Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 105 (2013)
Heft: 1

Artikel: Neubau Kraftwerk Rheinfelden
Autor: Fust, Armin / Reif, Helmut / Biesgen, Wolfgang
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941536

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Neubau Kraftwerk Rheinfelden

Armin Fust, Helmut Reif, Wolfgang Biesgen , Alick Schwyzer, Frank Pelzer, Beat Karrer, Stefan Ficht, Jochen Ulrich, Gerhard Blessing

Projektbericht 2009–2012

Ein erster Projektbericht 2002–2008 (Halbzeitbericht) ist in «Wasser Energie Luft» 2008, Heft 3 erschienen [1]. Darin sind hauptsächlich der Bau des Stauwehrs in den ersten zwei Baugruben im Rhein und die Vorbereitung der dritten Baugrube für das Maschinenhaus beschrieben. Der vorliegende Bericht beschreibt den Projektablauf von der Halbzeit 2008 bis zur Fertigstellung 2012. Ein ausführlicher Bericht über das Gesamtprojekt [2] kann bei Energiedienst AG angefordert werden.

Zusammenfassung

Die Energiedienst AG erhielt 1989 neue Konzessionen für weitere 80 Jahre Kraftwerksbetrieb am Standort Rheinfelden. Damit verbunden war die Auflage, ein neues Kraftwerk mit höherer Stromproduktion zu errichten. Entstanden ist ein 100-Megawatt-Laufwasserkraftwerk mit vier Rohrturbinen und einem Wehr mit sieben Öffnungen. 380 Millionen Euro wurden in das neue Kraftwerk investiert. Im Dezember 2010 produzierten erstmals alle Maschinengruppen Strom. Die Stromproduktion wurde gegenüber der alten Anlage mehr als verdreifacht und stieg von 185 auf 600 Millionen Kilowattstunden pro Jahr. Verbunden mit dem Kraftwerksneubau sind zahlreiche Ausgleichsmassnahmen, die den Raum ökologisch aufwerten. Kernstück ist ein rund 900 Meter langes naturnahes Fliessgewässer, das 2012 den bisherigen Kraftwerkskanal in einen wertvollen Lebensraum für zahlreiche Fisch- und Pflanzenarten verwandelte. Das neue Stauwehr wurde von 2003 bis 2007 gebaut, es folgte das Maschinenhaus, das Mitte 2010 den Betrieb aufnahm. Im Unterlauf des Kraftwerks wurde der Rhein eingetieft, um das Gefälle zu erhöhen. Das Oberwasser wurde um 1.4 Meter höher gestaut. Dies erforderte Sicherungsmassnahmen an umliegenden Gebäuden. Im September 2011 wurde das neue Kraftwerk offiziell eingeweiht. Die Fertigstellungsarbeiten der Kraftwerksumgebung dauerten noch bis Ende 2012. Im Frühjahr 2011 war die alte Kraftwerksanlage rückgebaut worden. Die älteste Maschine ist betriebsgetreu erhalten und dokumentiert im «Pavillon Kraftwerk 1898», welcher im Juli 2012 eingeweiht und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurde.

Kraftwerk Rheinfelden mit naturnahem Fliessgewässer am 01.08.2012

1. Rheineintiefung

In der Rheinsohle wurde auf einer Länge von 1.8 Kilometern ein Kanal bis zur Altstadt von Rheinfelden/Schweiz ausgebaggert, um dem turbinierten Wasser nach dem Maschinenhaus einen möglichst freien Abfluss zu ermöglichen. Der Kanal ist 100 Meter breit und 12 bis 4 Meter tief.

Von der Maschinenhaus-Baugrube bis zur alten Fussgängerbrücke wurde am rechten Rand des auszuhebenden Kanals ein befestigter Damm geschüttet. Dafür wurde Aushubmaterial von der Baustelle verwendet. Der Damm diente als Fahrbahn und Standfläche für die grossen Aushub- und Transportgeräte. Eine 50 Meter lange Baubrücke verband den ufernahen Damm mit demjenigen, der in der Kanalachse flussabwärts weitergeschüttet wurde. Dies gewährleistete den Rheinabfluss rechts und links des Damms.

Ausgehend vom Hauptdamm in der Kanalachse wurden rheinabwärts jeweils Querdämme auf die Schweizer Seite geschüttet und von denen aus die eine Kanalhälfte ausgebaggert. Das gewonnene Material wurde für den folgenden Querdamm wie auch für die Verlängerung des Hauptdamms verwendet. Ab dem unteren Ende der Eintiefung, welche im Mai 2009 erreicht war, arbeiteten sich die Aushubgeräte wieder rheinaufwärts und baggerten bis Mitte April 2011 den Hauptdamm sowie den darunterliegenden Fels bis an die rechte Kanalseite aus. Der geschüttete Damm im Rhein wurde in dieser Zeit mehrmals durch Hochwässer überflutet und beschädigt und musste deshalb wiederhergestellt werden. Für den Aushub von einer Million Kubikmeter Material, davon 90 Prozent Fels und der Rest Kies, wurden grosse Geräte eingesetzt. In Spitzenzeiten baggerten gleichzeitig drei jeweils 130 Tonnen schwere Raupenbagger mit speziell langem Monoblock. Mit einem Reisszahn oder einem Meissel bestückt, konnten sie den Fels bis in acht Meter Tiefe lösen. Ein in den Baggern integriertes GPS-System half den Maschinenführern bei der Orientierung unter Wasser.

Bild 1. Unterster Punkt der Rheineintiefung im Mai 2009.

Bild 2. Mit vier Kubikmeter fassenden Löffeln beluden die drei 130 t-Bagger sieben Dumper, die das Material zu den Deponien brachten.

Für den Aushub zwischen Maschinenhaus und Fussgängerbrücke mussten bis in Tiefen von 12 bis 8 Metern 420 000 Kubikmeter Fels durch Sprengungen gelockert werden. In einem ersten Schritt mussten auf der Rheinsohle mit gebrochenem Felsmaterial Arbeitsplattformen geschüttet werden. Von diesen aus trieben Bohrgeräte Löcher in den Fels bis etwa einen Meter unter die Sollkote des auszubaggernden Kanals. Dazu wurden Pumpsprengstoffe unmittelbar am Bohrloch aus nicht explosiven Einzelstoffen gemischt und über einen Schlauch im tiefsten Punkt des Bohrlochs eingebracht. Gestaffelte Zündungen mehrerer Bohrlöcher in kurzen Zeitabständen liessen die einzelnen Ladesäulen detonieren.

Die aus den Sprengungen resultierenden Erschütterungseinwirkungen wurden permanent überwacht durch die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt der Universität Karlsruhe.

Für die drei Baugruben und die 1.8 Kilometer lange Rheineintiefung mussten 1.4 Millionen Kubikmeter Fels ausgebaggert werden, ein kleiner Teil davon fiel als Schotter an. Für die Deponierung dieses Aushubmaterials konnte mit einem Steinbruch auf deutscher Seite und einer Kiesgrube in direkter Nähe zur Baustelle auf Schweizer Seite ökologisch sinnvolle Lösungen gefunden werden. Ein beachtlicher Teil des Materials wurde in der vor Ort aufgestellten Brecheranlage zu drei Gesteinsfraktionen zerkleinert und wieder verwendet.

2. Bau des Maschinenhauses und des Empfangsgebäudes

Nachdem im November 2007 die dritte Baugrube für das Maschinenhaus einschliesslich des Wehrfelds 1 ausgehoben und mit aufwendigen Injektionen abgedichtet war, wurden Anfang Februar 2008 die tiefsten Stellen der Baugrube auf Kote +237,00 m NSH ausgebaggert. Danach wurde mit den vorbereitenden Betonarbeiten und der Einrichtung der Wasserhaltung begonnen. Die tiefsten Punkte

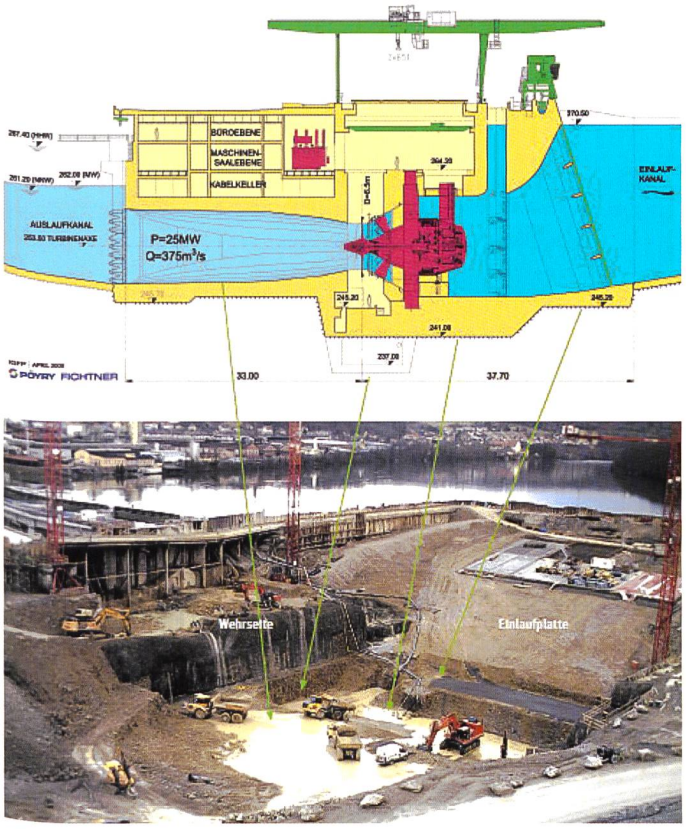


Bild 3. Schematische Lage des Maschinenhauses in der Baugrube.

Bild 4. Baugrube Maschinenhaus.

Bild 5. Unterwasserauslauf Saugrohrstrukturen Maschinen 1–4.

der Baugrube waren der Entleerungs- und Drainagesumpf, welche der Turbinen- und Drainagenentwässerung dienen. In dieser Aushubtiefe waren die geologischen Übergänge vom Trochitenkalk zum darunterliegenden Dolomit an den Felswänden gut erkennbar. Parallel wurden im Wehrfeld 1 Untergrundverbesserungen mit Beton im Bereich der Felsoberflächen ausgeführt. Anschliessend begannen auch hier die Schal-, Bewehrungs- und Betonarbeiten zur Erstellung der Fundamente für das Maschinenhaus.

Der Bau des Maschinenhauses erfolgte in drei Bauabschnitten:

1. Einlaufplatte
2. Kernbereich Turbinentrakt mit dem Turbinenhaus einschliesslich des Kernbereichs mit der Saugrohrpanzerung
3. Saugrohrtrakt mit dem darüberliegenden Anlagengebäude

Der an das Maschinenhaus angrenzende Wehrpfeiler Ost wurde in drei analoge Abschnitte unterteilt.

Aufgrund der Komplexität der Bauarbeiten wurden die grossen Bauabschnitte in sogenannte «Blocketappen» unterteilt, welche sich aus den jeweiligen Betonierabschnitten ergaben. Die Blocketappen wurden zur detaillierten Übersicht der einzelnen Abschnitte als zusammengefasste Blockfugenpläne gezeichnet. Der Plan gab die wichtigsten Betonier- und Montageabläufe vor, die zwingend im Bauablauf, dem sogenannten kritischen Weg, eingehalten werden mussten. In den aus den Blockfugenplänen hervorgehenden Schalplänen waren auch das Abdichtungskonzept, die verschiedenen Einlegeteile und die zu verlegenden Leitungen eingezeichnet. Eine Besonderheit war die Unterteilung in eine Konstruktions- und Ausführungsplanung. Die Ausführungspläne der Schalung und Bewehrung wurden vor der Freigabe von einem unabhängigen Statiker geprüft.

Im Kernbereich des Maschinenhauses wurden zuerst die Fundamente der Maschinengruppen 1 bis 4 einschliesslich der Fundamente der Saugrohrpanzerungen gegossen. Anschliessend wurden die Erstbetonstrukturen der oberwasserseitigen Pfeiler und die Einlaufkonturen der einzelnen Maschinengruppen des Kerntrakts erstellt. Gleichzeitig wurden die unterwasserseitigen Erstbetonstrukturen der Pfeiler in den Bereichen der Saugrohrpanzerungen betoniert, so dass die Saugrohrpanzerungen montiert werden konnten.

Der zwischen dem Maschinenhaus und der Wehranlage stehende Trennpfeiler (Dotierpfeiler) wurde in den tieferen Gründungsbereichen gegen den Fels der deutschen Uferseite betoniert. Die in der Baugrube höher liegenden Betonstrukturen des Wehrfelds 1, die Oberwassereinlaufplatte und die auf Bohrpfählen gegründete Uferwand der Schweizer Seite wurden zunächst unabhängig vom Maschinenhaus erstellt. Später mussten die Bauarbeiten in diesen Abschnitten jedoch so weit fortgeschritten sein, dass die Rohbaustrukturen des Maschinenhauses im weiteren Baufortschritt gemeinsam mit diesen Bauteilen hochgezogen werden konnten, weil diese Bauteile dann baulich ineinandergriffen.

Parallel mit dem Zweitbeton bzw. Einbetonieren der Saugrohrpanzerungen wurden die unterwasserseitigen Fundamente und Erstbetonwände der Saugrohre betoniert. Jedes Saugrohr wurde zweiteilig ausgeführt. Als Erstes wurde die untere Schalung der Saugrohre eingebaut und betoniert. Für die zweite Hälfte der Saugrohre wurde eine obere Schalung eingesetzt. Gleichzeitig arbeitete man im Einlaufbereich mit Hochdruck an den Einlaufpfeilern.

Nachdem auf dem Werk- und Montageplatz am Schweizer Ufer die Fundamentwände der Kranbahnträger gebaut und die Baugruben verfüllt waren, konnte der zweite Portalkran montiert werden. Die Fertigstellung der Kranbahnträger vom Werkplatz bis zur Maschinengruppe 1 ermöglichte die weitere Montage der Maschinenbauteile in diesem Abschnitt. So

Bild 6. Der Stützringschacht ist eingebaut und die Montagen von Turbine bzw. Generator kann beginnen

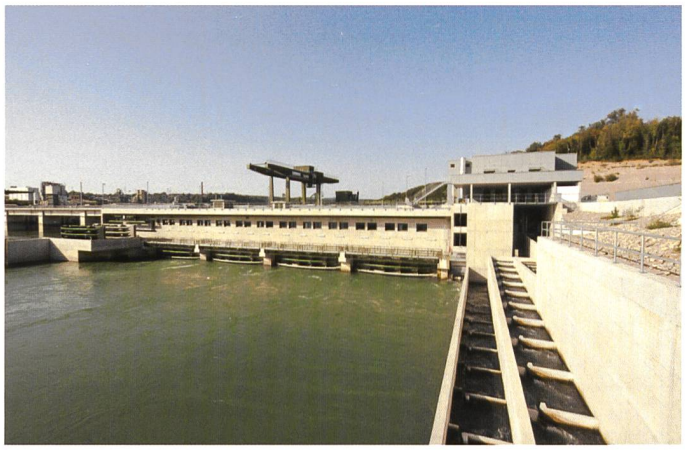


Bild 7. Blick auf den Vertical-Slot-Fischpass am Schweizer Ufer.

konnte der Stützringschacht Maschinengruppe 1 und der Mauerring Maschinengruppe 1 eingehoben und mit dem Betonieren der Zweitbetonetappen begonnen werden. Nach dem Verguss des Mauerrings wurde die obere Deckenschalung der Einlaufkonturen im Oberwasser mit dem Stahlrahmen des Generatordeckels eingebaut, bewehrt und betoniert. Diese Taktfolge wurde in den Maschinengruppen 2 bis 4 mit den gleichen Abläufen wiederholt.

Für die späteren Montagen der noch schwereren Maschinenbauteile wurden die Portalkräne gekoppelt. Dazu mussten zuvor die Kranbahnwände und der Überbau des Wehrfelds 1 fertig gestellt werden. Um Zeit zu sparen, wurde im Einlaufbereich wie im Saugrohrabschnitt eine zweite obere Kalottenschalung eingesetzt.

Am Schweizer Ufer wurde der Vertical-Slot-Fischpass als ein vom Maschinenhaus entkoppeltes Stahlbetonbauwerk im Fels verankert und betoniert. Die einzelnen Schlitzpasselemente wurden als Fertigteile ausgebildet und vor Ort mittels Winkeln und Ankerhülsen mit den Wänden und dem Boden verschraubt. Das Substrat für die Sohle des Fischpasses wurde aus dem vorhandenen Felsaushub gewonnen und in den einzelnen Fischpassbecken verlegt. Die Niveaudifferenz zwischen den Becken beträgt 15 Zentimeter, und die Schlitzbreite für den Durchgang der Fische misst 30 Zentimeter.

Beim Erstbeton des Maschinenhauses handelt es sich im Wesentlichen um Massenbeton, einen speziellen Beton, der vor allem für massige Bauteile verwendet wird. Er muss hier in erster Linie den wasserbauspezifischen Eigenschaften genügen. So muss er sulfatbeständig sein, da er mit kalkhaltigem Fels in Berührung kommt. Zusätzlich muss er wasserbeständig gegen Karbonatisierung sein. Für Fischpass, Tunnel und Wehrschwelle wurde Beton mit höheren Druckfestigkeiten und Bewehrungsgraden verwendet, da die schlankeren Bauweisen höhere Anforderungen an das Material stellten. Zur Verringerung der Hydratationswärme beim Abbinden und Erhärten des Betons wurde CEM I (Portlandzement) mit Zugabe von Flugasche unter Einhaltung eines Wasser-/Bindemittelgehaltes (Bindemittel = Zement + Flugasche) von im Mittel 0.48–0.50 verwendet.

Insgesamt wurden für die Bauarbeiten am Maschinenhaus, den Wehrpfeilern und den die Baumassnahme tangierenden Gewerken einschliesslich Tunnel, Fischpass auf Schweizer Seite und Empfangsgebäude rund 176 000 Kubikmeter Beton und etwa 16 000 Tonnen Betonstahl verbaut (Maschinenhaus 100 000 Kubikmeter Beton, Dotierpfeiler 26 000 Kubikmeter und Tunnel 11 000 Tonnen Stahl, Stauwehr und Wehrinsel 50 000 Kubikmeter Beton, 4500 Tonnen Stahl). Dank der Betonherstellung in direkter Nachbarschaft zur Baustelle und der Verwendung von auf der Baustelle angefallenem Kies konnten Betontransporte durch die bewohnten Gebiete vermieden werden.

Das auf der Zugangsebene von Schweizer Seite liegende Empfangsgebäude ist ein zweistöckiges Gebäude, wobei das Erdgeschoss eine Ausstellung beherbergt und das Obergeschoss bis zu 80 Personen Platz für Schulungen und Anlässe bietet. Die Fundamente des Gebäudes sind aufwendig über dem Fischpass gegründet und bis zu fünf Meter tief sowie erdbebensicher ausgelegt. Die Gebäudehülle ist mit einem Vollwärmeschutz gedämmt. Auf dem Wärmeschutz wurde eine Konstruktion aus Fassadentafeln befestigt. Die zum Unterwasser und in Südwest-Ausrichtung angelegte Terrasse ist vom Obergeschoss aus begehbar und durch Pfeiler auf den Fischpasswänden gegründet.

3. Montage der Anlagenausrüstung

Im neuen Kraftwerk kommen vier doppelt regulierte Rohrturbinen zum Einsatz. Generator und Turbine bilden dabei eine Einheit, die vom Wasser umströmt wird. Alle Medien wie Regelöl, Druckluft, Kühlwasser und Strom werden über einen Einstiegsschacht in den Generatorbereich geführt. Auch die Messsignal- und die Energieableitungskabel werden durch diesen Verbindungsschacht zur Warte und zur Schaltanlage geführt. Durch den Ein-

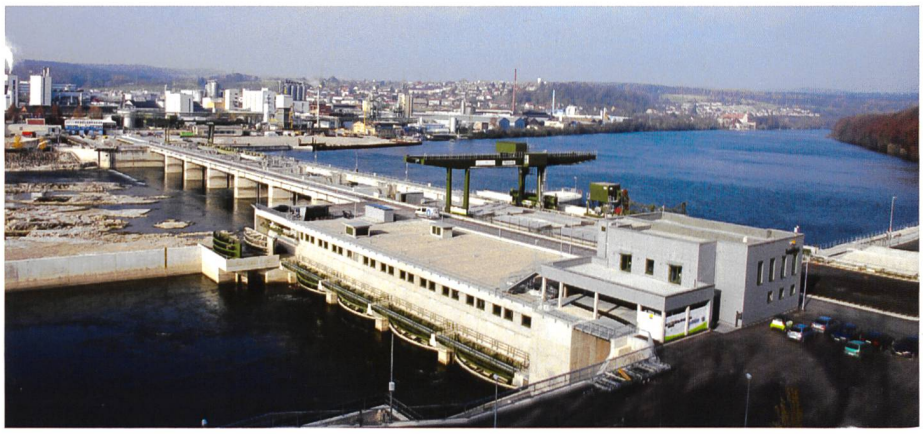


Bild 8. Blick auf das Kraftwerk mit dem Empfangsgebäude am rechten Bildrand.

bau der Maschine in der Strömungslinie muss das Wasser im Gegensatz zu einer vertikal eingebauten Kaplanmaschine nicht zusätzlich umgelenkt werden.

Die Haupttragkonstruktion ist der Stützringschacht, der an den beiden Enden starr in den Beton eingebunden wird. In Richtung Oberwasser wird der Generator angeflanscht, auf der Abflussseite wird die Turbine befestigt. Wegen der Grösse der Bauteile wurde jedes in vier Teilen gefertigt und in der Baugrube verschweisst. Der Mauerring ist die vorderste Stahlummantelung im Triebwasserweg und musste wegen der grossen Abmessungen ebenfalls auf der Baustelle zusammengefügt werden. Der Leitapparat mit 16 Schaufeln und Federlenkern wird direkt an den Mauerring angeflanscht. Das Laufrad mit 6.5 Meter Durchmesser weist vier Flügel auf, welche sich durch einen in der Nabe des Laufrades eingebauten Servomotor gleichmässig von 0 bis 38 Grad verstellen. Der Laufradmantel schliesst sich an den Leitapparat an und hat einen kugeligen Bereich, in dem sich das Laufrad dreht. Der Spalt zwischen Laufrad und Laufradmantel beträgt nur drei Millimeter. Im Saugrohr wird die Fliessgeschwindigkeit wieder reduziert indem der Abflussquerschnitt auf einer Länge von etwa 30 Metern zunimmt und von rund auf rechteckig ändert. Um Betonschäden zu vermeiden wurden die ersten 8.5 Meter des Saugrohrs mit zwei Zentimeter dickem Stahlblech ausgekleidet.

Der Stator des Generators wurde an den Stützringschacht angeflanscht. Die Aussenhülle des geschweissten Gehäuses wird direkt vom Wasser umflossen. Der grösste Bereich dieses Gehäuses wird gleichzeitig als Wärmetauscher verwendet. Dazu wurde dieser Teil doppelwandig ausgeführt und das Kühlwasser in einem geschlossenen Kreislauf durch diesen Zwischenraum gepumpt. Mit einem Aussendurchmesser von 7.7 Metern und einem Gewicht von 110 Tonnen war der Stator zugleich das grösste komplett angelieferte Teil. Der Rotor mit einem Gesamtgewicht von 120 Tonnen besteht aus einer geschweissten starren Nabenkonstruktion, an welchem über flexible Schrägplatten der massive Aussenring angeschraubt ist. Die 40 geblechten Polpaare wurden in einem speziellen Zelt auf der Baustelle montiert. Der für den Einbau fertig montierte Rotor wurde anschliessend auf temporären Schienen unter die Portalkräne geschoben und dort von diesen übernommen. Beim Generator musste zuerst die Nase mit den Spaltkühlern auf Hilfsschienen gestellt und so weit als möglich in Richtung Oberwasser verschoben werden, mit dem Stator wurde gleich verfahren. Zuletzt wurde der Rotor direkt an die Welle angeflanscht und danach der Stator über den Rotor geschoben. Dann wurde die Nase zum Stator geschoben und angeflanscht.

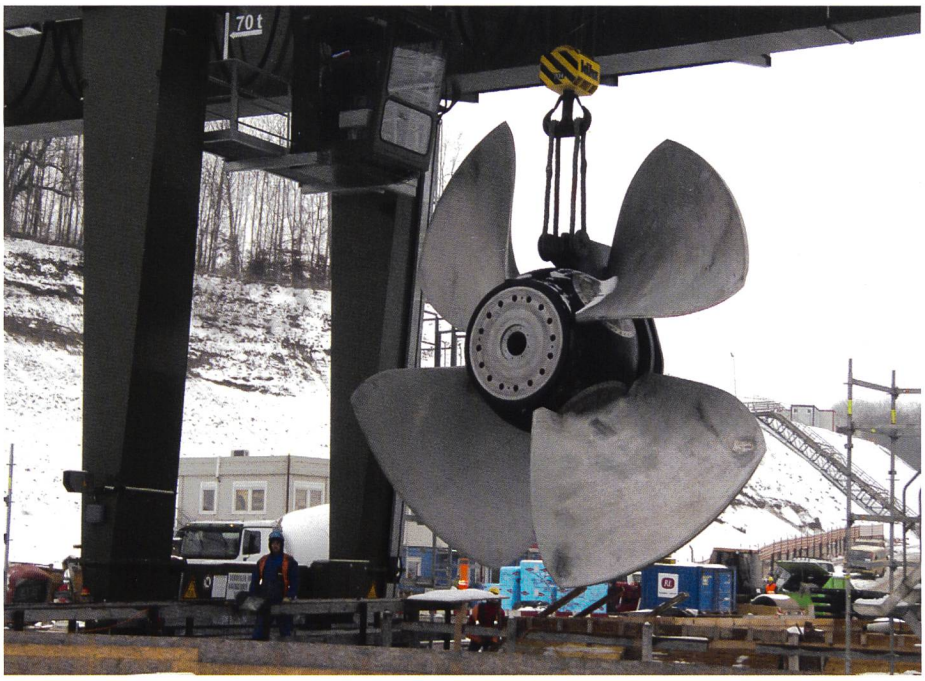


Bild 9. Einheben des ersten Turbinenlaufrades.

Bild 10. Zusammenschieben des Generatorstators über den Rotor.

In den Trennpfeilern zwischen Wehr und Maschinenhaus wurde zusätzlich eine Dotiermaschine eingebaut, welche das Gwild unterhalb des Stauwehrs stets mit 30 m^3/s überströmt. Das Wasser wird direkt vor dem Wehrsegment 1 entnommen und nach dem Segment in das Stauwehrtosbecken abgegeben. Um die Sicherheit der Kraftwerksanlage weiter zu erhöhen, wurde diese Maschine als Kaplanturbine für einen Schwarzstart sowie einen Inselbetrieb ausgelegt.

Für Revisionen und Notabstellungen stehen zwei Gleitdammbalkensätze zu je vier koppelbaren Elementen zur Verfügung. Der Stababstand beim Einlaufrechen wurde schon in der Genehmigung mit 150 Millimetern vorgegeben. Jeweils zwölf Stäbe sind untereinander mit diagonalen Streben verbunden und bilden so ein Rechenfeld. Für die Reinigung des 24 Meter hohen Einlaufrechens steht eine Seilrechenreinigungsmaschine mit einer Harkenbreite von mehr als drei Meter zur Verfügung. Für das Entfernen von grösseren Baumstämmen ist auf der Rechenreinigungsmaschine ein Hilfskran mit Greifer vorhanden. Zusätzlich ist es möglich, am Portalkran einen noch grösseren Schalengreifer zu montieren. Das Geschwemmsel wird von der Harke in die Geschwemmsel-

Bild 11. Blick auf den Zulauf des Kraftwerks kurz vor der Flutung der Baugrube.

rinne geschüttet. Um das Geschwemmsel zum Container zu befördern, wird Wasser hineingepumpt, welches das Material leicht aufschwimmen lässt. Damit die Geschwemmselcontainer gleichmässig befüllt werden können, wurde eine ausfahrbare Rinne angebaut.

Für die Umsetzung von Kleinbooten wurde sowohl im Ober- als auch Unterwasser eine Bootsumsetzstelle erstellt. In diese u-förmig geschlossenen Nischen können die Boote einfahren und werden anschliessend mit einem Umsetzfahrzeug aus dem Wasser gehoben, über das Kraftwerksareal transportiert und an der gegenüberliegenden Umsetzstelle wieder zu Wasser gelassen. Dieses Fahrzeug kann Boote bis zu einer Länge von 20 Metern und einem Gewicht von fünf Tonnen umsetzen. Für kleine Boote (Schlauchboote, Ruderboote) sind Aus- und Einstiegsmöglichkeiten sowie ein Handwagen vorhanden, die ein Umsetzen der Boote ohne Hilfe des Kraftwerkspersonals ermöglichen.

Gemäss Konzession ist die erzeugte Energie je zur Hälfte in das deutsche und Schweizer Netz abzugeben. Dies geschieht über eine SF6-110-Kilovolt-Schaltanlage mit Doppelsammelschiene, zwei Längskupplungen und einer Querkupplung. Dies erlaubt es, jede Maschine entweder mit dem Schweizer oder mit dem deutschen 110-Kilovolt-Netz zu verbinden. Es ist aber nicht möglich, die beiden 110-Kilovolt-Netze Deutschland und der Schweiz miteinander zu verbinden.

Jede Maschine ist mit einem eigenen 31-MVA-Blocktrafo (Maschinentrafo) ausgerüstet, welcher die Generatorspannung von 9 Kilovolt auf 110 Kilovolt hochtransformiert. Das Öl in den Trafos wird über das gleiche Kühlwassersystem wie das des Generators gekühlt und mit einer Stickstofflöscheinrichtung ausgerüstet. Zwischen Generator und Maschinentrafo besteht eine 9-Kilovolt-Schaltanlage mit dem Generatorleistungsschalter samt Synchronisiereinrichtung. Die statische Erregung wird von der 9-Kilovoltanlage versorgt. Im Weiteren verfügt das Kraftwerk über zwei gasisolierte 20-Kilovolt-Schaltanlagen zur Versorgung des Eigenbedarfs des Stauwehrs und zur Anbindung der Dotiermaschine und eines Teils des Eigenbedarfs für das Maschinenhaus. Diese beiden Schaltanlagen sind aus Sicherheitsgründen über zwei Leitungen mit dem deutschen Netz verbunden. Damit die Versorgung des Eigenbedarfs für das Stauwehr und das Maschinenhaus bei Störungen jederzeit gewährleistet ist, wurde diese mehrfach redundant mit Umschaltautomatik ausgeführt. Im Notfall kann die Einspeisung über die inselfähige Dotiermaschine oder über den Notstromdiesel erfolgen. Zwei unabhängige unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) dienen zur Überbrückung von Stromunterbrüchen für Steuerungen, Reglern und Bedienstationen.

Um das Kraftwerk vollautomatisch, d.h. unbesetzt, zu betreiben, sind alle Prozesse mit Steuerungen bzw. Regelungen ausgerüstet. Der übergeordnete Kraftwerksregler koordiniert und steuert die Funktion der verschiedenen Einzelelemente. Bei Störungen oder ausserordentlichen Ereignissen wird das Bereitschaftspersonal informiert. Obwohl alle Steuerungen und Regler über Bussysteme miteinander verbunden sind, werden alle

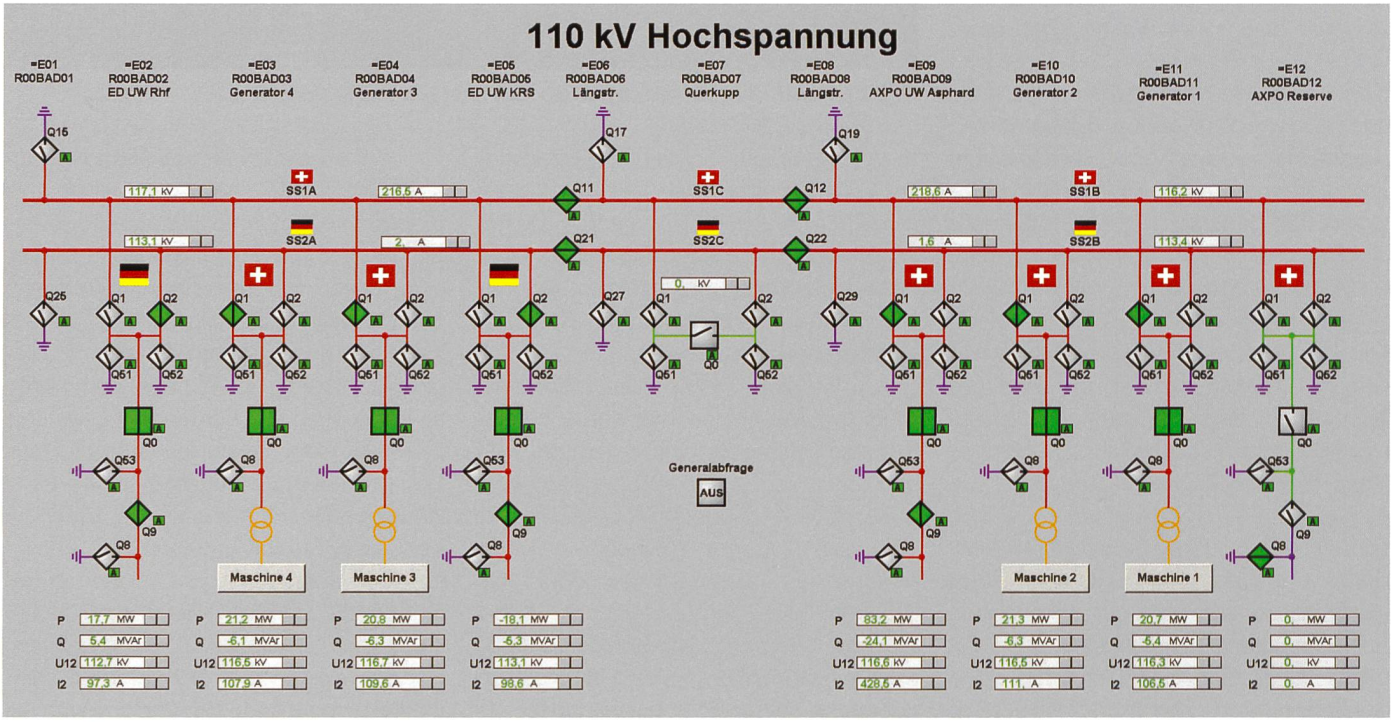


Bild 12. Übersichtsschema der Energieableitung in die 110 Kilovolt Netze D und CH.

sicherheitsrelevanten Signale immer auch direkt verdrahtet, damit bei einem Ausfall der Busverbindung die Anlage in einem sicheren Zustand gefahren wird. Vollkommen unabhängig von dem übergeordneten Kraftwerksregler und den Bussystemen steht am deutschen Ufer ein Notregler zur Verfügung, der im Störungsfall selbstständig den Wasserstand auf den vorgegebenen Sollwert regelt.

4. Betrieb der Anlagen

Die ersten zwei Maschinengruppen wurden anfänglich mit der ursprünglichen Stauhöhe in Betrieb genommen. Die nächsten zwei Maschinen und die Dotiermaschine folgten, als der Zulauf zum alten Kraftwerk stillgelegt war. Danach wurde das Oberwasser im Oktober 2010 höher gestaut, was zu einer Anhebung des Unterwassers beim Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt und damit zu einem Erzeugungsverlust in diesem Kraftwerk von rund 60 GWh im Normaljahr führte, der durch die Energiedienst AG real entschädigt wird. Die Zu- und Abströmung am Maschinenhaus gestaltete sich entsprechend den Modellversuchen. Die Maschinen liefern die garantierten Leistungen, die Rohrturbinen und Generatoren laufen ruhig und gleichmässig. Im Maschinenhaus breitet sich jedoch an den Tagen mit Volllast ein merklicher Körperschall aus. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Wirkung der Rechenreinigungsmaschine als auch der Geschwemmselabtransport sich im Betrieb bewähren. Gesamthaft sind die bereits vorliegenden Erfahrungen überwiegend positiv und führen bei allen Beteiligten zu einer grundsätzlich guten Beurteilung der Anlage.

Die Betriebsmannschaft des neuen Kraftwerks Rheinfelden zählt 16 Mitarbeiter, die zur Vorbereitung auf die neuen Aufgaben bereits bei der Herstellung und Montage der neuen Komponenten eingesetzt wurden.

5. Rückbau der Altanlagen und Erhalt einer Maschinengruppe

Der Rückbau des alten Kraftwerks war Teil des Planfeststellungsverfahrens für den Neubau. Bevor der Kanal und die Turbinenkammern entleert werden konnten, mussten sie mehrfach abgefischt werden. Da man bei der Entleerung Waffen und Munition aus dem 2. Weltkrieg entdeckte, wurde der Kampfmittelräumdienst eingeschaltet. Ein provisorischer Damm ermöglichte den Rückbau der alten Anlage im Trockenen. Zuerst wurden das Portierhaus sowie die Energieableitungsbrücke abgerissen. Nachdem sämtliche Gebäude entkernt waren, wurde der Grobrechen entfernt, somit konnten die Fahrzeuge auf die Baustelle fahren. Der Rückbau der Fussgängerbrücke über den Rhein gestaltete sich schwierig, da der grosse Mobilkran auf eine Schüttung ins Rheinbett fahren musste. Schliesslich wurde das Maschinenhaus zurückgebaut, Generatoren sowie Getriebe wurden demontiert und die Turbinenkammern abgebrochen. Alle Materialien wurden in einem aufwändigen Verfahren aussortiert und in Absprache mit den Behörden entsorgt.

Die älteste Maschinengruppe wurde betriebsgetreu erhalten und aufbereitet. Sie ist zentraler Teil des Ausstellungspavillons «Kraftwerk 1898», der am Standort des alten Kraftwerks dessen Geschichte zeigt und im Juli 2012 eingeweiht und für die Öffentlichkeit geöffnet wurde.

6. Ökologische Massnahmen

Für den Neubau war eine zweistufige Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Dabei wurden zahlreiche Ausgleichsmassnahmen festgelegt. So musste mindestens die Hälfte der charakteristischen Stromschnellen im Rhein, des sogenannten Gwilds, erhalten bleiben. Um ein Trockenfallen dieser Felsstrukturen zu verhindern und die wertvolle wechselfeuchte Flora der Kalkfelsen zu erhalten, wird ständig eine Wassermenge von mindestens 30 m^3/s in das Gwild abgegeben.

Für die Vernetzung der Stauräume im Unter- und im Oberwasser waren ein grosses naturnahes Fischaufstiegs- und Laichgewässer im Zulaufkanal zum alten Kraftwerk am deutschen Ufer sowie einen «Vertical-Slot-Beckenfischpass» auf der Schweizer Seite, jeweils mit Fischzählbecken, zu bauen. Ein provisorischer Raugerinne-Beckenfischpass am Stauwehr wurde als fester Bestandteil in die Anlage integriert und bildet die dritte Fischaufstiegsmöglichkeit. Die Erfahrungen und Erfolge der Fischzählungen bezüglich Artenvielfalt und Aufstiegszahlen zeigen, dass die in Rheinfelden getroffenen Massnahmen die Erwartungen deutlich übertreffen. Für spezifische Aussagen ist

Bild 14. An der Stelle des alten Kraftwerks entstand der «Pavillon Kraftwerk 1898», in welchem die Geschichte des ersten Kraftwerks am Hochrhein anschaulich dokumentiert ist.

Bild 13. Vor dem Rückbau des alten Kraftwerks musste ein Fangedamm und ein Sortierplatz für die Abbruchmaterialien erstellt werden.

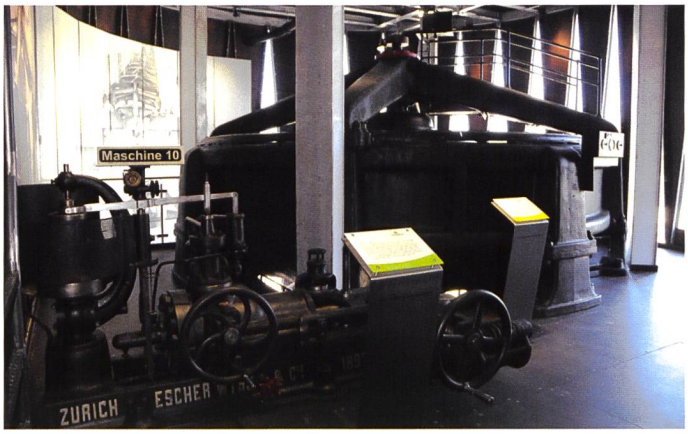


Bild 15. Die betriebsgetreu restaurierte Maschine 10 kann im «Pavillon Kraftwerk 1898» besichtigt werden.

jedoch noch ein längerer Beobachtungszeitraum nötig.

Am Rheinufer waren zahlreiche Massnahmen zur Sicherung notwendig, Schloss Beuggen musste als Landschaftsschutzgebiet und Kulturdenkmal unversehrt erhalten bleiben. Eine wesentliche Rolle spielte der Grundwasserschutz, der mit einer gross angelegten Messkampagne vor und nach dem Bau des Kraftwerks überwacht wird. Insgesamt hat die Energiedienst AG das Konzessionsgebiet mit mehr als 65 Einzelmassnahmen ökologisch aufgewertet, wobei das naturnahe Fischaufstiegs- und Laichgewässer in seiner Grössenordnung (900 m Länge, 70 m Breite, 10–16 m^3/s Abfluss) herausragend ist. Die Umsetzung aller ökologischen Massnahmen wurde von der Planung über den Bau bis zur Abnahme von einer ökologischen Begleitkommission unterstützt.

7. Massnahmen infolge des Höherstaus und Bauperipherie

Der konzessionsbedingte Höherstau im Oberwasser um 1.4 Meter bewirkte einen Anstieg des Grundwasserspiegels und gefährdete damit einzelne Kellerbereiche des Schlosses Beuggen und der Unternehmen Evonik Rheinfelden sowie Aluminium Rheinfelden. Die betroffenen Keller der Schlossanlage wurden mit einem Horizontalabdichtungsschleier im Mauerwerk sowie einer äusseren und inneren Abdichtung mit einer teilweisen Auffüllung geschützt. Die Keller der Evonik Rheinfelden konnten teilweise konventionell mittels zusätzlicher Bodenplatten gesichert werden. Ein Gebäude erhielt eine aufwendige Grundwasserabsenkungsanlage. Bei der Aluminium Rheinfelden reichten die Sicherungsmassnahmen von punktuellen Abdichtungen von Rohrleitungen über die Erhöhung von Kellerfussböden bis zu einem Umbau einer kompletten Schaltanlage. Zusätzlich wurden kleinere Anlagen am Rheinufer wie Fischerhütten, Angelsporteinrichtungen und Bootsliegeplätze gesichert. Alle diese Massnahmen haben sich seit dem Höherstau anstandslos bewährt.

Bild 16. im ehemaligen Kraftwerkszulaufkanal.

8. Terminplan

Nachdem die Energiedienst AG am 20. Dezember 1989 die Konzessionen für den Kraftwerksbetrieb erhalten hatte, wurde mit der Genehmigungsplanung begonnen. Hierzu waren umfangreiche geologische Analysen, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen und hydraulische Modellversuche erforderlich. Im September 1994 reichte die Energiedienst AG termingerecht den Bauantrag bei den deutschen und Schweizer Behörden ein. Mit einem Verzug von zwei Jahren wurde im September 1998 die Baugenehmigung für die Kraftwerkanlage erteilt. Als in Folge der Strommarktliberalisierung in Deutschland die Strompreise sanken und die Finanzierung ins Wanken geriet, wurde 2000 ein Änderungsantrag an die Genehmigungsbehörden gestellt. Gewünscht war nun ein Bau in Etappen. Das Stauwehr sollte sofort errichtet werden, das Maschinenhaus bis 2019 folgen. Diesem Ansinnen wurde mit der Änderungsgenehmigung vom Mai 2002 zugestimmt. Der Schweizerische Fischereiverband, der Aargauische Fischereiverband und Aqua Viva haben daraufhin Einspruch beim Bundesgericht eingelegt. Dieser wurde jedoch im August 2004 abgelehnt. Obwohl das Verfahren am Bundesgericht noch anhängig war, wurde 2002 bereits mit den vorbereitenden Massnahmen wie Neubau des Grobrechens und Verlegung der 110-Kilovolt-Freileitung im Bereich der künftigen Baustelle begonnen. Nachdem der Vorstand und der Aufsichts- bzw. Verwaltungsrat der Energiedienst AG den Bau des Stauwehrs beschlossen hatten, wurde am 31. März 2003 termingerecht mit den Bauarbeiten begonnen. Der Bau des Stauwehrs erfolgte in zwei Bauabschnitten und war im April 2007 mit einem Vorlauf von fünf Monaten beendet. Nachdem der Stau auf das neue Wehr verlegt war, wurde die alte Stauwehranlage rückgebaut. Nach dem Baubeschluss im Juni 2005 wurde die Planung für die Ausführung des Maschinenhauses angegangen und 2007 mit den Arbeiten begonnen. 2010 wurden alle Maschinen in Betrieb genommen. Parallel wurde das Unterwasser eingetieft. Aufgrund eines neuen Verfahrens durch die Arbeitsgemeinschaft Bau wurde die Unterwassereintiefung nicht wie ursprünglich geplant im Jahr 2012, sondern bereits Anfang 2011 abgeschlossen. Somit konnte das neue Kraftwerk ein Jahr früher fertig gestellt werden und entsprechend eher Strom produzieren als ursprünglich geplant.

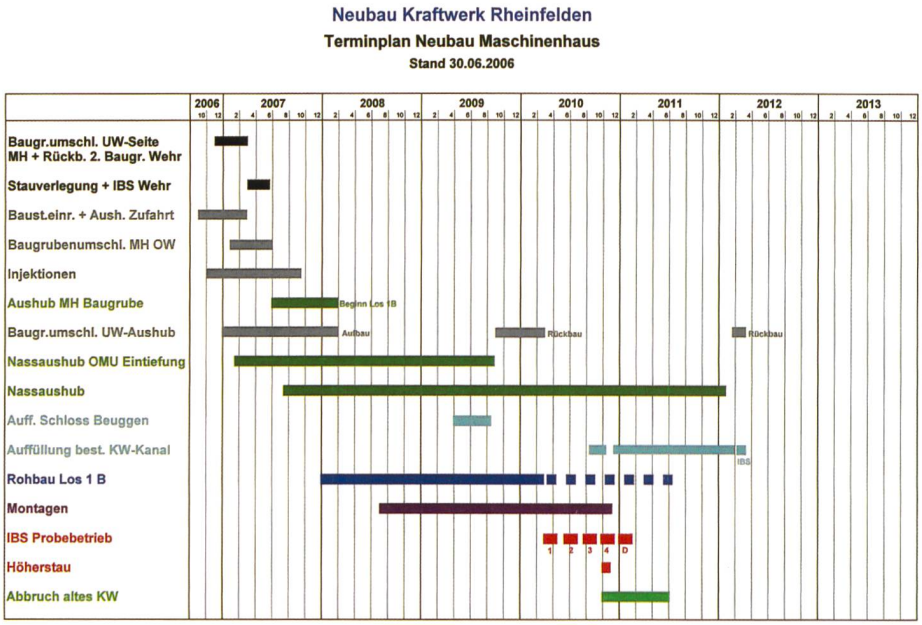


Tabelle 1. Übersicht des Terminplanes.

9. Kosten

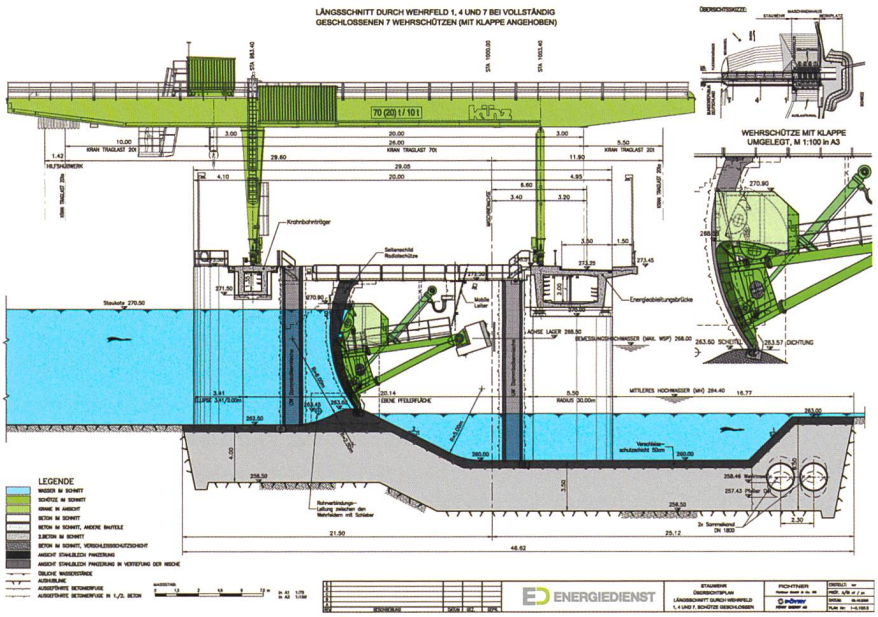
	Budget in Mio. Euro
Vorlaufkosten	45,8
Stauwehr	57,0
Maschinenhaus	277,2
Bauherrentätigkeit	9,3
Ingenieurleistungen	14,0
Bau und Ausstattungen	213,9
Sonstige Maßnahmen	15,0
Unvorhergesehenes	25,0
Gesamt	**380,0**

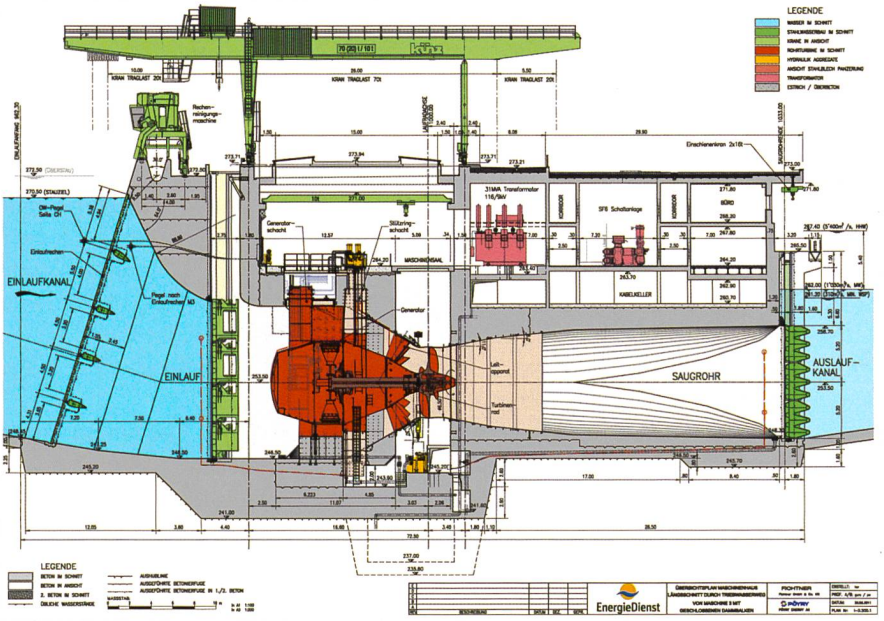
Tabelle 2. Projektgesamtkosten, exklusiv Teuerung von 13 Millionen Euro.

Mit Beginn der Konzessionsplanung 1983 bis zum Bau des Stauwehrs 2003 sind Vorlaufkosten für Planung und vorbereitende Massnahmen in Höhe von 45 Millionen Euro angefallen. Die Kosten für das Stauwehr von 2003 bis 2007 waren mit 57 Millionen Euro budgetiert. Aufgrund von optimierten Bauabläufen konnten diese auf knapp 47 Millionen Euro reduziert werden. Für den Bau des Maschinenhauses wurden mit Baubeschluss vom Juni 2005 rund 277 Millionen Euro vorgesehen. Er wurde jedoch mit 259 Millionen Euro abgeschlossen. Die deutliche Unterschreitung der Kosten war dank einer sehr guten Vorplanung möglich und weil die Unterwassereintiefung mittels Schüttdamm kostengünstiger als die ursprünglich vorgesehene Verwendung von Pontons war. Zusätzlich wurden die gesamten Bauabläufe optimiert. In den budgetierten Gesamtkosten waren keine Teuerungskosten berücksichtigt, diese beliefen sich gesamthaft für das Stauwehr und das Maschinenhaus auf 13 Millionen Euro. Aufgrund der Kostenunterschreitung von 29 Millionen Euro konnte dadurch diese Teuerung mit abgedeckt werden. Nicht berücksichtigt in diesen Kosten sind die Stromerlöse aufgrund der zwölf Monate früheren Inbetriebnahme der Gesamtanlage.

Kenndaten des Projektes Hauptschnitte durch Stauwehr und Maschinenhaus

	Altanlage	*Neubau*
Gefälle	*4.2–6.0 m*	*6.0–9.1 m*
Jahresarbeit	*185 GWh*	*600 GWh*
Leistung	*25.7 MW*	*100 MW*
Turbinen	*20 Maschinen*	*4 Rohrturbinen*
		1 Dotierturbine
Ausbaudurchfluss	*600 m³/s*	*1500 m³/s*
Wehranlage	*12 Wehröffnungen*	*7 Wehröffnungen*
Ökologie	*–*	*Naturnahes Fischaufstiegs- und Laichgewässer (900 m Länge); 2 lachsgängige Fischpässe; Dotierpumpe für Gwild-Fläche; div. Massnahmen im Stauraum*





Literatur

[1] Neubau Wasserkraftwerk Rheinfelden, Halbzeitbericht Baustelle 2002–2008 und Vorgeschichte erschienen in WEL 2008, Heft 3 (Auch als Sonderdruck erschienen).

[2] Neubau Wasserkraftwerk Rheinfelden, Projektbericht (114 Seiten A4), Mai 2012 Erschienen bei Energiedienst Holding AG, CH-5080 Laufenburg.

Der Bericht kann dort, solange vorrätig, angefordert werden.

Anschrift der Verfasser
Energiedienst Holding AG, Basler Strasse 44, CH-5080 Laufenburg
Dr. *Armin Fust*, Projektverantwortlicher
Helmut Reif, Projektleiter
Wolfgang Biesgen, Leiter Kraftwerke
Alick Schwyzer, Bauleiter und stv. Projektleiter
Frank Pelzer, Fachprojektleiter Peripherie
Beat Karrer, Fachprojektleiter Turbinen, Stahlwasserbau und HKL
Stefan Ficht, Fachprojektleiter E- und Leittechnik, Inbetriebsetzungsleiter
Jochen Ulrich, Fachprojektleiter Ökologie
Gerhard Blessing, Fachprojektleiter Rückbau Altanlagen
Weitere Informationen:
nicole.haller@energiedienst.de