

Linachtalsperre und Kraftwerk – von der Tradition zur Moderne

von Harry Kunte und Christa Knöpfle

Vor 10 Jahren hat es noch kaum jemand für möglich gehalten: Vom kontrollierten Zerfall zur Reaktivierung nach der DIN 19700. Nach erfolglosen Anläufen in der Vergangenheit verfolgt die Stadt Vöhrenbach das Sanierungsprojekt Linachtalsperre seit 1998 mit Nachdruck, so dass diese in 2006/2007 realisiert werden konnte. Die Vision des Zusammenwirkens von Denkmalschutz, Erzeugung regenerativer Energie, Klimaschutz (CO₂-Vermeidung), Naherholung, Ökologie und sanftem Tourismus wurde und wird unter Einsatz von großem bürgerschaftlichem Engagement, hohem technischem und wissenschaftlichem Know-how und entsprechendem bürokratischen und finanziellem Aufwand, Finanzmitteln von Bund, Land, Stiftungen, Sponsoren und nicht zuletzt der kleinen Schwarzwaldstadt Vöhrenbach Wirklichkeit.

Die Linachtalsperre – ein einmaliges Bauwerk

Die gegen Ende des 19. Jahrhunderts einsetzende Industrialisierung, der zunehmende Einsatz von Maschinen in Handwerksbetrieben und der Einzug von Beleuchtung und Haushaltsgeräten in Privathaushalten bewirkten einen ständig steigenden Strombedarf, mit dem die Erzeugung bald nicht mehr Schritt halten konnte. Der durch Reparationsleistungen – als Folge des 1. Weltkrieges – mitverursachte Kohlenmangel beeinträchtigte die Stromversorgung und verteuerte diese um ein Vielfaches, weshalb große Anstrengungen zur Erschließung der auch als „weiße Kohle“ bezeichneten Wasserkraft unternommen wurden.

Die in der Folge verordnete Rationierung von Stromlieferungen und sich häufende Totalausfälle des Stromnetzes hatten schwerwiegende Konsequenzen für die Existenz der örtlichen Wirtschaft, weshalb der Ruf nach einer geregelten und sicheren Stromversorgung durch ein Kraftwerk vor Ort immer lauter wurde.

Zum Wohle seiner Bürger, das heißt zum sicheren Broterwerb der meisten Vöhrenbacher, schlug der junge, dynamische Bürgermeister Karl Kraut (mit 29 Jahren jüngster Bürgermeister Deutschlands) den Bau eines Speicherkraftwerkes vor. Mit einer beeindruckenden Rede bei der Bürgerversammlung am 6. November 1921 überzeugte er die Bevölkerung:

„Andauernde Kohlennot und die fast unerschwinglichen Preise für die Brennstoffe einerseits, das Bestreben, unser Wirtschaftsleben wieder in Gang und unsere Industrie wieder hoch zu bringen andererseits, brachten es mit sich, dass in den letzten Wochen und Monaten überall im deutschen Vaterlande die Möglichkeit des Ausbaus der Wasserkräfte eifrig besprochen wurde und dieser Gedanke bereits zum Allgemeingut geworden ist. Bei uns kommen als weitere Momente hinzu, dass das

Linachtalsperre und Kraftwerk

Kraftwerk Laufenburg gleichzeitig mit einer bedeutenden Erhöhung der Strompreise sogenannte Sperrtage eingeführt und zum Ausdruck gebracht hat, dass es außerstande ist, uns im Bedarfsfalle auch nur die geringste Menge elektrischer Energie mehr als bisher zu liefern, wenigstens nicht zu normalen Preisen.“

Die Größe der Staumauer lässt sich heute, aufgrund des relativ kleinen Einzugsgebietes von knapp 10 km², aus wasser- und energiewirtschaftlicher Sicht nicht mehr nachvollziehen und zeugt von einem ungeheuren Willen, dem Mangel an ausreichender Stromversorgung für eine aufstrebende lokale Wirtschaft mit Mut und Entscheidungskraft entgegenzutreten.

Die Linachtalsperre des Wasserkraftwerkes Vöhrenbach im Schwarzwald wurde in den Jahren 1922 bis 1926 als erste Eisenbetonkonstruktion Deutschlands in so genannter „aufgelöster Bauweise“ erstellt. Aufgelöst wurde mit diesem Konstruktionsprinzip der im Schnitt trapezförmige Block einer massiven, völlig aus Beton bestehenden Gewichtsmauer in die Einzelbauteile Gewölbe, Wandscheiben und Riegel.

Damit wird eine deutliche Verringerung der erforderlichen Massen erzielt, die hier für eine vergleichbare Gewichtsmauer etwa fünfmal so groß gewesen wären. Die geringeren Massen lassen auch eine kürzere Ausführungszeit zu, insbesondere wenn sich wie in unserem Fall die Anlieferung wegen der örtlichen Verhältnisse als schwierig und kostspielig erwies.

Die aufgelöste Bauweise in bewehrtem Beton erlaubte auch, das Bauwerk so zu bemessen, dass die Festigkeit der Baustoffe, im Gegensatz zu den bislang üblichen Gewichtsmauern, möglichst gut ausgenützt werden kann. Als weiterer technischer Vorteil dieser Bauart fällt die Problematik der Sohlwasserdrücke weg, die bei Gewichtsmauern bedeutenden Einfluss auf die erforderlichen Massen hat.



Kirchberg S. w. b. N., Fürtwangen

Notgeldschein der Stadt Vöhrenbach (Stadtarchiv Vöhrenbach).

Den Einsparungen bei Mauervolumen und Bauzeit stehen der Aufwand für Bewehrung und Schalung sowie die hohen Qualitätsanforderungen der mit großer Sorgfalt vorzunehmenden Bauausführung gegenüber. Die angestellten Berechnungen ließen jedoch eine sichere wirtschaftliche Überlegenheit dieser Bauart gegenüber der Massivbauweise erwarten, weshalb letztlich die Entscheidung für dieses damals wahrhaft innovative Projekt positiv ausfiel.

Mit dem Bau der Linachtalsperre entstand ein gegliedertes Bauwerk, das den Wasserdruck über schräg liegende Gewölbe auf Pfeilerscheiben überträgt, welche ihrerseits die Lasten in den Felsuntergrund weiterleiten. Die Pfeilerscheiben sind durch ein System von Querriegeln horizontal untereinander versteift. Um den Zutritt von Wasser zu den Tonnengewölben zu verhindern, wurde eine drahtbewehrte Torkreischicht mit Inertolüberzug aufgebracht.

Die Sperre hat eine Kronenlänge von 143 m und eine Höhe über Talsohle von 25 m. Die insgesamt 13 Gewölbe mit einer Neigung von 50° gegen die Horizontale haben Dicken von 40 bis 60 cm und liegen auf 120 cm starken Pfeilern im Abstand von 10,40 m auf.

Die Errichtung der Wasserkraftanlage begann im Januar 1922 und war trotz widriger Witterungsverhältnisse bis Ende 1923 bereits so weit fortgeschritten, dass Strom für Vöhrenbach und die Baustelle produziert werden konnte. Die im Jahr 1923 herrschende Inflation erschwerte die Finanzierung immer mehr, so dass letzt-



Betonsanierung der Luftseite (Stadtarchiv Vöhrenbach).

lich Notgeld mit Genehmigung des Innenministeriums gedruckt werden musste, welches als Motiv die Ansicht der Staumauer aufwies. Die Schuldenlast konnte nur durch Sonderholzholze im Stadtwald getilgt werden.

Am 7. November 1925 wurde die Staumauer vollendet und am 31. Mai 1926 war der Vollstau erreicht. Das Werk konnte im ersten Jahr nach der vollen Inbetriebnahme 72% des Stromverbrauchs der Stadt Vöhrenbach abdecken. In den Jahren 1937/38 fanden erste Reparaturarbeiten statt, 1951 wurde die Dichtungsschicht der Gewölbe erneuert, 1966 im unteren Drittel eine zusätzliche Dichtungsschicht aus Spritzbeton aufgebracht. Bis Ende der 60er Jahre versah das Kraftwerk seinen Dienst, bis es aus Gründen der Unwirtschaftlichkeit (allgemeine Umorientierung in der Energiegewinnung, unüberschbare Sanierungskosten) stillgelegt wurde. Der Stausee wurde 1988 abgelassen. Behördliche Zweifel an der Standsicherheit mündeten 1994 in der Schließung der Mauerbrüstung. Der „kontrollierte Zerfall“ wurde angeordnet. Sanierungsbestrebungen scheiterten an der Kostenfrage. 1996 gelang die Verpachtung des stillgelegten Kraftwerks, 1997/98 erfolgte die Sanierung des Maschinenhauses und die Inbetriebnahme eines Laufwasserkraftwerkes. Im Jahr 1997 wurde die Gründung des Fördervereins „Rettet die Linachtalsperre e.V.“ realisiert. Die Vision der Erhaltung des Baukulturdenkmals und schrittweisen Reaktivierung des Kraftwerks nahm Gestalt an. Bereits im Oktober 2001 konnte zumindest die provisorische Begehbarkeit der Mauerbrüstung umgesetzt werden. Aufgrund seiner herausragenden Bedeutung, die das Bauwerk als Konstruktion und Zeugnis für die Anfänge des Eisenbetonbaus hat, wurde es in die Liste der Denkmale von nationaler Bedeutung aufgenommen. Der Eintrag in das Denkmaltbuch Baden-Württemberg erfolgte im Frühjahr 2002.

Die Reaktivierung

Nach über 5 Jahren intensivsten Einsatzes aller Beteiligten mit dem Erfolg, dass die Finanzierung zu rund 90% als gesichert betrachtet werden konnte, ging die Stadt Vöhrenbach im April 2003 in die sehr umfangreiche Genehmigungsplanung. Hier wurde der Stadt als Bauherrin immer wieder von neuem die später auch vom Regierungspräsidium Freiburg betonte Komplexität der geplanten Staumauer-sanierung bewusst. Folgende Fachgebiete waren durch Fachplanungen und Gutachten abzudecken:

- Hydrologie
- Limnologie
- Betontechnologie, Instandsetzungskonzept
- Konzept wasserseitige Abdichtung
- statische Beanspruchung der Hangrohrleitung
- Berechnungsgrundlagen der Freibordbemessung
- Standsicherheitsberechnung, Prüfberichte
- geotechnisches Gutachten
- Landschaftsbegleitplanung
- Nachweis 2.500-jährliche Erdbbensicherheit
- Georadaruntersuchung

- Energiewirtschaft
- hydraulische Berechnung zu den Betriebseinrichtungen
- Speicherinhalt, Speicherfläche
- Zusammenstellung Feinvermessung seit 1925.

Des Weiteren wurde zum Sanierungskonzept ein Fachgutachten der TU Graz erstellt. Ein behördlicherseits gefordertes weiteres staatliches Gutachten brachte dennoch erhebliche Umplanungen, insbesondere im Bereich der Hochwasserentlastung, mit sich.

Aufgrund dieser und weiterer unvorhersehbarer hoher Anforderungen der Genehmigungsplanung (erstmalige Anwendung der neuen, erst im Entwurf vorliegenden DIN 19.700, Alter der Anlage, hohe Sicherheitsanforderungen an Betonqualität, Gründungssicherheit, Nachweis 2.500-jährliche Erdbebensicherheit, ökologische Begleit- und Ausgleichsmaßnahmen) schloss die Vergabe der Bauarbeiten mit rd. 4,44 Mio. Euro ab.

Fördermittel konnten in mühsamen Verhandlungen und Antragsverfahren bei den beteiligten Geldgebern (Landesstiftung Baden-Württemberg, Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg, Denkmalförderung des Bundes, Tourismusförderung Baden-Württemberg, Deutsche Stiftung Denkmalschutz, Landkreis Schwarzwald-Baar, Badenova AG Freiburg und Förderverein „Rettet die Linachtalsperre e.V.“) bereit gestellt werden. Dennoch belief sich der städtische Eigenanteil zum Zeitpunkt des eigentlichen Baubeginns auf 731.000 Euro. Man darf sich somit den mutigen Schritt des Vöhrenbacher Gemeinderats bewusst machen, der in Anbetracht der ohnehin sehr kritischen Finanzlage der kleinen Stadt dem Sanierungs- und Finanzierungskonzept weiterhin vertraute und den Baubeschluss fasste. Man sah absolut realistisch die letzte, einmalige und historische Chance, das Baukulturdenkmal von nationaler Bedeutung seiner ursprünglichen Bestimmung zurückzuführen. Damit ergibt sich die Möglichkeit der Gewinnung erneuerbarer Energie sowie der Nutzung der Anlage für kulturelle, touristische und damit auch wirtschaftliche Zwecke der Stadt und der Region.

Nach achtjähriger enormer Anstrengung und breitem bürgerschaftlichen Engagement konnte die Umsetzung des Sanierungsprojektes in 2006 tatsächlich angegangen werden.

Von einem „Zurücklehnen“ des Bauherrn konnte jedoch keine Rede sein! Während der intensiven Bauphase in 2006 ergab sich eine erhebliche Kostensteigerung insbesondere im Gewerk der dem Denkmal sowie den hohen Anforderungen der Betontechnologie gerechten Betonsanierung der luftseitigen Mauergewölbe. Eine weitere Finanzierungslücke von 1,95 Mio. Euro tat sich auf. Glücklicherweise konnten die wasserseitige Abdichtung mittels Geomembran sowie die Anpassungsmaßnahmen im Bereich Stahlwasserbau im vorgegebenen Kostenrahmen abgewickelt werden.

Deshalb konnten auch das überaus aufwändige Genehmigungsverfahren, die Beachtung aller üblicherweise zu treffenden Vorkehrungen, fachlich schlüssige Vorausberechnungen und die Erkenntnisse der anerkanntesten Fachleute den Bauherrn nicht vor einer Kostensteigerung in der Größenordnung von über 30% bewahren.

Linachtalsperre und Kraftwerk

Die Schädigungen des Betons der Talsperre gehen teils auf Witterungseinflüsse, im Bereich der wasserberührten Gewölbe hauptsächlich auf die nicht vollständige Verhinderung des Zutritts von Wasser zurück. Die zum Zeitpunkt der Herstellung und der Sanierungsversuche verfügbaren Abdichtungsmethoden waren in ihrer Fähigkeit, Verformungen zu überbrücken, begrenzt.

Dementsprechend kommt der wasserseitigen Abdichtung der Talsperre eine zentrale Funktion und eine wesentliche Bedeutung zu. Sie erfolgt mit einem bei vergleichbaren Maßnahmen bewährten, drainierten Geomembranabdichtungssystem. Dadurch werden die Durchfeuchtung der Talsperre und die damit einhergehenden Frostschäden nachhaltig verhindert. Das Verfahren gewährleistet die problemlose Überbrückung der zum Teil statisch bedingten Risse und erlaubt eine verlässliche Kontrolle der Funktionalität.

Das System an der Wasserseite der Talsperre umfasst alle 13 Gewölbe und erstreckt sich von der Krone bis in frostfreie Tiefe, um die auf Durchfeuchtung empfindlichen Bereiche dauerhaft von Wasser freizuhalten. Die Abdichtung besteht aus einem PVC-Geokomposit Sibelon CNT 3750 welches auf einem Drainage-Geogitter Tenax CE 750 aus HDPE vollflächig verlegt, untereinander lückenlos verschweißt und mittels rostfreier Profile und Anker mechanisch linienförmig am Untergrund befestigt wird. An den überfluteten Rändern erfolgt ein dichter Anschluss



Linachtalsperre Luftseite – Sommer 2007 (Stadtarchiv Vöhrenbach).

mit einer Klemmverbindung als Pressdichtung, am oberen Rand entlang der Krone wird ein niederschlagsdichter Abschluss mit rostfreien Flachstahlprofilen und elastischer Zwischenlage ausgeführt. Das Drainagesystem setzt sich aus 5 voneinander getrennten Abschnitten zusammen, die in ihrem Tiefpunkt jeweils in einen luftseitigen Ausleitungsschacht münden und eventuell eintretendes Wasser, welches im Geogitter abfließt, dorthin ableiten.

Das Drainagesystem dient der Kontrollierbarkeit der Abdichtung, begünstigt in Verbindung mit den Lüftungsöffnungen oberhalb des Stauziels die Austrocknung des Sperrenkörpers und verhindert im Schadensfall den Aufbau von Wasserdruck zwischen Membran und Sperrenbauwerk.

Dieses System erlaubt die Lokalisierung von Leckagen und deren rasche Behebung. Die Standsicherheit ist in solch einem Fall nicht gefährdet.

Das verwendete PVC-Geocomposit besteht aus einer 2,5 mm dicken PVC-Geomembran und einem thermisch aufkaschierten Geotextil mit einem Flächengewicht von 500 g/qm. Die Aufgabe der Geomembran ist Wasserdichtheit zu gewährleisten, während das Geotextil die Geomembran vor Durchstoßen schützt, ihr entsprechende Formstabilität gibt, Durchlässigkeit für Drainagezwecke besitzt und eine ausreichende Reibung zwischen dem Geocomposit und seiner Unterlage gewährleistet. Die Fügung der Membran erfolgt durch Heißluftschweißung, bei



Linachtalsperre Wasserseite – Probestau Sommer 2007 (Stadtarchiv Vöhrenbach).

welcher die Plastifizierung des Thermoplasts PVC im Nahtbereich eine vollständige Verbindung der Bahnen schafft. Die lückenlose Prüfung der Nähte gewährleistet die erforderliche Zuverlässigkeit der Verbindungen.

Der Anschluss der Membran an das Bauwerk erfolgt in Form einer Pressdichtung, die sich seit über 25 Jahren in einer Vielzahl von Projekten hervorragend bewährt hat, bislang bei Wasserdrücken bis zu 174 m Wassersäule. Die Überprüfung im Labor von ISMES/Bergamo bestätigte die Dichtheit bis 25 bar.

Die Membran ist UV-beständig, resistent gegenüber Abbau durch organische oder bakterielle Wachstumsvorgänge und ausreichend widerstandsfähig im alkalischen Milieu von feuchtem Beton. Die Membranauskleidung besitzt genügend Widerstand gegenüber Durchstoßen und Reißen während Manipulation, Einbau und Betrieb und hat sich auch bei Frost-Tau-Wechseln und Eis bewährt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Dauerhaftigkeit und Haltbarkeit der verwendeten Membranmaterialien nachweislich bei über 30 Jahren liegt. Eine Extrapolation von Laboregebnissen würde eine Lebensdauer von mehr als 100 Jahren ergeben.

Vor dem Einbau der Abdichtung wurde die Wasserseite mit moderatem Hochdruckwasserstrahl gereinigt um lose Teile und Schmutz zu entfernen. Bereiche mit ausgeprägten Unebenheiten wurden mit Reparaturmörtel aufgefüllt, und übermäßig hervorstehende scharfe Stellen wurden entfernt. Um das Geokomposit in seiner Lage zu halten und Windsogkräfte sicher abzuleiten, wurde es zwischen benachbarten Gewölben in der Falllinie fixiert.

Die vom Befestigungs- und Verankerungssystem zu übernehmenden Kräfte sind relativ klein, zumal die Wasserseite der Sperre geneigt ist und das sehr geringe Eigengewicht schon über die Reibung auf den Untergrund übertragen wird. Im Falle der vorgesehenen Stauhaltung treten – ausgenommen der Bereich über Stauziel – daher nur im Montagezustand und im Falle der Entleerung Windkräfte auf, die eine Zugbeanspruchung auslösen.

Für die luftseitige Sanierung der Talsperre wurde ein Sanierungskonzept erarbeitet, das sich am Bestand orientiert. Dabei wurden in einer umfangreichen Analyse des Bauwerkes unterschiedliche Schadensbilder festgehalten:

- Ausblühungen und Sinterungen
- Witterungsschäden
- Hohlliegende Betonrandzonen
- Fugen und Risse
- Abplatzungen
- Freiliegende Bewehrung,

Dem Sanierungsziel „Vermeidung der Durchfeuchtung und weiterer frostbedingter Schäden“ wurde hier zusätzlich durch Austausch von Beton mit zu geringer Festigkeit und zu hohem Schädigungsgrad entsprochen.

Mit dem Konzept der „denkmalgerechten“ örtlichen Betonsanierung wurden alle Schwachstellen der Konstruktion beseitigt. Damit werden die bereichsweise abgestuften Anforderungen an das Verformungsverhalten des Betons und an die

Dauerhaftigkeit der Oberflächen sichergestellt. Durch speziell abgestimmte Rezepturen wurden Farbe, Eigenschaften und Struktur der Reparaturmörtel dem Bestand angepasst. Darüber hinaus wurden mit Hilfe des Georadarverfahrens die Pfeiler in ausgewählten Bereichen auf herstellungsbedingte Schwachstellen im Innern untersucht.

Bei großen Schäden erfolgte eine Erneuerung der Bauteile. So wurde der Fußgängersteg gänzlich abgetragen und neu errichtet. Bauteile der Entlastungsanlagen wurden ergänzt.

Auslaufbauwerke des Grundablasses und Zwischenauslasses sowie die zugehörige Tosbeckenendschwelle wurden erneuert und den hydraulischen Anforderungen angepasst.

Die Hochwasserentlastung erfolgt über den bestehenden Grundablass und den pilzförmigen Entlastungsturm. Diese erhielten als Verschlüsse zeitgemäße, verlässliche Flachschieber, um eine sichere Betriebsführung unter klaren hydraulischen Bedingungen zu gewährleisten.

Grundablass und Zwischenauslass erhielten Grobrechen und der Einlauf des Grundablasses wurde als Trichter ausgeformt. Zur Ermittlung der Wellenauflaufhöhe auf dem vielfach gewölbten Rücken der Staumauer waren Modellversuche erforderlich. Auf Grund der Versuchsergebnisse wird der Stauspiegel künftig etwas niedriger liegen als ursprünglich. Zur Abgabe der Pflichtwassermenge dient eine Regeleinrichtung, über die eine gezielte Entnahme möglich ist. Sie wird auch zur Feinregulierung des Überwassers herangezogen.

Der Stau wird künftig im Toleranzbereich von 10 cm konstant gehalten. Eine neue Regelungs-, Steuer- und Überwachungseinrichtung unterstützt einen sicheren und rationellen Betrieb. Die Beobachtungseinrichtungen konzentrieren sich auf Feinvermessung und Sickerwassererfassung im Zusammenhang mit Temperatur- und Niederschlagswerten.

Zusammenfassung

Denkmalgerechte Betoninstandsetzung, angemessene Modernisierung der wasserbaulichen Anlagenteile und ein zeitgemäßes und verlässliches Abdichtungssystem im Zusammenspiel mit einem adäquaten Betriebs- und Überwachungskonzept werden Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Gesamtanlage gewährleisten.

Dem gesetzten Ziel der Erhaltung und Revitalisierung dieses einmaligen Kulturdenkmales, eines bedeutenden Zeugnisses besonderer Ingenieurbaukunst aus den Anfängen des deutschen Eisenbetonbaues, wurde unter Einsatz neuzeitlicher Methoden und Erkenntnisse entsprochen.

Es stellt sich dem Bauherren nach diesem jahrelangen Marathonlauf von Behörde zu Behörde, unzähligen Fachgesprächen, Projekt- und Finanzierungsrunden die Frage, ob der Aufwand, der sich aus einem überaus hohen Sicherheitsdenken auf allen denkbar betroffenen Ebenen entwickelte, noch mit den tatsächlichen Gegebenheiten korrespondiert und sich nach den Regeln des gesunden Menschenverstandes, der sich durchaus auch am technischen Wissen und Verständnis orientieren möge, noch am Ergebnis bzw. am erklärten Ziel orientiert.

Anschriften der Verfasser:

Harry Kunte
Hagenreutestraße 57
78147 Vöhrenbach

Christa Knöpfe
Friedrichstraße 1
78147 Vöhrenbach

Es soll nicht versäumt werden, allen, die das Sanierungsprojekt Linachtalsperre mit großem Enthusiasmus jahrelang tatkräftig begleitet, vorangetrieben und unterstützt haben, besonders herzlich zu danken.

Literatur und Anmerkungen

- BRUNOLD, H., Wasserbausymposium, Graz, September 2006. – In: Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz.
- STRUMBERGER, R., Bürgermeister der Stadt Vöhrenbach, und SAIER-GRIESHABER, R. In: Schriftenreihe Wasserwirtschaft, Heft 10/2007, Organ der deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; 14. Deutsches Talsperrens Symposium, Freising, 2007