

HYDRAULISCHE, ÖKONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE OPTIMIERUNG VON TRIEBWASSERWEGEN FÜR HOCHDRUCK- WASSERKRAFTWERKE

Wolfgang RICHTER, Josef SCHNEIDER, Gerald ZENZ

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Stremayrgasse 10/2, A-8010 Graz, Austria

Email: hydro@TUGraz.at

Einleitung

Seit Jahrtausenden zeichnet sich der Erfolg von Hochkulturen darin aus, sich einerseits vor den Wassergewalten zu schützen und andererseits die lebensnotwendigen Eigenschaften des Wassers sowie die Kraft des Wassers zu nützen. Ingenieurtechnische Wasserbauten stellen somit eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Hochkultur dar. Wasser wird zudem gratis mit Sonnenkraft in höhere Region gehoben und es kann bei seinem Abfluss energetisch genutzt werden. Bei heutigen alpinen Hochdruckanlagen werden Höhenunterschiede von bis zu 1800 m Fallhöhe direkt abgearbeitet. Diese technischen Bauwerke stellen durch den komplexen bautechnischen Aufwand sowie den großen Kräften, welche darin auftreten, eine besondere Herausforderung an die Ingenieurskunst. Vor 2550 Jahren wurde der 1036 m lange Wasserversorgungstunnel von Samos gebaut. Seine Betriebszeit betrug 1200 Jahre (Garbrecht 1995). Vor 2200 Jahren wurde die Druckrohrleitung von Pergamon errichtet, welche bereits dem heutigen hydraulischen Prinzip alpiner Hochdruckwasserleitungen entspricht. Es wurde eine lange Niederdruckzuleitung (ineinandergesteckte und abgedichtete Tonrohre) gebaut und am Übergang zu Hochdruckbereichen wurden Wasserschlösser angeordnet (Wasserkammern, Absetzbecken). Die Druckrohrleitung von Pergamon hat eine Innendruckbelastung von 175 mWS überwunden (Vermutlich Bleirohre). Diese Anlage war mindestens 380 Jahre in Betrieb (Garbrecht 1995). Vitruvius Pollio schreibt im achten Buch seiner zehn Bücher bereits im Jahre 22 v.Chr. über Architektur über die prinzipielle Vorgangsweise beim Bau von Wasserleitungsanlagen. Der Übergang von der Zuleitung zum Versorgungssystem einer Stadt wird über ein zweistufiges Kammersystem bewerkstelligt welches castellum bezeichnet wird (Reber 1865).

Wasserkraftanlagen zählen zu den Kraftwerkssystemen mit dem höchsten erzielbaren Erntefaktor bezüglich investierter Energie und erzeugter Energie.

Da die Beschleunigung von Wasser in Rohrleitungen nicht abrupt erfolgen kann, muss ab einer gewissen Leitungslänge ein Wasserschloss angeordnet werden, um eine Wasserkraftanlage überhaupt regulierbar zu machen. Bei Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen wird somit die kinetische Energie des fließenden Wassers vom Einlauf bis zum Wasserschloss in potentielle Energie transformiert. Daraus ergibt sich die grundlegende Auslegung von Wasserschlössern. Der Leitungsbereich vom Wasserschloss zu den hydraulischen Maschinen erfolgt alpin üblicherweise in stahlgepanzerten Rohrleitungen oder Druckschächten. Die Stahlauskleidung ist notwendig, um den statischen und dynamischen Innendruck aufzunehmen. Der dynamische Innendruck ergibt sich aus der Transformation der kinetischen Energie bei Schließ oder Öffnungsvorgängen an den Turbinen. Im Extremfall, bei schnellen Schaltvorgängen, wird die gesamte Fließenergie in Druckenergie umgewandelt (Schließ oder- Öffnungszeit unter der Reflexionszeit der Schallwelle in der Leitung). Dies wird als Druckstoß bezeichnet. Die Situierung eines Wasserschlosses vermindert beträchtlich die Reflexionszeit und ermöglicht daher eine geringere Belastung des Druckschachtes durch den dynamischen Druck. Panzerungsstrecken bis zum Wasserschloss werden ab wenigen hundert Metern bis etwa zweitausend Metern Länge errichtet. Durch die erforderlichen Stahldicken für Innendruck und die zusätzlich zu dimensionierende Auslegung auf äußerlichen Wasserdruck bei Schachtlösungen werden für den Bau große Mengen an hochqualitativem Stahl benötigt. Der Einsatz dieser Ressource in Kombination mit dem Auffahren den Hohlraums und einer Betonauskleidung erfordert eine hohe finanzielle Investition.

In Norwegen wurde aufgrund geologischer Vorteile bereits 1921 der erste unausgekleidete Druckschacht errichtet (Palmström 1987). Druckhöhen und Schachtlängen werden bis auf über 1000 mWS im 20. Jhdt. gesteigert. Aufgrund schwieriger Zugangsbedingungen für den Schacht- und Wasserschlossbau sowie der ursprünglichen Erfordernis eines sehr langen Wasserschlossschachtes wird 1975 die erste große Wasserkraftanlage mit einem Druckluftwasserschloss ausgestattet (Rathe 1975, Brekke 1972).

Die Situierung eines Druckluftwasserschlosses ermöglicht eine direkte Stollenverbindung von der Kraftkaverne zum Reservoir. Das Wasserschloss muss in ausreichender Überdeckung hinsichtlich der minimalen Gebirgsspannung positioniert werden sowie eine ausreichende Dichtheit aufweisen. In Norwegen wird bei einigen Anlagen mit Druckwasserschirmen der Luftverlust entgegen gewirkt (Kjørholt und Broch 1992). Bei der Methode mittels Druckluftwasserschloss wird die Rohrleitungslänge zwischen Turbinen und Wasserschloss minimiert und ermöglicht somit eine sehr geringe erforderliche Länge von Stahlpanzerung. Zusätzlich wird aufgrund der sehr geringen Reflexionszeit der dynamische Druck wesentlich geringer. Durch die tiefliegende Anordnung eines Druckluftwasserschlosses können die auftretenden Krafterwirkungen der Wasserleitungsführung direkt über eine Kraftmitwirkung des Gebirges abgetragen werden.

Besonders bei schnell versperrenden Pumpturbinen kann dadurch die dynamische Belastung der Druckrohrleitung verringert werden. Im Zusammenhang mit einer unausgekleideten Bauweise von Druckstollen konnten somit in Norwegen sehr ökonomische Druckrohrleitungen erstellt werden. Aus der ökonomischen Ressourcenminimierung ergibt sich zudem eine wesentliche ökologische Komponente.

Alpin wird derzeit erfolgreich das Unterwasserwasserschloss des Pumpspeicherkraftwerkes Kops 2 betrieben. Die Luftdichtheit wird hierbei durch eine Stahlpanzerung im luftexponierten Teil des Wasserschlosses gewährleistet. Eine ambitionierte Positionierung eines oberwasserseitigen Druckluftwasserschlosses in alpinen Anlagen erfordert zusätzliche Investition in Forschungsleistungen. Auch müssen für die Anforderungen zukünftiger hochflexibler Hochdruckwasserkraftanlagen weitere, bisher auch in Norwegen nicht berücksichtigte, Herausforderungen gemeistert werden. Diese betreffen ökonomische Befüllzeiten von Druckluft in den Wasserschlossern oder die Auslegung der Kraftwerke auf ungünstige Mehrfachschaltfälle.

Ziel der Untersuchungen ist die Absteckung der bautechnischen Randbedingungen für Triebwasserwege von zukünftigen alpinen Hochdruckwasserkraftanlagen bzw. Pumpspeicherkraftwerken, welche aufbauend auf den erfolgreichen Methoden und Bauwerken in Europa entwickelt werden. Es soll entsprechend des Geistes der Hellenen, nachhaltige Infrastruktur mit geringem CO₂ Einsatz generiert werden. Wesentlich dafür ist die gesellschaftliche Anerkennung großer Bauwerke, die sicher und zum Wohlstand aller betrieben werden können.

Danksagung

Die Autoren Danken der intensiven Forschungszusammenarbeit mit dem *Institutt for vann- og miljøteknikk* (Norwegische Technische Universität in Trondheim), insbesondere Herrn Kaspar Vereide und Prof. Leif Lia. Zudem gilt der Dank dem Rektorat der TU Graz und der Europäischen Union für die Förderung eines Forschungsaufenthaltes in Trondheim. Dank gilt auch Prof. Broch und Dr. Kjørholt für die intensive Diskussion in Norwegen sowie der freundlichen Zusammenarbeit mit den Vorarlberger Illwerken.

Referenzen

Brekke H. *Stability Problems in High Pressure Tunnel Systems in Norwegian Hydro-Electric Power Plants*, International Conference on Pressure Surges 6th-8th September 1972, University of Kent, Canterbury, England

Garbrecht G. *Meisterwerke antiker Hydrotechnik*, Verlag Teubner Zürich 1995

Kjørholt H., Broch E. *The Water Curtain – a Successful Means of Preventing Gas Leakage from High-Pressure, Unlined Rock Caverns*, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 7, No. 2 pp. 127-132, 1992

Palmström A. *Norwegian Design and Construction Experiences of unlined Pressure Shafts and Tunnels*, International Conference on Hydropower, Oslo 1987

Rathe L. *An innovation in surge chamber design*, Water Power & Dam Construction 1975