



Rohrturbinen an der Saale

1. Der Fluß

Die Saale ist nach der Moldau der nach Wasserführung und Länge zweitgrößte Nebenfluß der Elbe. Die Saalequelle im Fichtelgebirge liegt 678 m höher als die Mündung in die Elbe bei Barby. Die Gesamtlänge wurde durch Begradigungen im Rahmen des Wasserstraßenausbaues Elbe/Saale in den Jahren 1933 bis 1942 von 427 km auf rund 413 km verkürzt⁴⁾. Im Zusammenhang damit sowie zum Hochwasserschutz wurden 1926 bis 1945 im Oberlauf der Saale mehrere Talsperren errichtet, deren nutzbares Rückhaltevolumen von insgesamt rund 350 Mio. m³ eine wesentliche Vergleichsmäßigung des Abflusses und Minderung der Hochwasserspitzen erbrachte.

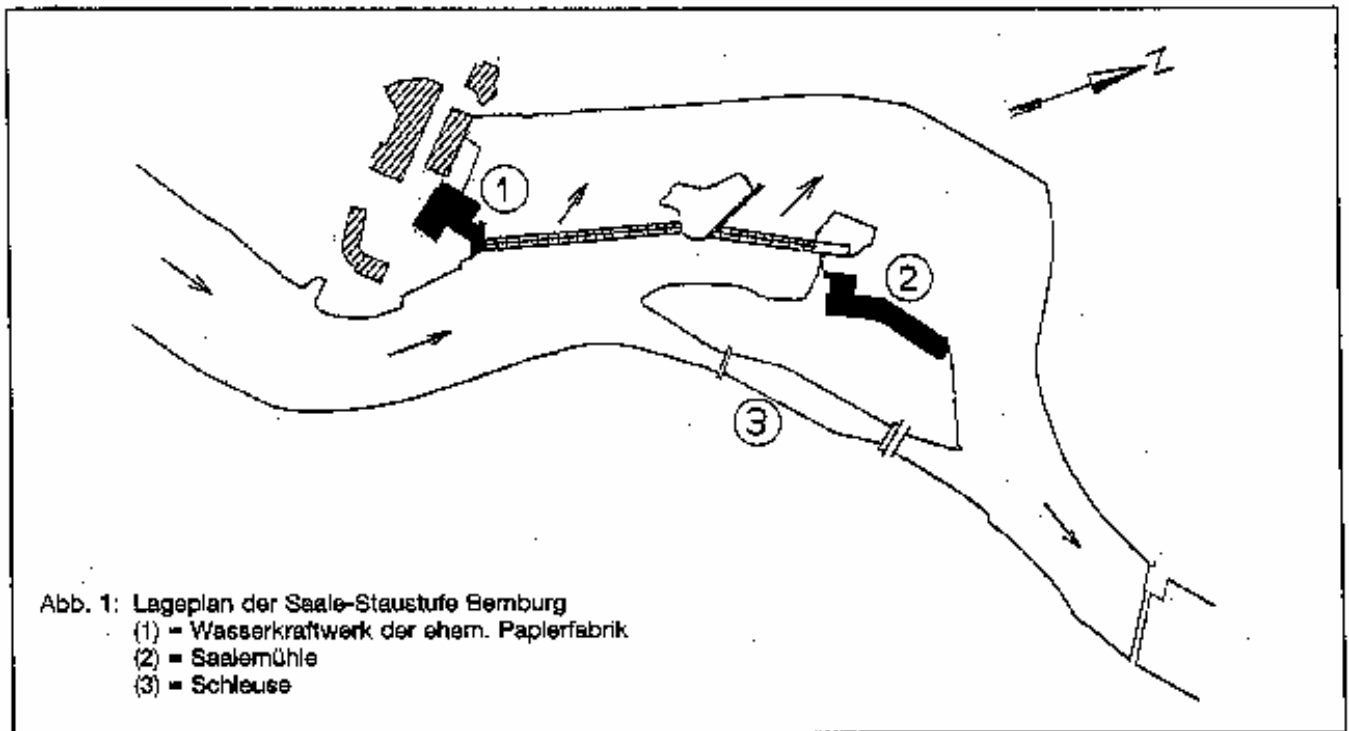
Abb. 2 zeigt die durchschnittlichen Abflußdauerlinien in Bernburg für die Jahresreihen 1921 1936 vor und 1943 1962 nach dem Bau der Talsperren²⁾. Es ist hieraus ersichtlich, daß nach letzterer Jahresreihe durchschnittlich an 90 Tagen etwa 115 m³/s, an 180 Tagen rd. 80 m³/s und an 350 Tagen noch 40 m³/s überschritten werden. Dieser Wert wird seither infolge des Ausgleichs durch die Talsperren auch in Trockenjahren nur noch selten unterschritten.

2. Wasserkraftnutzung an der Saale

Auf den letzten 185 km Flußlänge an der unteren Saale von Bad Kösen bis zur Mündung waren nach einer Bestandsaufnahme im Jahre 1946¹⁾ folgende Wasserkraftanlagen mit Leistungen, über 100 kW vorhanden, wenn auch teilweise wegen Kriegsbeschädigung außer Betrieb:

- Bad Kösen, Mühle Roßner 103 Kw
- Weißenfels, Marienmühle 118 Kw
- Weißenfels, Herrenmühle 279 Kw
- Bad Dürrenberg, Salinenkraftwerk 257 Kw
- Merseburg, Rischmühle 231 Kw
- Merseburg, Meuschauer 184 Kw
- Merseburg, Königsmühle 110 Kw
- Holleben, Mühle Gebr. Zimmermann 147 Kw
- Böllberg, Mühle Hildebrandt 405 Kw
- Halle, Mühle Trotha 132 Kw
- Wettin, Kraftwerk Wintershall 838 Kw
- Wettin, Pögritzmühle 132 Kw
- Rothenburg, Kupferhammer 310 Kw
- Alsleben, Stadtmühle 331 Kw
- Bernburg, Papierfabrik 1030 Kw
- Bernburg, Saalemühle 441 Kw
- Calbe, Mühle Brückner 294 Kw

Verschiedene dieser Anlagen wurden während der DDR Zeit stillgelegt und sind derzeit noch nicht wieder reaktiviert. Es bestanden bzw. bestehen in diesem Flussabschnitt ab der Landesgrenze Sachsen- Anhalt/Thüringen außer den genannten noch etwa zehn kleinere Wasserkraftanlagen mit insgesamt rd. 0,5 MW. Die Gesamtleistung dieser größeren und kleineren Wasserkräfte an der Saale betrug nach Kriegsende mit rd. 5,8 MW etwa 43% der gesamten Wasserkraftleistung in Sachsen Anhalt).



3. Die Staustufe Bernburg

Für die rund 36 km vor der Mündung liegende Staustufe Bernburg mit einem Einzugsgebiet von etwa 19000 km² liegen Pegelbeobachtungen seit 1896 vor. Der mittlere Abfluß MQ beträgt 85 M³/S, das höchste bisher aufgetretene Hochwasser (1947) 1100 m³/s, wovon jedoch ein Teil am Wehr vorbei durch eine Flutmulde geflossen ist. An der Staustufe befinden sich zwei Wasserkraftanlagen und eine Schiffsschleuse von 105 m Länge.

Das Wehr wurde im Laufe der Jahrhunderte immer wieder verändert und erhöht. Dadurch sowie durch Eintiefung des Unterwassers im Interesse der Schifffahrt wurde die Fallhöhe bis zum Jahr 1938 (Umbau der Schleuse) auf maximal rd. 4 m bei Niedrigwasser gebracht.

In seiner heutigen Form und Lage besteht das Wehr seit etwa 1880. Es hat eine Gesamtlänge von rd. 220 m, die durch eine Felsinsel (s. Abb. 1) unterbrochen ist. Diese wird bei größerem Hochwasser mit überflutet. Das eigentliche Wehr besteht aus zwei Teilstücken von 136 und 60 m. Der Wehrkörper hat eine Pfahlgründung mit ober und unterhalb gerammten Holzspundwänden. Der dachförmige Wehrrücken von etwa 11 m Breite besteht hauptsächlich aus größeren Steinquadern mit einer UW seitigen Stützmauer und Sturzbett aus Beton.

Früher war ein Wehraufsatz von 30 cm Höhe vorhanden, bestehend aus Bretterbohlen, deren Setzen und Abnehmen unter Strömung ein

schwieriges und gefährliches Manöver war und wegen der Unfallgefahr heutzutage nicht mehr zulässig ist. Deshalb soll das Wehr in naher Zukunft mit einem automatisch wirkenden Wehraufsatz (Klappen oder Schlauchwehr) von 50 cm Höhe, entsprechend der wasserrechtlichen Genehmigung und den Erfordernissen der Schifffahrt, versehen werden.

4. Wasserkraftnutzung in Bernburg

Anschrift:
HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
Hauptstrasse 48
54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
Fax: +49 (0) 6533-95818-10
E-Mail: info@hsihydro.de
Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
Peter Marx
Handelsregister:
Amtsgericht Wittlich HRB 40467
Ust - IdNr.: DE 113 558 318
Steuernummer: 43/678/0023/4

Bankverbindung:
Raiffeisenbank Rodenbach
BLZ: 506 636 99
Kto. - Nr.: 63193
IBAN: DE 68 5066 3699
BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB

Die Wasserkraftnutzung in Bernburg für die Mühle der anhaltischen Fürsten wird im Jahre 1219 erstmals urkundlich erwähnt³⁾. Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten und der damals vorhandenen technischen Möglichkeiten (niedriges Streichwehr großer Länge) war die Lage der Mühle am Ende des Wehrs vorgegeben und wurde auch bei späteren Umbauten beibehalten.

Wegen des reichlichen Wasserdargebotes wurde schon frühzeitig auch am linken Saaleufer die Wasserkraft genutzt. Dort wurde im Jahre 1805 eine Papierfabrik errichtet, deren 1907 umgebaute Wasserkraftanlage nach einer 1945/46 durchgeführten Erhebung⁴⁾ mit 1030 kW die größte Leistung aller Kraftwerke an der Saale aufwies, ausgenommen die Talsperren Kraftwerke im Oberlauf.

Entsprechend dem technischen Entwicklungsstand wurden in beiden Anlagen ursprünglich Wasserräder und seit Mitte des 19. Jahrhunderts Turbinen eingesetzt.

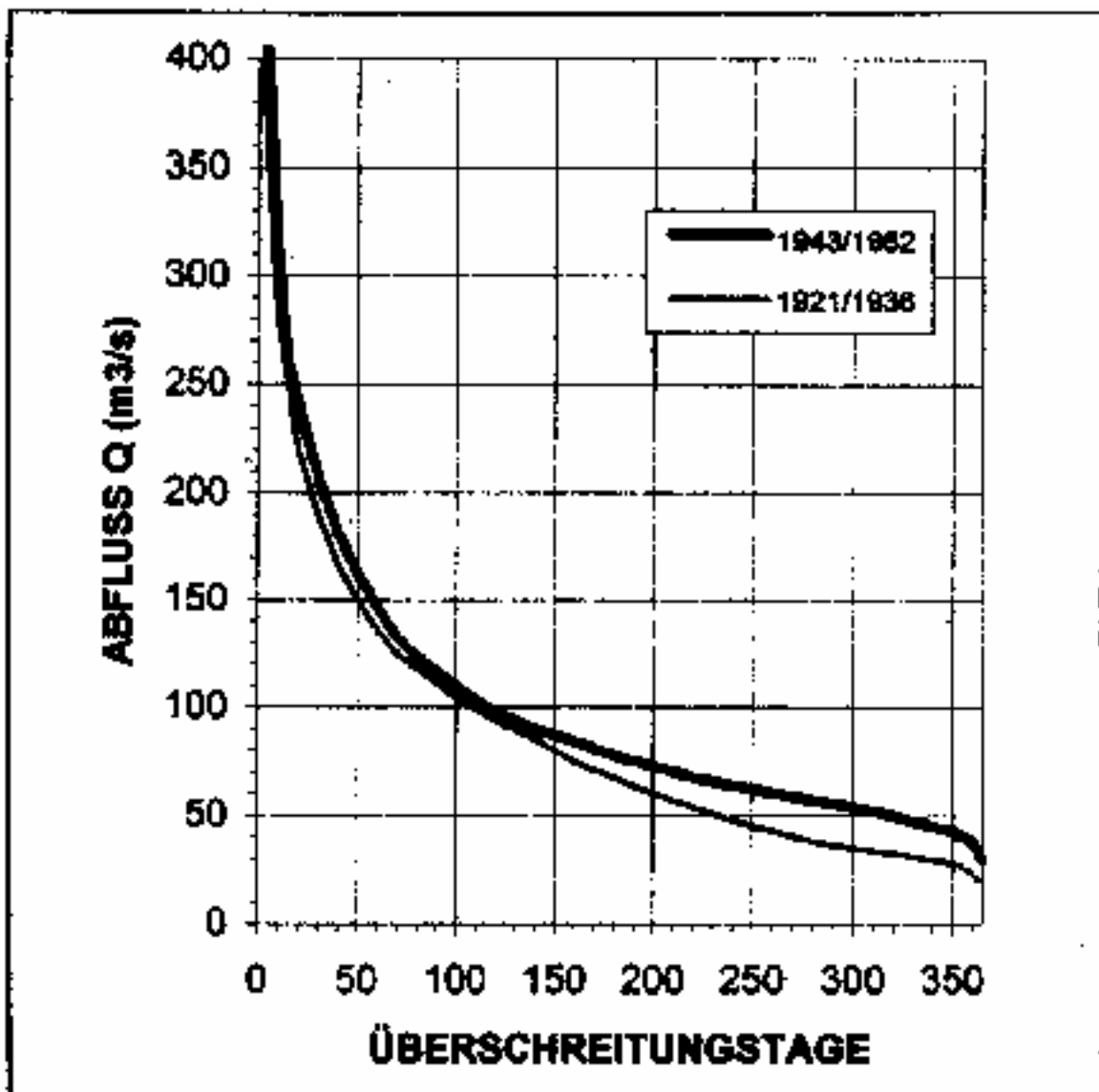


Abb. 2: Abflußdauerlinien an der Staustufe Bernburg



5. Das Wasserkraftwerk der Papierfabrik

In Abb. 3 ist der frühere Ausbauzustand der Wasser- kraftanlage der Papierfabrik (Stand 1909) nach Unterlagen der Lieferfirma Amme, Giesecke & Konegen, Braunschweig, dargestellt. Diese heute nicht mehr bestehende Firma gehörte seinerzeit zu den bedeutendsten deutschen Turbinenherstellern und trat vielfach als Generalunternehmer für den Bau und die maschinelle Gesamtausrüstung ganzer Mühlen- betriebe und Elektrizitätswerke auf. Auch die Getreidemühle Bernburg wurde nach der totalen Zerstörung durch einen Großbrand im Jahre 1911 durch die gleiche Firma neu erbaut und ausgerüstet.

Die Nenndaten der in der Papierfabrik eingebauten Francisturbinen waren nach den Herstellerunterlagen:

- Turbinen 1 und 2 Turbine 3
- Fallhöhe 2,5 m 2,5 m
- Durchfluß 16,85 m³/s 10 m³/s
- Drehzahl 38 U/min 50 U/min

Bei diesen Daten muß berücksichtigt werden, daß seinerzeit beim Bau bzw. Umbau der Turbinenanlage im Jahr 1909 die vorhandene Fallhöhe geringer war und sich später durch den Umbau der Schleuse Bernburg (1938) bei gleichzeitiger Sohlvertiefung des Unterlaufes um rd. 60 cm erhöht hat.

5.1 Reaktivierungskonzept

Über Begleitumstände und Hintergründe der Reaktivierung der Wasserkraftanlage in der 1990 stillgelegten Papierfabrik wurde an dieser Stelle bereits berichtet) . Ergänzend dazu sollen im folgenden technische Einzelheiten und Besonderheiten der neuen Maschinensätze beschrieben werden, die unseres Wissens hier in dieser Bauweise und in dieser Größenordnung erstmals realisiert wurden.

Der in Abb. 3 dargestellte Zustand der Anlage aus dem Jahre 1909 mit Abtrieb aller drei Maschinensätze über Glockenradgetriebe und Transmissionswellen war im wesentlichen auch beim Beginn der Reaktivierung 1992 noch vorhanden. Turbine 1 war 1932 durch eine von gleicher Größe und ähnlicher Bauform, gefertigt und geliefert durch die Firma B. Maier KG, Brackwede, ersetzt worden.

Alle drei Maschinensätze waren im jahrzehntelangen harten Dauerbetrieb der Papierfabrik außerordentlich stark beansprucht worden, einmal durch die stoßartige Belastung der von der Transmission angetriebenen Produktionsmaschinen (Holzschleifer usw.), zum anderen aber auch dadurch, daß die Fallhöhenvergrößerung seit 1938 eine Überlastung der Antriebsteile begünstigte. Die immer wieder auftretenden Ermüdungsbrüche und zunehmender Verschleiß führten im Laufe der letzten Jahrzehnte zu ständig höheren Reparaturkosten und Ausfallzeiten.

Deshalb waren schon zu DDR Zeiten ausführliche Studien über Reaktivierungs , Umbau und Neubaumöglichkeiten vom VEB Zentrales Projektierungsbüro für die Zellstoff und Papierindustrie der DDR, Heidenau i. Sachsen, durchgeführt, aber nicht in die Tat umgesetzt worden. Der Betrieb der Turbinen wurde schließlich 1972 eingestellt und später nur noch in seltenen Fällen bei

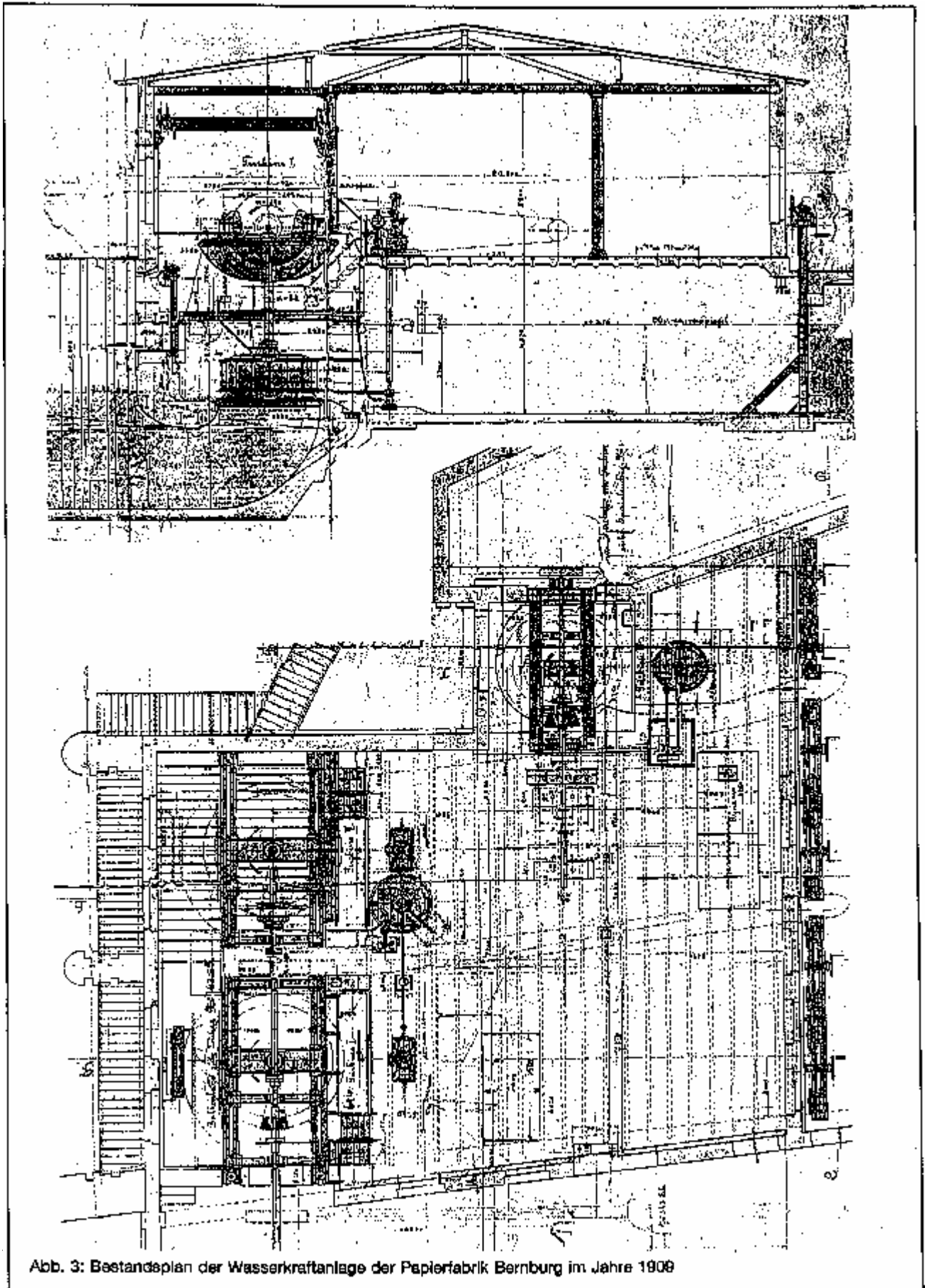


Abb. 3: Bestandsplan der Wasserkraftanlage der Papierfabrik Bernburg im Jahre 1909



Netzausfall die Turbine 3 kurzzeitig zur Eigen-stromversorgung in Betrieb genommen.

Nach der Privatisierung wurden 1991/92 für die Reaktivierung der Anlage verschiedene Konzepte untersucht, angefangen von einer Auswechslung der alten Francisturbinen gegen neue vertikalachsige Francis oder Kaplan turbinen unter Beibehaltung des Bauwerkes mit den alten Saugrohren oder mit neuem Tiefbau und optimal gestalteten Saugrohren. Parallel dazu wurde auch die Einsatzmöglichkeit von Rohrturbinen untersucht.

Von besonders gravierendem Einfluß auf die erreichbare Jahresenergie erwiesen sich hierbei die in Bernburg außerordentlich großen, nicht nur kurzzeitig auftretenden Schwankungen der Fallhöhe, die zwischen etwa 1 und 4 m variiert.

5.2 Variante Francisturbinen

Die Verwendung von Francisturbinen schied bereits nach den ersten Vergleichsrechnungen gegenüber Kaplan und Rohrturbinen aus folgenden Gründen aus:

- - Bei vorgegebenen Bauwerksabmessungen niedrigere Leistung wegen geringerer Schluckfähigkeit.
- - Bei abnehmender Fallhöhe stärkerer Leistungs-rückgang.
- - Geringere Flexibilität im Teillastbetrieb für die Wasserstandsregelung, die hier wegen des Schiffahrts und Schleusenbetriebes besondere Bedeutung hat.
- - Hoher Zeit und Kostenaufwand für die dazu noch mit hohem Risiko (Wehrnähe) behafteten, für moderne Francisturbinen erforderlichen Umbau- maßnahmen im Saugrohrbereich, wozu eine Abspundung und Trockenlegung des ganzen Krafthauses erforderlich geworden wäre.
- - Höhere Verluste und mehr konstruktiver sowie Wartungsaufwand bei der Drehzahl- übersetzung bzw. Kraftübertragung von der Turbine zum Generator. Die wesentlich geringere Drehzahl der Francisturbine erfordert entweder ein mehrstufiges, teureres Zahnradgetriebe mit höheren mechanischen Verlusten oder einen teureren, langsamläufigen Generator mit ebenfalls geringerem Wirkungsgrad.

Vergleichsweise sei zu letzterem Punkt noch erwähnt, daß eine zur vorhandenen Spiralkammer passende Francisturbine moderner Konstruktion und ent- sprechend umgebautem Saugrohr bei 3 m Fallhöhe rd. 16 m³/s bei einer Drehzahl von 60 U/min verarbeitet. Dagegen haben die verwendeten Rohrturbinen bei gleicher Fallhöhe einen um rd. 25% höheren Durchfluß und eine um das 2,5 fache höhere Drehzahl (150 U/min), wodurch eine einstufige Drehzahlübersetzung ermöglicht wird.

5.3 Variante Kaplan und Rohrturbinen

Entsprechend dem heutigen Stand der Technik erwies sich der Einsatz von doppeltgeregelten Axialturbinen unter den gegebenen örtlichen und baulichen Verhältnissen eindeutig als die technisch und wirtschaftlich vorteilhafteste Lösung.

Vom baulichen Bestand her lagen bei den beiden großen Turbinen 1 und 2 wegen der relativ langen und nur schwach gekrümmten Einlaufkammern günstige Voraussetzungen für den Einbau von Rohrturbinen vor. Bei der kleineren Turbine 3 sind diese Voraussetzungen nicht gegeben (s. Abb. 3 und 4).

Die Einlaufkammer bei Turbine 3 ist wesentlich kürzer und im Grundriß stark gekrümmt. Es kommt deshalb hier nur der Einsatz einer vertikalachsigen Kaplan turbine in Frage, die wegen der sehr starken Fallhöhen schwankungen und erforderlichen Flexibilität zur optimalen Energieausbeute und Wasserstandsregelung doppeltreguliert sein muß.



Eine doppeltregulierte vertikalachsige Kaplan turbine mit 625 kW Nennleistung wurde bereits 1939 für die 14 km oberhalb Bernburg liegende Mühle Alsleben geliefert und 1952 eingebaut³). Von allen Kraftwerken an der Saale ist jedoch das WKW Bernburg der ehemaligen Papierfabrik das erste, das mit Rohrturbinen ausgerüstet wurde.

5.4 Bauliche Gegebenheiten

Das Krafthausbauwerk zeigte trotz seines Alters von teilweise über 100 Jahren einen guten Allgemeinzustand ohne größere Verwitterungen, Risse oder Setzungserscheinungen, so daß sich hieraus keine Notwendigkeit für umfangreiche bauliche Sanierungsmaßnahmen ergab.

Wegen der unmittelbaren Nähe des Wehrs war von vornherein klar, daß größere Ausbrucharbeiten im Sohlbereich problematisch sein würden (Änderung der statischen Verhältnisse, hoher zu erwartender Sohlwasserdruck). Ebenso war klar, daß Abspundung und Wasserhaltung von Baugruben sowohl auf der UW Seite als auch auf der OW Seite des Krafthauses sehr zeit- und kostenaufwendig sein würden.

Nach der 1965 durchgeführten Studie¹) war auf Grund von Probebohrungen bekannt, daß die Baugrundverhältnisse im Bereich des Krafthauses sehr ungleichmäßig sind (Fein- und Grobkies, Geröll, Mergelkalk, Sandstein). Es wurde darauf hingewiesen, daß die Anwendung von Spundwänden u. U. wegen teilweise zu geringer Einspanntiefe in die Kiesablagerungen in Frage gestellt sein könne und daß erst weitere Bohrungen im geplanten Baubereich darüber Aufschluß geben würden, welche Art der Baugrubensicherung verwendbar wäre. Es wurde deshalb beschlossen, auf Baugruben und Wasserstandsabsenkung außerhalb des Krafthauses ganz zu verzichten und die Ein- und Auslaufquerschnitte beizubehalten, auch unter Inkaufnahme nicht optimaler hydraulischer Bedingungen.

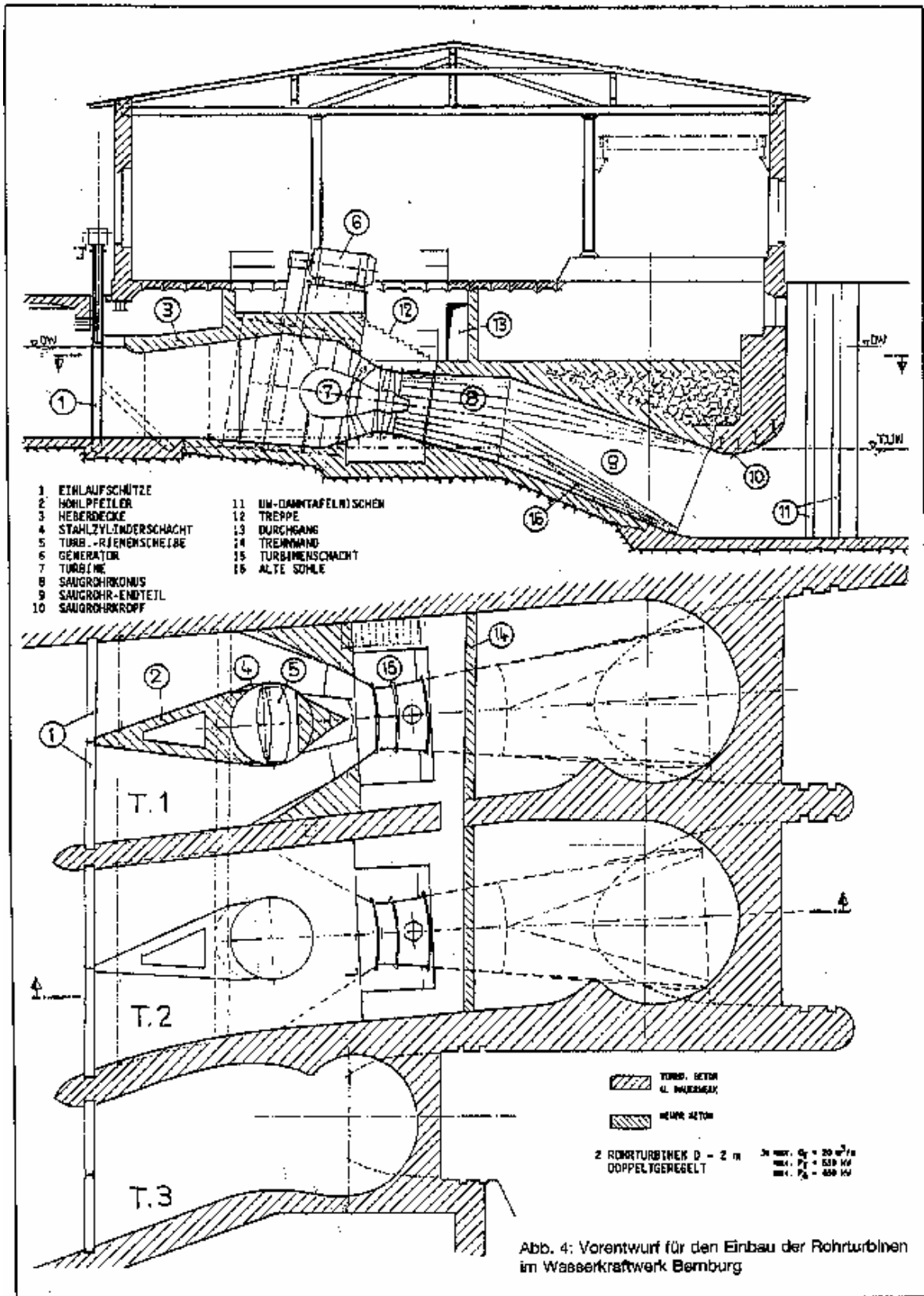


Abb. 4: Vorentwurf für den Einbau der Rohrturbinen im Wasserkraftwerk Bernburg

Anschrift:
 HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
 Hauptstrasse 48
 54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
 Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
 Fax: +49 (0) 6533-95818-10
 E-Mail: info@hsihydro.de
 Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
 Peter Marx
 Handelsregister:
 Amtsgericht Wittlich HRB 40467
 Ust - IdNr.: DE 113 558 318
 Steuernummer: 43/678/0023/4

Bankverbindung:
 Raiffeisenbank Rodenbach
 BLZ: 506 636 99
 Kto. - Nr.: 63193
 IBAN: DE 68 5066 3699
 BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB



5.5 Vorentwurf, Konzeptänderung

Der zunächst erstellte Einbau Entwurf (Abb. 4) für zwei Rohrturbinen mit 2 m Laufraddurchmesser, einem Nenndurchfluß von 20 M³/S und einer Maximalleistung von 530 kW zeigt hydraulisch günstige Verhältnisse mit geringen Umlenkungen ohne schroffe Querschnittsänderungen im Einlauf und Saugrohr. Hierzu war eine teilweise Tieferlegung der vorhandenen Turbinenkammersohle um maximal etwa 50 cm vorgesehen.

Da weder vor den Rechen noch zwischen Rechen und Turbineneinlaufschützen eine Absperrmöglichkeit besteht, waren alle Bau- und Montagearbeiten bei anstehendem Oberwasser vor den Einlaufschützen durchzuführen. Die Einlaufschützen waren als erste Renovierungsmaßnahme überholt bzw. erneuert worden und schlossen einwandfrei dicht.

Bei den zur Vorbereitung des Sohlausbruches in der Turbinenkammersohle gesetzten Probebohrungen wurde ein unerwartet hoher und anhaltender Sohlwasserdruck festgestellt. Somit mußte bei Durchführung des geplanten Sohlausbruches schlimmstenfalls mit einem unkontrollierbaren Wassereintritt in die Turbinenkammer und Ausspülung von Sohlmaterial unter den Gebäudefundamenten gerechnet werden.

Um dies zu vermeiden, wurde eine andere, hydraulisch etwas weniger günstige Anordnung der Turbinen mit horizontaler Achslage und S förmigem Saugrohr gewählt (Abb. 5). Hierdurch konnte auf ein Ausbrechen der Sohle verzichtet werden. Nur im oberen dickwandigen Teil des vorhandenen Beton krümmers war ein teilweiser Ausbruch für den Anschluß des Übergangsstückes vom Saugrohrkonus zum verbleibenden Teil des unteren Saugkrümmers erforderlich. Die weiteren Bau- und Montagearbeiten verliefen

6. Die Maschinensätze

Mit Ausnahme der Einlaufsohle, der Achsneigung und des Saugrohr Endbereiches sind die Maschinensätze im maschinenbaulichen Teil gegenüber dem Vorentwurf praktisch unverändert geblieben. Gegenüber den bisher meist üblichen Arten von Rohrturbinen weist die hier eingesetzte mehrere Unterschiede und Vorteile auf, die im folgenden näher erläutert werden.

6.1 Turbinen

6.1.1 Merkmale.

Es handelt sich bei dieser Rohrturbinenbauweise nicht um eine grundsätzlich neue Erfindung, sondern um eine zwar schon länger bekannte, aber erst seit wenigen Jahren verstärkt zum Einsatz kommende Kombination bewährter Einzelkomponenten. Das wesentliche Merkmal liegt darin, daß die Kraftübertragung vom OW seitigen Wellenende der Turbine mittels Umschlingungstrieb (meist Flachriementrieb) durch einen von außen zugänglichen Schacht zum außerhalb des Turbinengehäuses achsparallel aufgestellten Generator erfolgt.

Durch den Schacht wird die Gesamtströmung geteilt, weshalb dieser Turbinentyp von manchen Herstellern unter Verwendung des englischen Begriffes für Teilen als "Split Turbine" bezeichnet wird. Dieses Merkmal haben allerdings ebenso die schon lange gebräuchlichen Rohrturbinen des sog. "Pit Typs" mit oben offenem Schacht aus Beton oder Stahl. Insofern ist der Begriff "Split Turbine" nicht eindeutig, soll hier aber der Einfachheit halber weiter verwendet werden.

Der Zugangsschacht aus Stahlblech kann je nach Turbinengröße entweder zylindrisch oder elliptisch sein. Er kann bei kleineren Turbinen auch als Hohlrippe in einem zylindrischen Blechgehäuse horizontal angeordnet sein, wobei der Generator nicht über, sondern neben der Turbine achsparallel angeordnet ist.

Anschrift:
HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
Hauptstrasse 48
54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
Fax: +49 (0) 6533-95818-10
E-Mail: info@hsihydro.de
Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
Peter Marx
Handelsregister:
Amtsgericht Wittlich HRB 40467
Ust - IdNr.: DE 113 558 318
Steuernummer: 43/678/0023/4

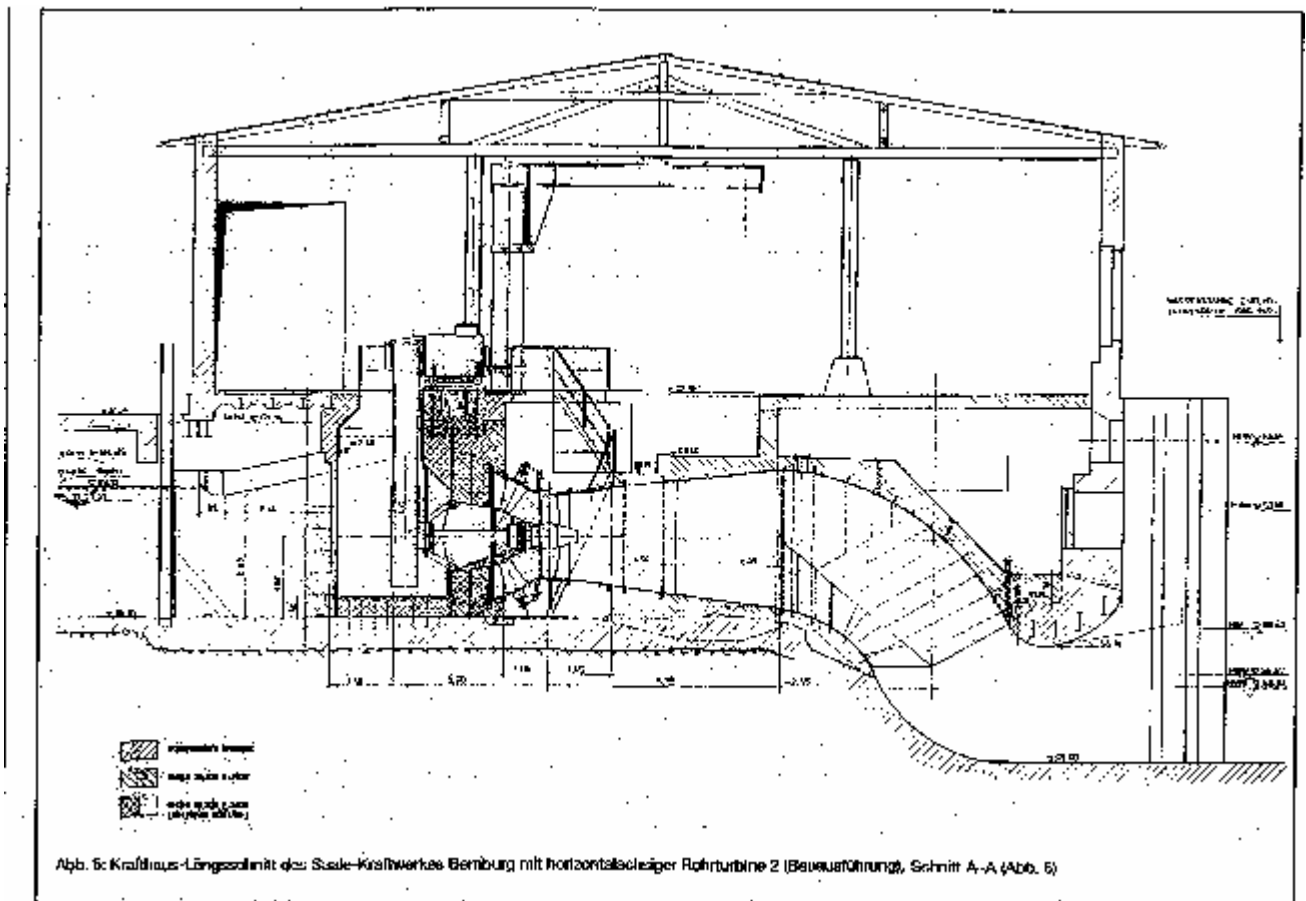
Bankverbindung:
Raiffeisenbank Rodenbach
BLZ: 506 636 99
Kto. - Nr.: 63193
IBAN: DE 68 5066 3699
BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB

In Bernburg mußte zwischen dem zylindrischen Stahlblechschacht und dem Mittelpfosten der geteilten Einlaufschützen ein Stützpfiler mit dreiecksförmigem Grundriß vorgesehen werden (s. Abb. 4). Dieser ist aus baustatischen Gründen erforderlich, um die Heberdecke zu tragen, außerdem auch aus hydraulischen Gründen, um trotz der in Fließrichtung steigenden Heberdecke eine stetige Querschnittsverengung und damit Beschleunigung der Fließgeschwindigkeit zu erreichen.

6.1.2 Vergleich

Maschinenbaulich liegen die Vorteile des Split Typs in einer sehr kompakten, einfachen Bauweise mit kurzer Welle und freiem Wellenende für die Laufradsteuerung. Hydraulisch sind die Vorteile vor allem gegenüber der sogenannten S Turbine in der Verwendbarkeit des geraden oder nur schwach gekrümmten Saugrohrs wie bei der Kegelrad- Rohrturbine oder den großen Rohrturbinen vom sogenannten "Bulb Typ" (direkt gekuppelter, wasserumströmter Generator) oder vom "Pit Typ" mit oben offenem Schacht zu sehen.

Durch das gerade oder nur schwach gekrümmte Saugrohr ist ein geringerer Wirkungsgradabfall bei



höheren Durchflüssen gegeben als beim doppeltgekrümmten Saugrohr der S Turbinen. Im Fall Bernburg ließ sich zwar aus den erklärten Gründen die S Form des Saugrohrs nicht vermeiden, doch ist hier die gerade Konuslänge hinter dem Laufrad wesentlich länger als üblicherweise bei den S Turbinen, wo die Konuslänge zugunsten der Wellenlänge kurz gehalten werden muß. Die Wellen sind in der Saugrohrströmung der S-Turbinen hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt. Es sind in den letzten Jahren mehrere Wellenbrüche an S Turbinen selbst renommierter Hersteller bekannt geworden.



Ein weiterer Vorteil des Split Typs gegenüber Kegelrad und S Rohrturbinen liegt darin, daß die Übergangsstrecke vom rechteckigen oder quadratischen Rechenquerschnitt zur Turbine sehr kurz gehalten werden kann, ohne am Übergang zum Turbinenleitrad zu starke Einschnürungen zu erhalten. Vom Beginn des Leitrades an ist die Geometrie der Durchflußquerschnitte beim Split-Typ identisch mit denen beim Bulb Typ oder Pit-Typ. Vermieden wird dadurch auch die Abdichtung der Turbinenwelle gegen Vakuum am Austritt aus dem Saugrohr, wie bei der S Turbine erforderlich.

6.1.3 Entwicklung

Der soweit uns bekannt erste Entwurf einer Rohrturbine mit zylindrischem Stahlblechschacht und Leistungsabtrieb über Flachriemen wurde 1983 von der HSI Hydro Engineering, Rodenbach, ausgearbeitet. Die erste Realisierung erfolgte in Zusammenarbeit der Firmen HSI und Gugler im Jahr 1987 in einer Anlage in Bayern mit einem Laufraddurchmesser von 1,40 m.

In der Folgezeit wurden weitere Turbinen dieses Typs mit zunehmenden Abmessungen und Leistungen gebaut. Die beiden Turbinen des Wasserkraftwerkes Bernburg sind mit 2 m Laufraddurchmesser und 530 kW Nennleistung seit der Inbetriebnahme 1993 die derzeit größten und leistungsstärksten Turbinen dieser Art. Der bauliche und maschinelle Gesamtentwurf hierfür sowie die Konstruktion einzelner Komponenten wurden von HSI erstellt. Die sonstige Konstruktion, Fertigung, Lieferung und Montage erfolgten durch Gugler, Niederranna.

6.2 Abtriebe

Der Verwendung von Flachriementrieben an Stelle von Zahnradgetrieben für Leistungen und Drehmomente dieser Größenordnung wird vielfach noch mit Mißtrauen begegnet, obwohl langjährige positive Betriebserfahrungen im Wasserkraftbereich bereits auch für wesentlich größere Leistungen im In und Ausland vorliegen).

Flachriemen sind seit langem schon im Dauerbetrieb in Walzwerken mit Leistungen bis etwa 5000 kW und auch in Wasserturbinensätzen bis 1600 kW erfolgreich eingesetzt worden. In der Größenordnung von mehreren hundert Kilowatt sind derartige Anlagen in Generator und Kompressorstationen seit Jahrzehnten in Betrieb.

Flachriemenantriebe sind wegen der bei sachgemäßer Auslegung nachgewiesenen großen Betriebszuverlässigkeit seit vielen Jahren auch unter den sehr strengen Vorschriften internationaler Klassifikationsgesellschaften bei Hochseeschiffen für den Antrieb von Bordgeneratoren zugelassen.

Zur Frage der Lebensdauer der Riemen hat die Firma Siegling im Jahre 1984 eine statistische Auswertung an etwa 150 Kleinwasserkraftanlagen durchgeführt, wonach die durchschnittliche Lebensdauer der Riemen in 95% der Fälle zwischen acht und zwölf Jahren betrug.

Wirkungsgradmessungen an speziell dafür entwickelten Prüfständen an neutralen wissenschaftlichen Instituten ergaben für Flachriementriebe Wirkungsgrade von über 98% einschließlich Lagerreibung und von 99% bei Eliminierung der Lagerverluste.

Zusammenfassend können die Vorteile des Riementriebs gegenüber Zahnradgetriebe wie folgt beschrieben werden:

- Wirkungsgrad des einstufigen Riementriebs mindestens so hoch wie bei einer Zahnradstufe und auf jeden Fall höher als beim mehrstufigen Zahnradgetriebe.
- Größeres Übersetzungsverhältnis in einer Übersetzungsstufe realisierbar als z. B. beim Kegelradgetriebe.
- Stoßbelastung vom Netz oder von der Turbine bzw. Generator her wird schadlos abgedämpft.



- Keine spezielle Wartung und Überwachung (z.B. Ölstand, druck, temperatur, zirkulation) erforderlich wie beim Zahnradgetriebe.
- Kein Ölwechsel. Keine Ölkühlung.
- Keine Kupplungen, weniger Lager und insgesamt weniger bewegliche Teile im Maschinensatz.
- Ersatzriemen kostengünstiger, schneller lieferbar und schneller auswechselbar als Ersatzzahnräder.
- Leichte, schnelle und preisgünstige nachträgliche Anpassungsmöglichkeit der Turbinendrehzahl (Übersetzungsverhältnis) an geänderte hydraulische Verhältnisse (z.B. bei Fallhöhenänderung infolge Unterwassereintiefung, Stauerhöhung oder Hochwasser).

Wichtig ist, daß Riementrieb und Lagerungen ausreichend dimensioniert sind und im Betrieb sauber gehalten werden. Nur dort, wo dies nicht der Fall ist oder wo ungünstige Umgebungsbedingungen vorliegen, wird der Riementrieb die Erwartungen nicht erfüllen.

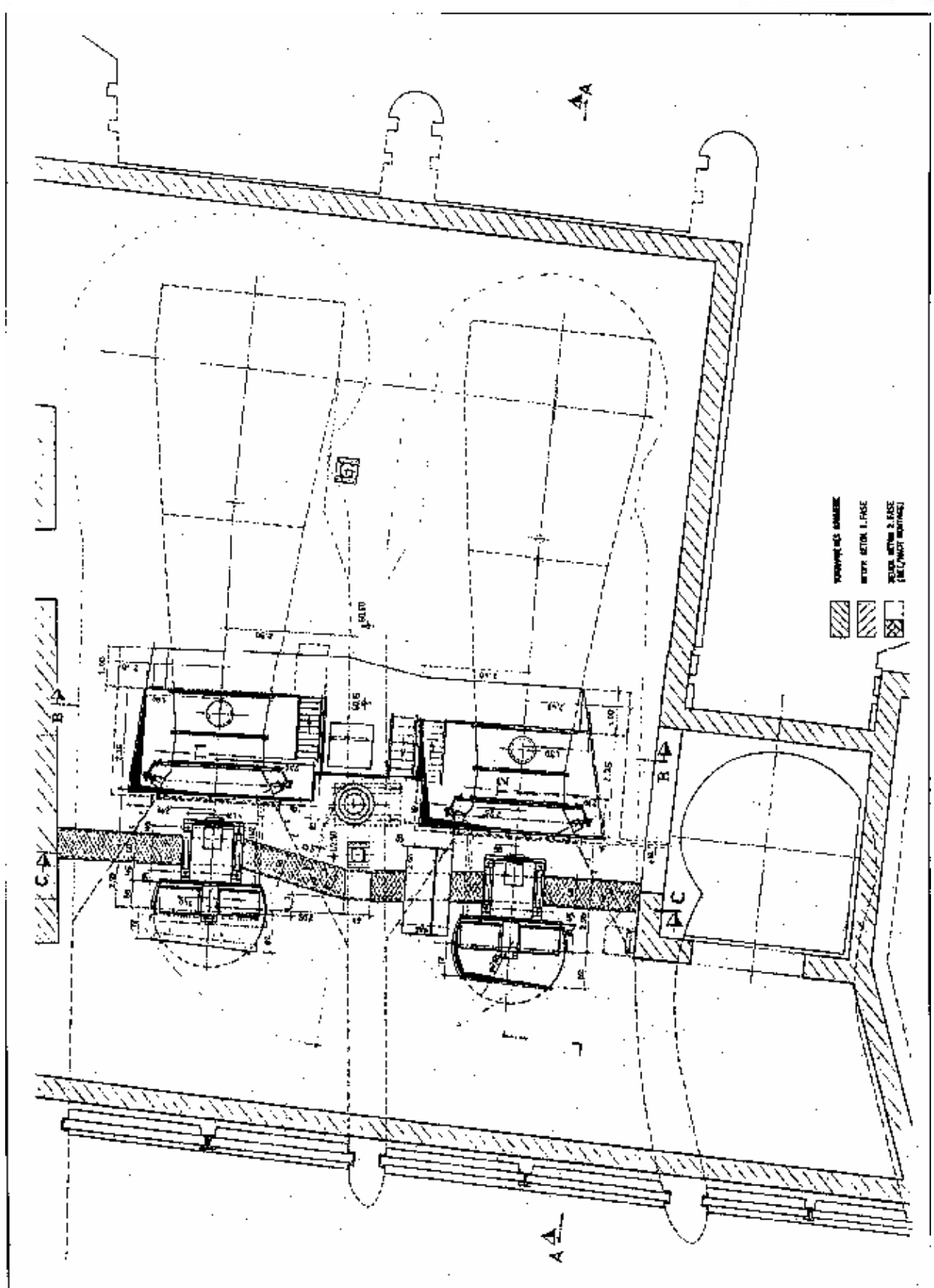


Abb. 8: Maschinenraum-Grundriß des Wasserkraftwerkes Bernburg

Anschrift:
 HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
 Hauptstrasse 48
 54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
 Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
 Fax: +49 (0) 6533-95818-10
 E-Mail: info@hsihydro.de
 Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
 Peter Marx
 Handelsregister:
 Amtsgericht Wittlich HRB 40467
 Ust - IdNr.: DE 113 558 318
 Steuernummer: 43/678/0023/4

Bankverbindung:
 Raiffeisenbank Rodenbach
 BLZ: 506 636 99
 Kto. - Nr.: 63193
 IBAN: DE 68 5066 3699
 BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB



6.3 Generatoren

Die 750tourigen Asynchrongeneratoren mit einer Nennleistung von 500 kW sind wegen der hohen Wellenbelastung durch den Riementrieb als Sonderkonstruktion mit verlängertem Wellenzapfen und in Dreilagerausführung vorgesehen.

Quellen

- 1. Übersicht der in der sowjetischen Zone gelegenen Wasserkraftanlagen (Stand 1945/46)
- 2. Studie des VEB Zentrales Projektierungsbüro für die Zellstoff und Papierindustrie, Heidenau i.Sa. (1965)
- 3. Träger, O.: Wassermühlen im unteren Saaletal. VEB Saalemühlen Bernburg (1969)
- 4. Schwarz, B., und H. Faist: Historisches vom Strom. Verlag Krüpf Ganz, Duisburg (1993)
- 5. Mönchmeier, R. J.: Ein Ostwestfale und die Wasserkraft in Sachsen Anhalt. Wasserkraft & Energiewassertriebwerk Spezial 2/1995, S. 56
- 6. Rauch, A.: Taschenbuch für Wasserkraftanlagen. Franckh Verlag, Stuttgart (1962)
- 7. Ribaux, A.: Angewandte Hydraulik 111. Verlag La Moraine, Genf (1960)
- 8. B. Maier KG, Brackwede: Prospekt Nr. 186 Maier-Rohrturbinen, etwa 1958
- 9. Coumans, X., and B. Fontaine: Belt driven Straflo units for a small low head scheme. International Water Power & Dam Construction, June 1989, p. 17

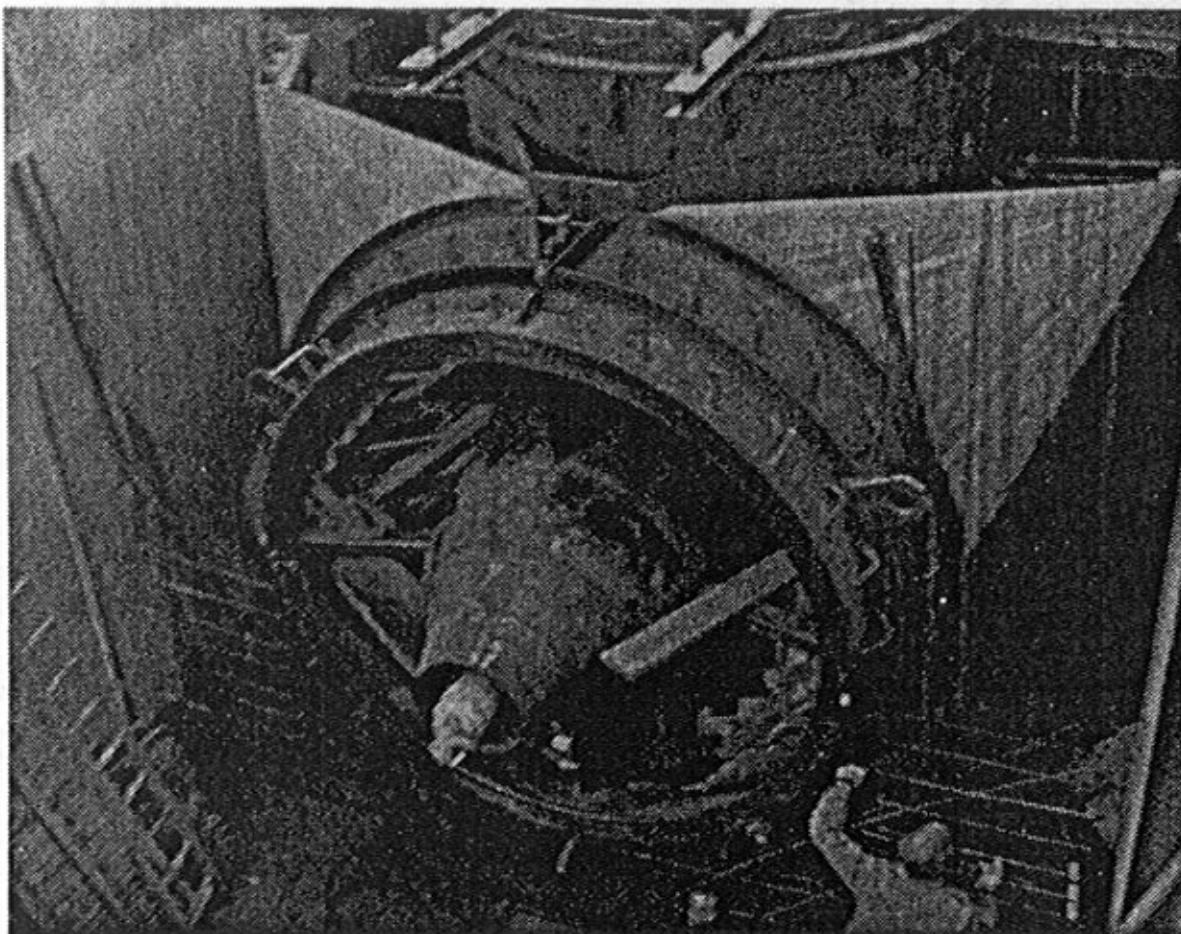


Abb. 7: Turbinengehäuse beim Einschalen



Abb. 8: Blick in den Maschinenraum

Anschrift:
HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
Hauptstrasse 48
54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
Fax: +49 (0) 6533-95818-10
E-Mail: info@hsihydro.de
Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
Peter Marx
Handelsregister:
Amtsgericht Wittlich HRB 40467
Ust - IdNr.: DE 113 558 318
Steuernummer: 43/678/0023/4

Bankverbindung:
Raiffeisenbank Rodenbach
BLZ: 506 636 99
Kto. - Nr.: 63193
IBAN: DE 68 5066 3699
BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB