# Modernisierung und Neubau des Pumpspeicherkraftwerks Waldeck 1

Autor(en): **Pöhler, Frank / Rau, Martin**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **100 (2008)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-939684

**Nutzungsbedingungen**

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

**Haftungsausschluss**

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

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

**http://www.e-periodica.ch**

# Modernisierung und Neubau des Pumpspeicherkraftwerks Waldeck 1

Frank Pöhler, Martin Rau

## 1. Einleitung

Mit der Liberalisierung des Strommarktes und durch den starken Zubau der Windenergie gewinnen die Pumpspeicherkraftwerke (PSW) besonders im Hinblick auf die Regelenergiebereitstellung an Bedeutung.

Die ursprünglich für Veredlungsbetrieb und Spitzenlastdeckung ausgelegten PSW werden immer stärker zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen herangezogen. Eine damit verbundene Erhöhung der Werthaltigkeit der PSW ermöglicht wieder zukunftsträchtige Investitionen zur Erhaltung und zum Neubau von PSW.

Am Standort Edersee der E.ON Wasserkraft GmbH werden derzeit 2 Projekte realisiert:

- Modernisierung und Neubau des PSW Waldeck 1 (140 MW)
- Ertüchtigung und Leistungserhöhung des PSW Waldeck 2 (von 440 auf 480 MW)

Die erste Projektphase der Ertüchtigung des PSW Waldeck 2 wurde im letzten Jahr mit einer Leistungserhöhung des ersten Maschinensatzes abgeschlossen. Das neue Turbinenlaufrad hat die Erwartungen voll erfüllt. Es ermöglicht ein Regelband von 10 bis über 240 MW (statt bisher 56–220).

Im Folgenden wird die Modernisierung/Neubau des PSW Waldeck 1 vorgestellt; zuvor werden jedoch noch einige Aspekte zum Einsatz von PSW unter veränderten Rahmenbedingungen erläutert.

## 2. Pumpspeicherkraftwerke unter veränderten Rahmenbedingungen

### 2.1 Aufgaben der Pumpspeicherkraftwerke

Um den im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts schnell wachsenden, im Tages- und Wochenverlauf jedoch stark schwankenden Strombedarf zu decken und die thermischen Kraftwerke gleichmässiger ausnutzen zu können, wurde in Deutschland die Idee der PSW geboren.

Nur mit ihnen war es möglich, elektrische Arbeit – indirekt – in Form von potenzieller Energie zu speichern. Ein Vorteil von PSW ist vor allem die extrem rasche Leistungsbereitstellung. Je nach Anlagentyp vergehen nur 1–3 Minuten, bis aus dem Stillstand die installierte Leistung voll genutzt werden kann. Bis heute ist deshalb in Deutschland die Leistung der mittlerweile mehr als 30 Pumpspeicheranlagen auf etwas mehr als 6600 MW gestiegen.

Wesentliche Aufgaben von PSW sind:

- Stromveredlung im Wälzbetrieb, d.h. Überführung von Schwachlast- in Spitzenlastenergie, damit Glättung der Tageslastkurve und Optimierun des Betriebes von thermischen Kraftwerken.
- Bereitstellung von Minutenreserve.
- Leistungsfrequenzregelung, Teilnahme an der Primär- und Sekundärregelung.
- Netzdienstleistungen zur Spannungshaltung (Lieferung/Bezug von kapazitivem und induktivem Blindstrom).
- Aufbau eines Netzes ohne Fremdenergie (Schwarzstartfähigkeit).

### 2.2 Veränderte Rahmenbedingungen

Von der ursprünglichen Aufgabenstellung der täglichen Energieveredelung und Spitzenlastdeckung hat sich bei Pumpspeicherkraftwerken in den letzten zwei Jahrzehnten die Zielsetzung mehr in Richtung Bereitstellung von Systemdienstleistungen verlagert. Verstärkt wurde diese Entwicklung durch

- die Liberalisierung des Strommarktes 1998 und
- den enormen Zubau der Windenergie infolge des erneuerbaren Energiegesetzes (EEG) seit 2000.

Die mit der Liberalisierung des Strommarktes verbundene Erhöhung der Handelsgeschäfte (EEX oder OTC) hat eine

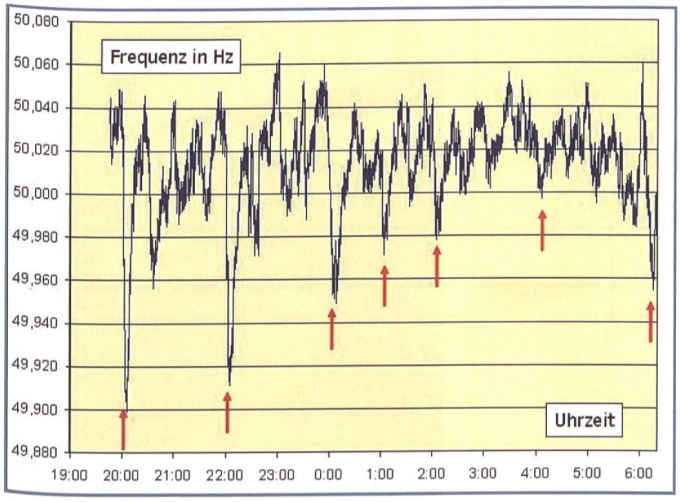



*Bild 1. Netzfrequenz in der Nacht vom 30.11./01.12.2004.*

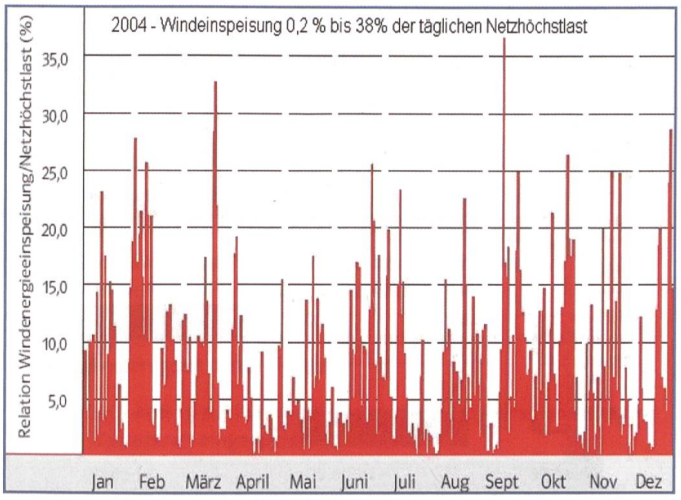



*Bild 2. Windeinspeisung in E.ON-Regelzone 2004 in Relation zur täglichen Höchstlast.*

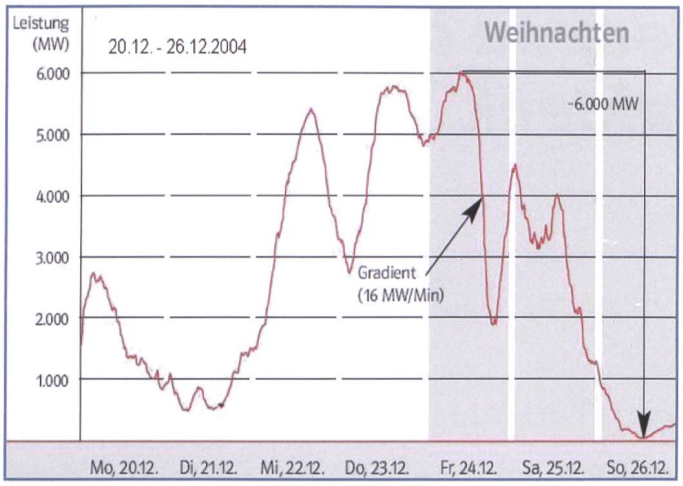



*Bild 3. Windeinspeisung in E.ON-Regelzone.*

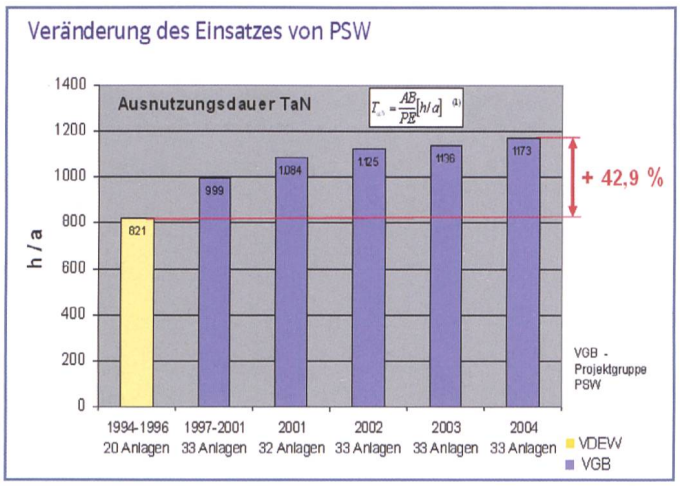



*Bild 4. Veränderung des Einsatzes von PSW.*

unmittelbare Auswirkung auf die Netzfrequenz.

Frequenzsprünge von mehr als 50 mHz treten vermehrt exakt zum Stundenwechsel auf, wenn Stromkontrakte auslaufen oder beginnen, insbesondere zum Wechsel Base/Peak-Zeit *(Bild 1)*. Dieser beobachtete Frequenzfehler hat seine Ursache darin, dass Erzeugungsanlagen von Verkäufern und Produktionsanlagen von Käufern nicht zeitgleich an- und abgefahren werden, so dass ein kurzer zeitlicher Versatz entsteht.

Das EEG-Gesetz aus dem Jahre 2000 führte in den letzten Jahren zu einem enormen Zubau regenerativer Energien, insbesondere Windenergie, mit ebenso drastischen Veränderungen für das Netz. Ende 2006 war in Deutschland ca. ein Drittel der weltweit vorhandenen Windkraftleistung, nämlich rund 20 500 MW, installiert. Mit rund 30,5 TWh Stromerzeugung war die Windkraft 2006 vor der Wasserkraft (21,3 TWh – ohne Pumpspeicher) die regenerative Erzeugungsart Nr. 1. Und genau hier liegt das Problem: Während die Windenergie fast die gleiche installierte Leistung wie die Kernkraft (jeweils ca. 20 GW) aufweist, erzeugt die Windkraft nur knapp ein Fünftel der Energiemenge aus den Kernkraftwerken (2005: 155 TWh Kernkraft, 27,3 TWh Windkraft). Mit anderen Worten: Durch die geringe Jahreserzeugung, bezogen auf die hohe installierte Leistung, war die Windenergie 2006 in Deutschland mit nur ca. 1500 Volllastnutzungsstunden (von 8760 h) in Betrieb. Das bedeutet, dass aufgrund der natürlichen Schwankungen des Winddargebotes auch die Erzeugung von Windstrom extrem stark variiert. Im Jahr 2004 lag die Windstromproduktion im E.ON-Netz-Gebiet zwischen faktisch Null (0,2%) und gut einem Drittel (38%) der täglichen Netzhöchstlast *(Bild 2)*. [1]

Die Veränderungen der Einspeiseleistungen laufen oft innerhalb weniger Stunden ab. Das zeigt beispielsweise *Bild 3*. Am 24.12.2004 fiel die Windeinspeisung in der E.ON-Regelzone (installierte Windleistung per 31.12.04: 7050 MW) innerhalb von 10 Stunden von 6024 MW auf unter 2000 MW – ein Unterschied von 4000 MW –, was der Leistung von acht grossen Kohlekraftwerksblöcken von 500 MW entspricht. [1]

Vor allem in Zeiten geringer Stromnachfrage (nachts, Wochenende) bereitet die stark fluktuierende Windenergieeinspeisung insbesondere dann extreme Probleme, wenn aufgrund eines hohen Windangebotes viele Windkraftanlagen mit voller Leistung ins Netz speisen.

Diese Systemzustände können nur noch durch ein ausgeklügeltes Erzeugungsmanagement mit umfassendem Redispach von thermischen und nuklearen Erzeugungskapazitäten beherrscht werden. Bei einem weiteren Ausbau der Windenergie wird sich diese Situation weiter zuspitzen.

Analysen aufgrund der Ergebnisse der «Dena-Netzstudie» gehen davon aus, dass sich bei einem prognostizierten Aus-

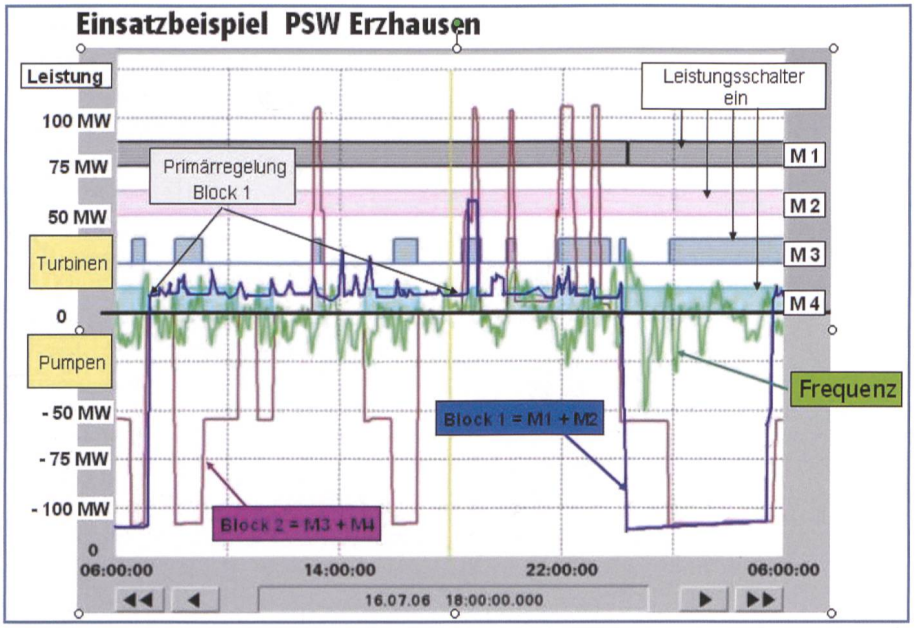



*Bild 5. Beispiel für den Einsatz eines Pumpspeicherkraftwerkes.*

*Bild 6. Maschinenhalle PSW Waldeck 1.*

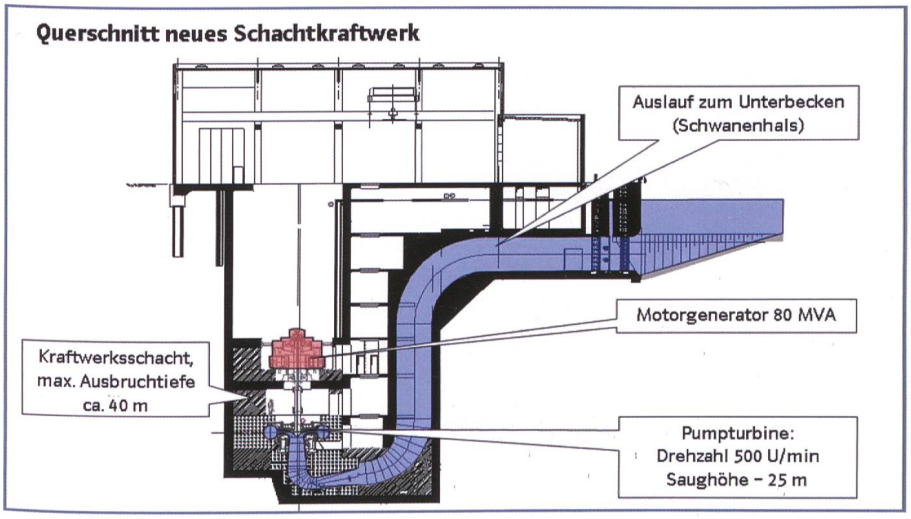



*Bild 7. Querschnitt durch das neue Schachtkraftwerk.*

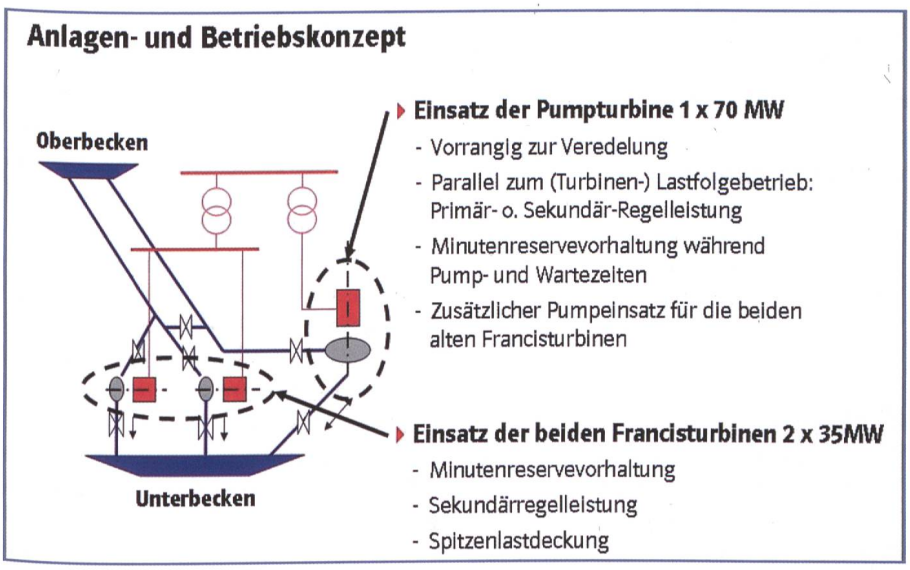



*Bild 8. Anlagen- und Betriebskonzept.*

bau der Windenergie bis 2015 auf 36 GW (etwa Verdoppelung ggü. 2005) der Bedarf an positiver und negativer Minuten- und Stundenreserve auf das Zwei- bis Vierfache erhöhen wird. [2]

### 2.3 Auswirkung auf den Einsatz der PSW

Wurden in PSW früher durchschnittlich ein Pumpzyklus und zwei Turbinenzyklen pro Tag gefahren, so werden die Anlagen heute häufiger und oft auch für kürzere Zeiten ans Netz genommen. Mit dieser Fahrweise kann vorhersehbaren Ereignissen (z.B. Tarifschaltungen) vorausschauend begegnet werden.

Diese Fahrweise des vorausschauenden Pumpen- und Turbinenbetriebes führt in der Praxis häufig dazu, dass Pumpen oder Turbinen, wenn das erwartete Ereignis nicht eintritt, nach wenigen Minuten Betriebsdauer wieder vom Netz genommen werden. Damit bieten PSW dem Lastverteiler zusätzliche Freiheitsgrade und mehr Flexibilität bei der Netz- und Kraftwerksversorgung.

In der Projektgruppe «Pumpspeicherkraftwerke» des VGB wurde der geänderte Kraftwerkseinsatz der PSW analysiert [3]. Eindeutige Aussagen aus dieser Analyse sind nur schwer ableitbar, da die Grösse und die Zusammensetzung des Kraftwerkparks eines Unternehmens oder einer Unternehmensgruppe die Einsatzphilosophie der PSW bestimmen und sich deshalb ein sehr heterogenes Bild des Anlageneinsatzes ergibt.

Für die Gruppe der PSW bis 100 MW Leistung (ohne natürlichen Zufluss) kann aus der Analyse des VGB eine 20%-ige Erhöhung der Betriebsartenwechsel sowie eine 55%-ige Erhöhung der Betriebsdauer im Turbinenbetrieb in 2004 ggü. dem Durchschnitt der Jahre 1997–2001 abgeleitet werden. Für alle 33 untersuchten Anlagen erhöhte sich die Ausnutzungsdauer in den letzten 10 Jahren bis 2004 um ca. 43% *(Bild 4)*.

In *Bild 5* ist ein Einsatzbeispiel des PSW Erzhausen dargestellt (16.07.2006). Man erkennt darin, dass die zwei 55-MW-Maschinen des Blocks 1 über lange Phasen des Tages im Primärregelbetrieb arbeiten, während die zwei Maschinen des Blockes 2 bis zu fünf Mal am Tag jeweils in den Pumpbetrieb und in den Turbinenbetrieb angefahren wurden.

## 3. Modernisierung/Neubau des PSW Waldeck 1

### 3.1 Altanlage und Modernisierungs-/Neubaukonzept

Die PSW Waldeck 1 und 2 befinden sich in Nordhessen, in unmittelbarer Nähe des Edersees. Das PSW Waldeck 1 mit seinen vier horizontalen Maschinensätzen *(Bild 6)* und einer Gesamtleistung von 140 MW wurde 1932 in Betrieb genommen.

Nach 75 Jahren Betrieb ist die An-

**Rahmentermine Waldeck 1**

- 07 – 10/2004 Konzeptstudie Fa. Lahmeyer
- 11/2004 Beschluss zur Modernisierung durch E.ON Energie AG
- 11/2004 – 03/2005 EU-weite Ausschreibung
- 04 – 11/2005 Vergabeverfahren mit 3 Konsortien als kooperativer Planungswettbewerb mit Erarbeitung der Entwurfsplanung
- 12/2005 Auftragsvergabe an Konsortium Bilfinger & Berger und Voith Siemens Hydro
- 01 – 03/2006 Baufeldfreimachung, Übergabe Baufeld
- 04/2006 Baubeginn
- 02/2009 Inbetriebnahme

*Bild 9. Rahmentermine.*

**Ablauf Genehmigungsverfahren Waldeck 1**

- 11/2004 – 01/2005 Vorprüfung Umweltverträglichkeit durch RP Kassel, Erörterungstermin mit Träger Öffentlicher Belange
  Ergebnis: UVP + Planfeststellungsverfahren nicht erforderlich, sondern einfaches Plangenehmigungsverfahren
- 02 – 04/2005 Antrag + Verbindliche Zusicherung auf Erteilung einer Plangenehmigung durch RP Kassel
- 13.09.2005 Antrag auf Plangenehmigung für 3 Entwurfsplanungen von E.ON Wasserkraft eingereicht
- 29.11.2005 Übergabe der Plangenehmigung nach nur $2^1/_2$ Monaten

*Bild 10. Genehmigungsverfahren.*

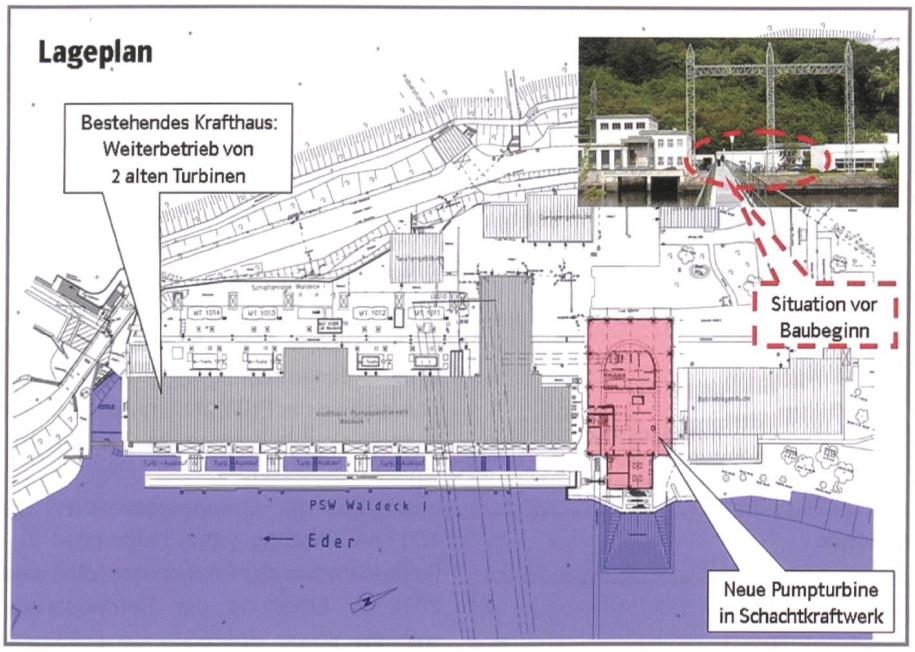



*Bild 11. Lageplan der Altanlage mit dem neuen Schachtkraftwerk.*

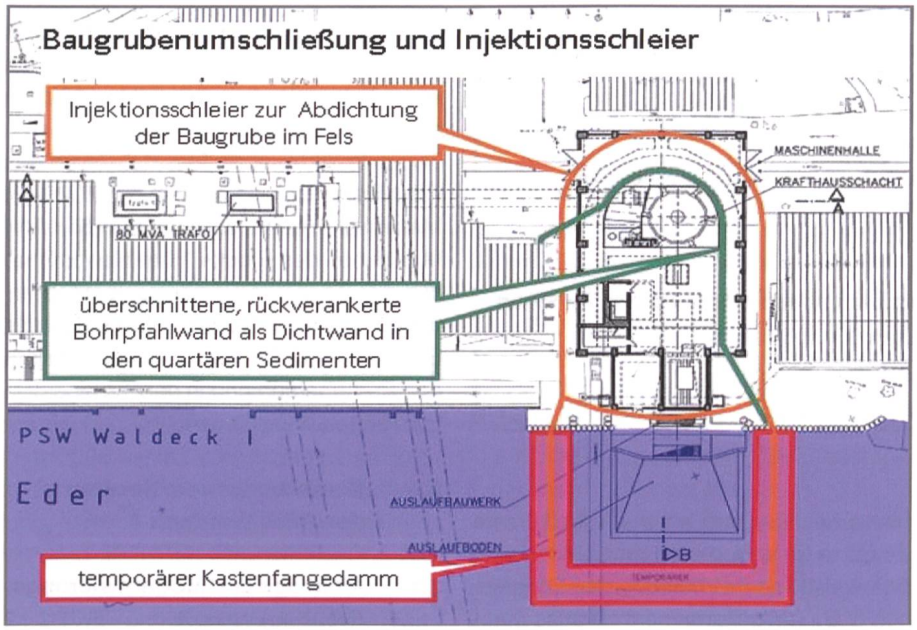



*Bild 12. Lageplan Schachtkraftwerk mit Baugrubenumschliessung und Injektionsschleier.*

lage weitestgehend am Ende ihrer technischen Nutzungsdauer angelangt. Deshalb wurden 2004 die Handlungsoptionen Stilllegung und Rückbau bzw. Modernisierung unter optimaler Verwendung vorhandener Anlagenteile untersucht.

Die gemeinsam mit Fa. Lahmeyer International im Sommer 2004 durchgeführten Untersuchungen (Konzeptstudie mit Prüfung von Standortalternativen und geologischem Erkundungsprogramm) mündeten in einem Modernisierungskonzept, das folgende drei Teilprojekte umfasst:

- Bau einer neuen Pumpturbine mit ca. 70 MW Leistung als Schachtkraftwerk auf dem bestehenden Kraftwerksgelände *(Bild 7)*
- Beibehaltung des bestehenden Oberbeckens und der Druckrohrleitungen sowie umfangreiche Sanierung des Oberbeckens
- Ertüchtigung von zwei Francisturbinen und Stilllegung aller vier Pumpen und zwei Turbinen der Altanlage.

In *Bild 8* ist das Anlagen- und Betriebskonzept der neuen Gesamtanlage dargestellt. Gegenüber der Altanlage kann der Umwälzwirkungsgrad um 19% verbessert werden.

### 3.2 Planungswettbewerb und Genehmigungsverfahren

Der anspruchsvolle Rahmenterminplan *(Bild 9)* insbesondere bis zum Baubeginn 04/2006 war nur möglich, weil ein Vergabeverfahren gewählt wurde, das einen kooperativen Planungswettbewerb mit drei Konsortien vorsah und die Plangenehmigung von der zuständigen Behörde (Regierungspräsidium Kassel) sehr schnell erteilt wurde *(Bild 10)*.

Auf Basis der Konzeptstudie und einer funktionalen Leistungsbeschreibung (Vorgabe von Leitplanken) wurde während des Planungswettbewerbs von den Konsortien jeweils parallel eine Entwurfsplanung erarbeitet und in mehreren Gesprächsrunden mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Vom Beginn des Planungswettbewerbes bis zur Vergabe des Generalunternehmer-Auftrages vergingen nur neun Monate. Drei Monate nach Auftragsvergabe erfolgte Anfang April 2006 der offizielle Baubeginn.

### 3.3 Bauausführung

Um Platz zu schaffen für das neue Schachtkraftwerk, das zwischen dem Altkraftwerk und der Ausbildungswerkstätte liegt, mussten zunächst zahlreiche Umbauarbeiten vorgenommen werden. Eine Lagerhalle wurde zerlegt und zwischengelagert. Zwei Trafos wurden umgesetzt, und zahlreiche Medien wie Strom, Wasser, Telefon sowie Leittechnikkabel wurden aus dem Baufeld rückverlegt.

Im Frühjahr 2006 war das Baufeld freigeräumt und stand für die eigentliche Baumassnahme zur Verfügung.

Bevor mit dem Aushub des Schachtes begonnen werden konnte, musste eine Abdichtung des Baugrundes vorgenommen werden.

Den oberflächennahen Bereich, der aus quartären Kiesen und Sanden besteht, dichtet eine überschnittene, rückverankerte Bohrpfahlwand ab *(Bild 12)*. Der tiefer liegende Felsbereich wurde mit Zementinjektionen bis in eine Tiefe von 50 m unter Geländeoberkante (GOK) abgedichtet.

Bei der Ausführung der Arbeiten stellte sich heraus, dass im Schachtbereich eine geologische Störzone vorhanden ist. Daraufhin wurde der Umfang der Injektionen erweitert, um die Gebirgsfestigkeit der anstehenden Grauwacke (Sandsteine) und Tonsteine zu verbessern. Insgesamt wurden etwa 10 000 Bohrmeter abgeteuft und 670 Tonnen Injektionsgut verpresst.

Im Anschluss an den Affolderner See, dem gemeinsamen Unterbecken der PSW Waldeck 1 und 2, wurde die Baugrube mit einem Kastenfangedamm gesichert *(Bild 12)*.

Mitte Juli 2006 begann die Herstellung des Schachtes. Mit einem schweren

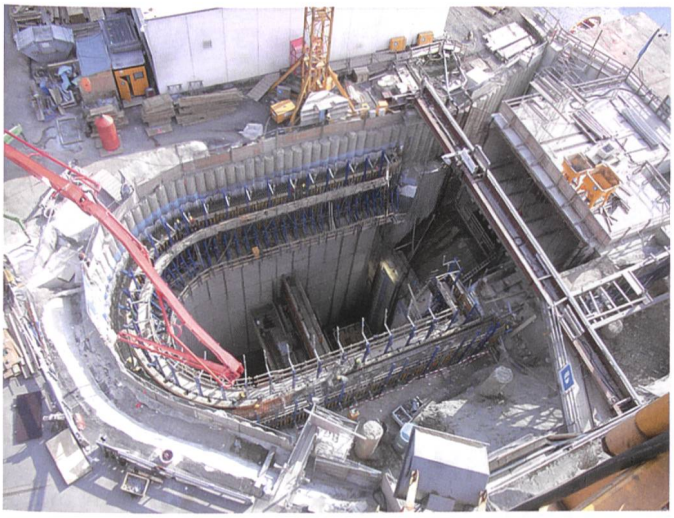


*Bild 13. Schachtbaugrube Ende November 2006.*

*Bild 14. Betonarbeiten im Schacht im Juli 2007.*

Bagger und mit einem Hydraulikmeissel wurden insgesamt rund 16 000 $m^3$ Fels gelöst und mit Containern von 5 $m^3$ Inhalt an die Oberfläche gefördert. Die Höhe der einzelnen Strossen (Aushubabschnitte) betrug 3 bis 4 m.

Zur Sicherung der Schachtwände wurden rund 1000 Stück 6 m lange SN-Anker und eine bewehrte, 20 cm dicke Spritzbetonschale eingebaut. Im Dezember 2006, kurz vor der Weihnachtspause, war der tiefste Punkt des Schachtes mit einer Tiefe von knapp 40 m unter GOK erreicht. Die Aushubarbeiten wurden mit einem umfangreichen Messprogramm überwacht. Die an den eingebauten Gleitdeformetern, Extensometern, Messspiegeln und Grundwasser-Pegeln gemessenen Grössen lagen alle innerhalb der rechnerisch ermittelten Prognosewerte.

Im Januar 2007 begannen die Betonbauer ihre Arbeit im Schacht.

Die 1 m dicken Aussenwände des Schachtbauwerkes sind als «weisse Wanne» konzipiert. Nach der Herstellung der Schachtsohle und der untersten Wandabschnitte wurde für die Herstellung der Schachtaussenwände eine Kletterschalung eingesetzt.

Parallel zu den Arbeiten im Schacht wurde das Auslaufbauwerk errichtet, das mit einem betonierten Vorboden (Trichter) an das Unterbecken des Affolderner Sees anschliesst. Nach der Fertigstellung des Auslaufbauwerkes und dem Einbau der zugehörigen Verschlüsse (Rollschütz und Dammtafeln) konnte der Kastenfangedamm im Juni und Juli 2007 wieder rückgebaut werden.

Anfang Januar 2007 wurden 2 Turbinen und 2 Pumpen der Altanlage endgültig stillgelegt. Die zugehörigen Rohrleitungen wurden rückgebaut und der Anschluss der beiden Rohrstränge an die neue Pumpturbine vorbereitet. Zwei Maschinensätze der Altanlage bleiben bis April 2008, dem Beginn der Sanierung des Oberbeckens und der Anschlussarbeiten der neuen Pumpturbine an die vorhandenen Druckrohrleitungen, in Betrieb.

### 3.4 Ausblick

Derzeit liegen die Arbeiten weitestgehend im Terminplan. Bis zur Inbetriebnahme Anfang 2009 sind noch folgende Arbeiten auszuführen:

- Fertigstellung Rohbau bis Ende 2007
- Montage M- und E-Technik ab Mitte 2007
- Reha-Massnahmen Oberbecken und Altanlage 2008
- Inbetriebnahme, Ende 2008 bis Anfang 2009

Referenzen


[1] E.ON Netz GmbH: Windreport 2005 www.eon-netz.com.

[2] *Brischke, L.-A., Hoppe-Kilpper, M., Tiedemann, A.,* Regel- und Reservebedarf bei Ausbau der Stromerzeugung mit regenerativen Energien bis 2015, ew, Jg. 105 (2006), Heft 1–2, S. 22–25.

[3] Projektgruppe PSW des VGB, Auswertung des Einsatzes von PSW 1997–2004, interner Arbeitsbericht 2005.

[4] Godde, D., Ciesiolka, J.-F., Pumpspeicherkraftwerke unter geänderten Rahmenbedingungen – Herausforderung und Konsequenzen, VGB-Kongress «Kraftwerke 2005», Krakau 28.–30.09.2005.

[5] Pöhler, F., Modernisierung/Neubau PSW Waldeck 1 – Ertüchtigung/Leistungserhöhung PSW Waldeck 2, Symposium Alpine Wasserkraft, Lindau 20.–21.10.2005.



Anschrift der Verfasser

Dr. *Frank Pöhler*

Leiter der Werkgruppe Edersee

E.ON Wasserkraft GmbH, Kraftwerkstrasse 10

De-34549 Edertal

frank.poehler@eon-energie.com

Dipl.-Ing. *Martin Rau*

Projektleiter «Modernisierung Waldeck 1»

E.ON Wasserkraft GmbH, Luitpoldstr. 27

De-84034 Landshut

martin.rau@eon-energie.com

## H. Erne Metallbau AG

CH-5316 Leuggern, Steiächer

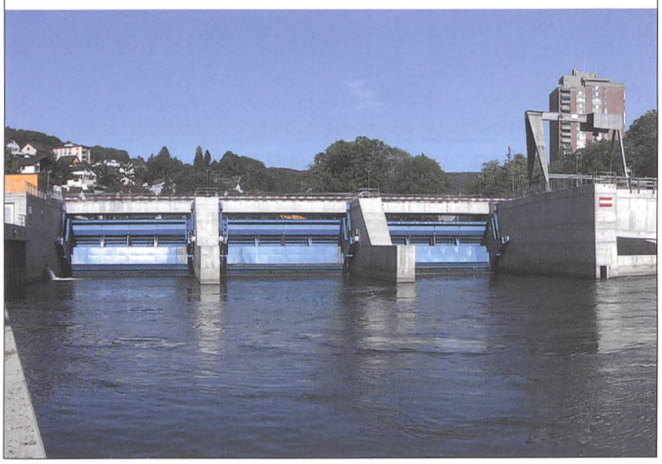
Tel. +41 56 268 00 20 • Fax +41 56 268 00 21 • erne@h-erne.ch

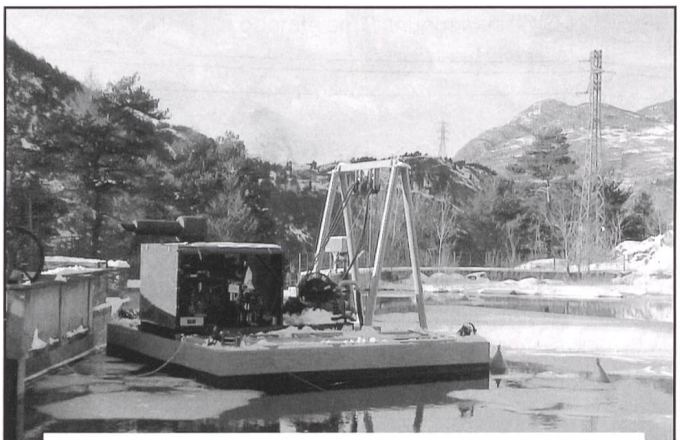
Metall-/Stahlbau • Stahlwasserbau
Sonderkonstruktionen • Umwelttechnik
Anlage- und Apparatebau • Montagen/Revisionen

www.h-erne.ch

Wir sind Spezialisten für den Stahlwasserbau

- Wehranlagen
- Druckleitungen
- Rechenanlagen
- Gleitschützen
- Notverschlüsse
- Schlauchwehre
- Revisionen





## UNTERHALT VON STAUANLAGEN

Stauseevermessungen
Enschlammung von Staubecken
Kontrolle von Rechen, Schiebern, Grundablässen, Druckleitungen
Spezialarbeiten

**Hydro Maintenance Service**
c/o FMB Engineering AG
Grienbachstrasse 39, 6340 Baar
Telefon 041 761 68 38

info@hmservice.ch
www.hmservice.ch

HYDRO MAINTENANCE SERVICE

Erhältlich bei uns:
Powertage 08, Halle 6 – Stand G12

## EXTRA STARK IN DER WASSERKRAFT.

Begegnen Sie dem Rittmeyer Fachteam für «Mess- und Leittechnik in der Wasserkraft». Erfahren Sie mehr dazu an unserem Stand. Wir freuen uns, Sie persönlich bei uns zu begrüssen.

**www.rittmeyer.com**

rittmeyer
KOMPETENT
AUS ERFAHRUNG