSH)

²Nach Baggerung im Unterwasser durch das Rheinkraftwerk Säckingen bei Normalstau

Bild 20. Rollenwagen einer Wehrschütze vor der Revision.



wendung aller noch brauchbaren Bestandteile erneuert, auf Wälzlagerung und auf ein Schmiersystem mit Rückführung umgebaut. Auf diese Weise werden zukünftig Schäden an den Dichtungen der Lager auch im eingebauten Zustand beim Schmierservice entdeckt und es sind keine weiteren Unterhaltsarbeiten notwendig, solange die Schmierung einwandfrei funktioniert.

5.3 Elektrische Ausrüstung

Die Stauregelung mit den Turbinen und dem Wehr wurde bisher durch Handbedienung vorgenommen. Zukünftig soll ein automatischer Pegelregler diese Funktion übernehmen und dabei dank einem überlagerten Durchflussregler Unregelmässigkeiten des Abflusses möglichst reduzieren. Damit der neue digitale Pegelregler die Wehrschützen bedienen kann, muss auch die Vor-Ort-Steuerung des Wehrs inklusive der Stellungsmessung der Schützen entsprechend erneuert werden. Die ganze Kraftwerksleittechnik ist so konzipiert, dass der Pegelregler über der Ebene der Vor-Ort-Wehrsteuerung und der Maschinensteuerungen eine selbständige Funktionseinheit bildet (Bild 21). Bei einem Ausfall des Pegelreglers können die Maschinen und das Wehr vor Ort von Hand betrieben werden. Als unabhängiges Sicher-

heitssystem wird zusätzlich ein Notregler eingebaut, der bei einem grösseren Überstau nur auf die Wehranlage zugreift.

6. Ausführung

Die Bauarbeiten begannen Anfang April 1988. Mitte März 1990 konnte die erste Maschine dem Bauherrn übergeben werden. Die Übergabe der zehnten Maschine ist im Dezember 1992 vorgesehen. Der geplante Bau- und Montageablauf hat sich, nach einigen Anlaufschwierigkeiten und Anpassungen einzelner Bauphasen, bewährt. Der Umbau bei Aufrechterhaltung des Betriebes während der gesamten Bauzeit stellt höchste Anforderungen an Bauherrn, Unternehmer und Lieferanten sowie an die Projektierung und Bauleitung insbesondere bezüglich sich laufend ändernden Gegebenheiten und Arbeitssicherheit. Aus heutiger Sicht dürfte der Um- und Ausbau gemäss Programm und im Rahmen des Kostenvoranschlages abgeschlossen werden können.

Die Erneuerung des Rheinkraftwerks Laufenburg zeigt, wie ein altes Kraftwerk auf wirtschaftliche Art und ohne Veränderung des äusseren Erscheinungsbildes im Innern mit moderner Technik ausgerüstet und dabei eine Mehrproduktion von gegen 30 % erreicht werden kann (Tabelle 2).

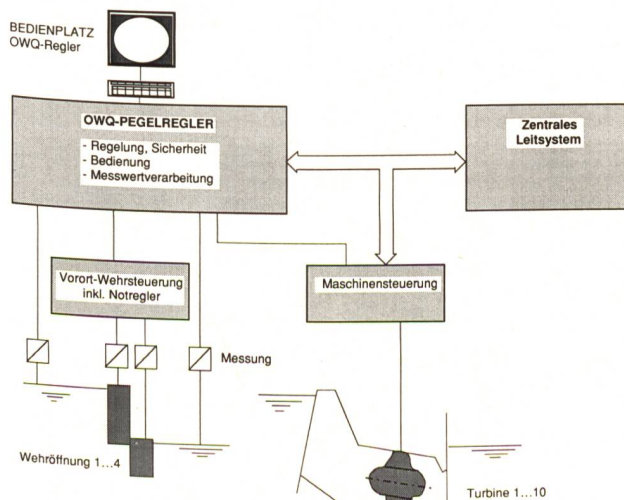


Bild 21. Konzept der Oberwasserregelung.

Literatur

- [1] Miller, H., Vontobel, J., Höller, K.: Uprating the Laufenburg Swiss/German Power Station with ten Straflo-Units, «International Water Power and Dam Construction», September 1988.
- [2] Ruoss, R., Gyenge, J., Fischer, F.: Ausbau des Rheinkraftwerks Laufenburg mit Straflo-Maschinen, «Technische Rundschau Sulzer» 3/1988 (Sonderdruck).

Adressen der Autoren

Dr. sc. techn. Jürg Vontobel, Kraftwerk Laufenburg, CH-4335 Laufenburg
Dr. sc. techn. Armin Fust, Kraftwerk Laufenburg, CH-4335 Laufenburg
Roland Ruoss, Bauingenieur HTL, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, CH-8034 Zürich
Hansjürg Vögtli, dipl. Bauingenieur ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, CH-8034 Zürich

Am Bau Beteiligte

Bauherr

Kraftwerk Laufenburg, 4335 Laufenburg CH

Projekt und Bauleitung

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8034 Zürich

Bauliche Arbeiten

ARGE RKW Laufenburg, 4335 Laufenburg CH, Rohbau

– Marti AG, Basel

– Wayss & Freytag AG, Stuttgart

– Schleith GmbH, Waldshut

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

Ankaba AG, 8305 Dietlikon, Ankerschienen, JBW-Anschlüsse

Adelbert Weiss, 4349 Rheinsulz, Spenglerarbeiten

Aschwanden Aarau AG, 5000 Aarau, Bedachungsarbeiten

Conrad Kern AG, 4153 Reinach, Gerüstung, Notdach

Dilger Metallbau, 7826 Schluchsee, Metallfenster

Eisenring AG, 9243 Jonschwil, Brandschutztüren

Erne AG, 4335 Laufenburg CH, Kabelkanal, Brunnenköpfe

Gebrüder Meier AG, 5200 Brugg, Grundwasserbrunnen

Kaufmann AG, 5313 Klingnau, Malerarbeiten

Lanz Oensingen AG, 4702 Oensingen, Doppelböden

LIBAG, 5033 Buchs AG, Kühlwasserleitung

Lothar Öschger, 7887 Laufenburg D, Unterlagsböden

Schnetzler AG, 4335 Laufenburg CH, Stahlbauarbeiten

Stahlbau Zimmermann GmbH, 7888 Rheinfelden D, Schlosserarbeiten

Straal AG, 8439 Mellsdorf-Wislikofen, Korrosionsschutzarbeiten

Korrosionsschutzarbeiten

Stritmatter AG, 4335 Laufenburg CH, Sanitärarbeiten

Teprotex AG, 8108 Regensdorf, Kunstharzbodenbeläge

Vinzenz Herzog AG, 5262 Frick, Plattenarbeiten

W. Stäubli Ingenieur AG, 8075 Zürich, Taucherarbeiten

Stahlwasserbau

ARGE ZWAG AG + Buss AG, 5312 Döttingen, Oberwasserdambalken

H. Bieri AG, 3097 Liebefeld, Rechenreinigungsanlage

Noell GmbH, 8700 Würzburg, Unterwasserdambalken

Schneider AG, 5036 Oberentfelden, Rechenanlage

Mechanische Ausrüstung

Alois Koch, 9050 Appenzell, Demontgearbeiten

ARGE Sulzer-Lutema, 7800 Freiburg i.B., Klima- und Lüftungsanlage

D-Krantechnik AG, 8306 Brüttisellen, Wehrschützenantriebe

Wehrschützenantriebe

Gebauer AG, 8910 Affoltern a. Albis, Warenlift

Hadorn & Cie, 3000 Bern, CO₂-Brandschutzanlage

Hydro-Progress AG, 6000 Luzern, Kühlwasseranlage

Industriegesellschaft, vormals Brun & Co. AG, 6244 Nebikon, Krananlagen

6244 Nebikon, Krananlagen

KSB Zürich AG, 8031 Zürich, Drainageanlage

Lehmann AG, 4800 Zofingen, Heizungs- und Wärmepumpenanlage

Wärmepumpenanlage

PS Förder- und Lagertechnik GmbH, 6800 Mannheim, 100-t-Kran

100-t-Kran

Sulzer-Escher Wyss AG, 8023 Zürich, Straflo-Turbinen

Tuchs Schmid AG, 8500 Frauenfeld, Kranschienenanlage

U. Ammann AG, 4900 Langenthal, Notstrom-Dieselanlage

Elektrische Ausrüstung

ARGE Elektroinstallationen, 4336 Kaisten, Elektrische Installationen

– Elektro Ackermann AG, Kaisten

– Elektro Hegi AG, Laufenburg

– R. Hegi & Co, Mettau

– Kummler & Matter, Spreitenbach

Asea Brown Boveri AG, 5401 Baden/Mannheim, Generatoren mit Zubehör

BAG Turgi, 5300 Turgi, Beleuchtungskörper

Brugg Kabel AG, 5200 Brugg, 110-kV-Kabel-Anlage

Cables Cortaillod SA, 2016 Cortaillod, 110-kV-Kabel

Camille Bauer AG, 5610 Wohlen, 110-kV-Schaltanlage:

Messinstrumente, Messwertumformer

Cerberus AG, 4133 Pratteln, Brandmeldeanlage

Concordia Sprecher Energie GmbH, 7024 Filderstadt 1, Generatorschaltanlagen

Gutor Electronic AG, 5430 Wettingen, USV-Anlage

Integra Signum AG, 8304 Wallisellen, 110-kV-Schaltanlage:

Lokalsteuerung

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

Leukhardt GmbH, 4458 Tuttlingen, Eigenbedarfsanlagen

Rittmeyer AG, 6300 Zug, Wehrsteuerung

Siemens-Albis AG, 8047 Zürich, Leittechnik,

Maschinentrafos

Sprecher Energie AG, 5036 Oberentfelden, 110-kV-Schaltanlage

110-kV-Schaltanlage

Studer Draht- u. Kabelwerke AG, 4658 Däniken SO, NS- und Steuerkabel



Bild 22. Beim Einfahren des 50,4 t schweren Leitapparates in die Maschinengrube 1.