

Erweiterung des Pumpspeicherwerkes Vianden mit zeitgemäßer Sprengtechnik und geeignetem Servicekonzept

Extension of the pumped-storage hydropower plant in Vianden with state of the art blasting technique including useful services

von Dirk Grothe und Christian Töchterle

In der Projektbeschreibung werden die bergmännischen Arbeiten zur Kapazitätserweiterung im Pumpspeicherkraftwerk Vianden durch eine neue Maschine vorgestellt. Neben einer Erläuterung der Bohr- und Sprengtechnologie einschließlich der Immissionsüberwachung wird auch auf die generelle Bedeutung von Pumpspeicherkraftwerken zur Stabilisierung der Stromnetze eingegangen.

For the extension of the pumped-storage hydropower plant in Vianden by a new machine the miners work will be introduced. In addition to the drilling and blasting technology the monitoring is explained, as well as the general functionality of a pumped-storage hydropower plant in an electric net.

1 Einleitung

1.1 Das PSW Vianden

Im luxemburgischen Vianden, unmittelbar zur deutschen Grenze, befindet sich Europas größtes Pumpspeicherkraftwerk (PSW). Auf Anregung der luxemburgischen Regierung wurde die Société Electrique de l'Our S.A. als Betreiber für das Pumpspeicherkraftwerk Vianden gegründet. Hauptaktionäre sind das Großherzogtum Luxemburg und RWE Power AG mit Sitz in Essen.

Die Inbetriebnahme von 9 Maschinensätzen erfolgte ab 1964 nach 5-jähriger Bauzeit. Bereits 1970 begann die Erweiterung durch eine zehnte, jedoch größere Maschine. Die Maschinen bestehen jeweils aus einer Turbine zur Stromerzeugung und einer Pumpe, um das Wasser vom Unterbecken ins Oberbecken zu pumpen.

1.2 Aufgabe von Pumpspeicherkraftwerken

Die Stromerzeugung in konventionellen Wärme- und Kernkraftwerken zur Deckung der Grundlast verteilt sich bei wirtschaftlichem Einsatz annähernd gleichmäßig über 24 Stunden, während der Energieverbrauch von Industrie, öffentlichen Verkehrsbetrieben und privaten Haushalten dauernd Schwankungen unterliegt. In Zeiten niedrigen Strombedarfs, vornehmlich während der Nachtstunden, müssten die Grundlastkraftwerke zurückgefahren werden. Stattdessen wird die nun zeitweilig verfügbare Überschussenergie aber dazu benutzt, Wasser aus einem unteren Stauraum - Unterwasserbecken - in einen höheren Stauraum - Oberwasserbecken - zu pumpen, um es dort zu speichern.

In Zeiten ansteigenden Energiebedarfs wird das gespeicherte Wasser später über die Turbinen abgefahren, um „hochwertigen“ Spitzenstrom zu erzeugen (Abb. 1). [1]

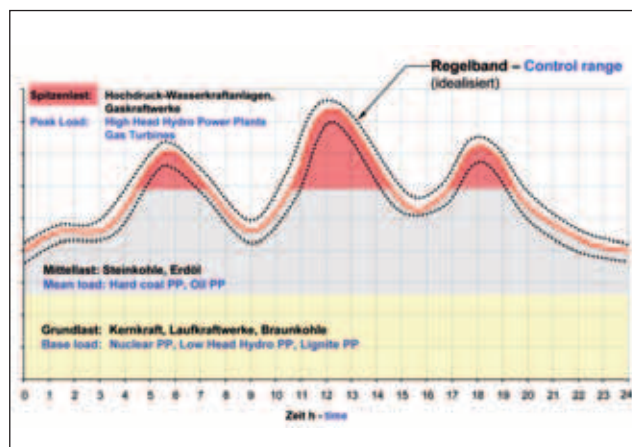


Abb. 1: Darstellung des Regelbandes für Spitzenstrom über 24 Stunden [2]

Während der 38-jährigen Betriebszeit des PSW Vianden haben sich die Einsatzkriterien entsprechend der Entwicklung auf dem Strommarkt geändert. Heute trägt das Kraftwerk Vianden durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie Regel- und Ausgleichsenergie zur Stabilität des Europäischen Stromnetzes bei, indem es für Frequenz- und Spannungsstabilität sowie Versorgungssicherheit sorgt. Modernste PSW's können heute in weniger als 30 Sekunden vom Turbinen- in den Pumpbetrieb umschalten und so vom Stromproduzenten zum Stromverbraucher werden. Sie sorgen somit für ein Gleichgewicht zwischen Stromproduktion und Stromverbrauch im Verbundnetz (Abb. 2).

Mit einer Pendelwassermenge von 6.840.000 m³ und einer Fallhöhe von 280 m ist das Pumpspeicherkraftwerk für einen täglichen Zyklus von 7 1/4 Stunden Pumpbetrieb und 4 1/4 Stunden Turbinenbetrieb ausgelegt. Der Wirkungsgrad der Pumpspeicherung beträgt 75 % [1].

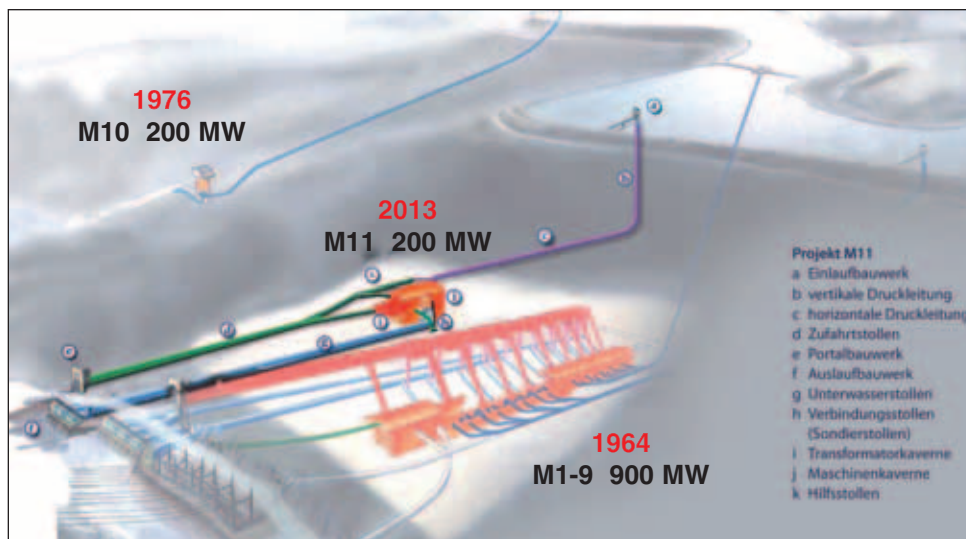


Abb. 2:
PSW Vianden Bestandskraftwerk mit Erweiterungsteil [3]

1.3 Erweiterung PSW Vianden Projektbeschreibung

Die ARGE - Erweiterung PSW Vianden, Los 1 - bestehend aus den Firmen Ed. Züblin AG, Strabag AG und der Jägerbau GmbH - hat den Auftrag erhalten, das bestehende Pumpspeicherkraftwerk um eine neue Kaverne zur Aufnahme einer „11. Maschine“ zu erweitern. Durch diese Erweiterung erhöht sich die Kapazität des PSW von aktuell 1.100 MW auf 1.300 MW. Die neue Maschine nutzt dabei die vorhandenen Ober- und Unterwasserbecken, erhält aber ein eigenes System von Wasserwegen sowie Ein- und Auslaufbauwerke, unabhängig von den bestehenden Anlagen.

Neben dem neu aufzufahrenden Stollensystem für die Wasserwege sowie den Zufahrtswegen besteht das Herzstück der Anlage aus der neuen Maschinenkaverne. Insgesamt sollen Stollen mit einer Gesamtlänge von 1.395 m aufgeföhren werden. Dazu kommen noch die Maschinen- und die Trafokaverne mit einem aufzuföhrenden Volumen von zusammen 74.307 m³. Die Firma MAXAM Deutschland GmbH ist von der ARGE beauftragt worden, für das Projekt die benötigten Zünd- und Sprengmittel zu liefern (Abb. 3).

2 Sprengtechnologie und Dienstleistung

2.1 Produktauswahl

Aufgrund der Komplexität des Projektes, bei der in einer Entfernung von 140 m zu einem Bestandskraftwerk eine neue Maschinenkaverne aufgeföhren werden soll, wurde zwischen der ARGE PSW Vianden, Los 1 und der Firma MAXAM Deutschland GmbH ein separates Servicepaket vereinbart, das über reine Produktlieferungen von Zünd- und Sprengmitteln hinaus geht. So ist die Firma MAXAM z. B. für die Ausarbeitung der Sprengkonzepte für die verschiedenen Vortriebe und den Betrieb der Erschütterungsmessgeräte sowie deren Auswertung während der Vortriebsarbeiten verantwortlich.

Aufgrund der zu erwartenden Abschlagslängen und des daraus resultierenden täglichen Sprengstoffbedarfs hat sich schon in der Vergangenheit bei derartigen Projekten die Verwendung von pumpfähigen Emulsionssprengstoffen als sehr effizient und zielföhrend herausgestellt.

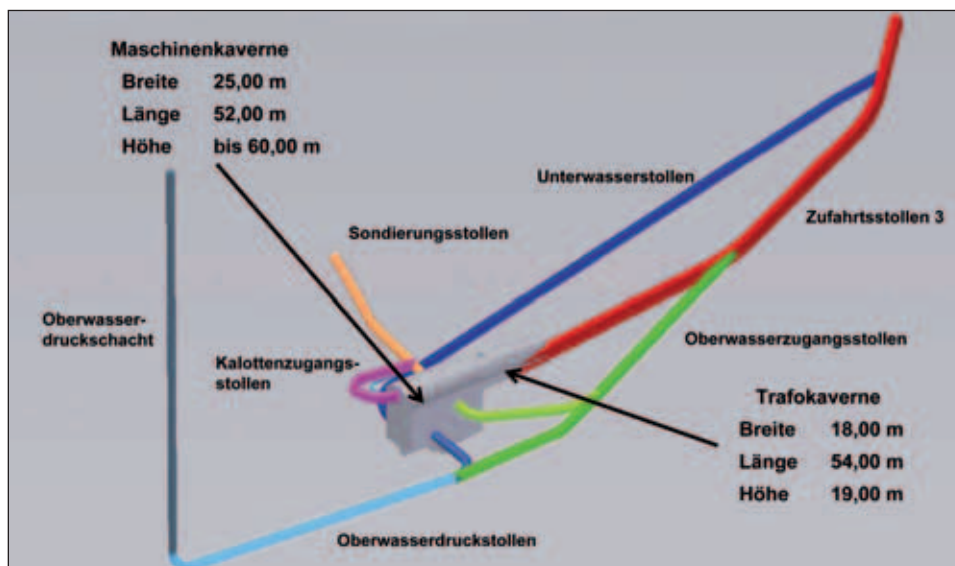


Abb. 3:
Maschinenkaverne mit Wasser- und Zufahrtswegen

Ein weiteres Argument, bei der Erweiterung des PSW Vian den pumpfähige Emulsionssprengstoffe einzusetzen, ist die beschränkte Lagermöglichkeit für Explosivstoffe der Klasse 1.1 D vor Ort. Aufgrund der Enge des Our-Tals und einer in der Nähe liegenden Nationalstraße ist lediglich geplant, zwei Sprengmittellager mit einer zugelassenen Nettoexplosivstoffmasse von jeweils 95 kg aufzustellen.

Als Zündsystem ist der Einsatz nichtelektrischer Zünder vom Typ Rionel/Detinel vorgesehen. Nichtelektrische Zünder sind unempfindlich gegenüber Streuströmen und Fremdelektrizität, was den Arbeiten zur Erweiterung eines bestehenden Kraftwerkes zur Stromerzeugung aus Sicherheitsgründen entgegenkommt.

2.1 Riomex ST - der pumpfähige Emulsionssprengstoff

Beim Einsatz des pumpfähigen Emulsionssprengstoffs Riomex ST entsteht der Sprengstoff durch Chemical Gassing erst beim Ladevorgang aus den Vorprodukten im Bohrloch. Somit folgt nicht die Notwendigkeit, größere Mengen Sprengstoffe in Baustellennähe zu lagern. Neben seiner Leistungsfähigkeit zeichnet sich der Sprengstoff Riomex ST durch eine hohe Viskosität aus, wodurch er unter anderem in ansteigenden oder leicht wasserführenden Bohrlöchern einsetzbar ist. Verpumpt wird er mittels sogenannter Mischladegeräten (MLG), die im Wesentlichen folgende Merkmale aufweisen:

- übersichtliche und kompakte Bauweise
- einfache Handhabung
- äußerst homogene Mischung der Komponenten durch die spezielle Mischtechnik
- hohe Pumpleistung (50 kg/min)
- wahlweise ein oder zwei Ladelinien
- SPS-Steuerung mit Mengenvorwahlen
- hohe Leistungsfähigkeit durch steuerbares Gassingverhalten
- Verwendung einer hochviskosen Emulsionsmatrix
- sauberes und schnelles Arbeiten vor Ort während des Ladevorgangs
- robuste und zuverlässige Maschinenteknik



Abb. 4: Das Mischladegerät auf dem Trägerfahrzeug (MLG)

2.2 Rionel/Detinel - das nichtelektrische Zündsystem

Das nichtelektrische Zündsystem Rionel/Detinel besteht aus Kurzzeitzündern und Langzeitzündern sowie einem Bündelzünder zur Initiierung der Anzündschläuche. Es ist unempfindlich gegenüber Fremdeinflüssen wie Streuströmen und Fremdelektrizität und zeichnet sich durch seine schnelle und einfache Handhabung aus.

Als Verstärkungsladung wird ein Booster vom Typ Rioprime 25 eingesetzt, der so gestaltet ist, dass er zum einen den nichtelektrischen Zünder aufnehmen kann, selber aber in den Ladeschlauch des eingesetzten Mischladesystems passt, wodurch er besonders handhabungsfreundlich ist.

3 Vortriebskonzepte

3.1 Allgemeines

Um während der Vortriebsarbeiten die Maschinen 1 - 9 nicht durch Sprengerschütterungen zu gefährden und um den uneingeschränkten Betrieb des bestehenden Kraftwerkes während der Baumaßnahme sicherzustellen, wurde die maximale Lademenge pro Zündzeitstufe im Vorfeld durch vertragliche Auflagen auf 10 kg beschränkt, wobei eine maximale Gesamtlademenge von 200 kg Sprengstoff vertraglich geregelt nicht überschritten werden sollte. Um dies einhalten zu können, wurde vom Bauherren eine maximale Abschlagslänge von 2,0 m empfohlen.

Vor Aufnahme der Sprengarbeiten wurden für die einzelnen Vortriebe

• Verbindungsstollen	24 m ²	119 m
• Kalottenzugangsstollen	24 m ²	95 m
• Oberwasserzugangsstollen	28 m ²	60 m
• Oberwasserdruckstollen	29 m ²	246 m
• Zufahrtsstollen 3	56 m ²	338 m
• Unterwasserstollen	32 m ²	485 m
• Trafokaverne	16.911 m ³	
• Maschinenkaverne	57.396 m ³	
- Kalotte der Maschinenkaverne	158 m ²	52 m
- Strossen der Maschinenkaverne		Strossenhöhe 5,5 m
• Fluchtstollen	4 m ²	52 m

ausführliche Sprengkonzepte zur Genehmigung durch den Bauherrn eingereicht, die sowohl das Sprengkonzept als auch eine Immissionsbetrachtung für Sprengerschütterungen beinhaltete.

3.2 Vortriebssprengungen mit horizontalen Bohrlöchern

Da die Besprechung aller Vortriebe im Rahmen dieser Ausarbeitung zu umfangreich ist, wird im weiteren Verlauf der bergmännische Stollenvortrieb nur exemplarisch am Beispiel des Kalottenzugangsstollens und der Kalotte der Maschinenkaverne diskutiert.

Bei dem Kalottenzugangsstollen handelt es sich um einen Stollen, der vom Sondier- bzw. Verbindungsstollen ausgeht und auf die Stirnseite der Kalotte der Maschinenkaverne trifft. Sein Querschnitt beträgt 24 m^2 und das Sprengkonzept sieht eine Abschlagslänge von $2,7 \text{ m}$ vor, bei denen maximal $9,0 \text{ kg}$ Sprengstoff pro Zündzeitstufe und 164 kg als Gesamtlademenge eingeplant sind. Nach dem Auffahren des Kalottenzugangsstollens wird, von diesem ausgehend, die Kalotte der Maschinenkaverne aufgefahren.

Die Kalotte hat einen Ausbruchsquerschnitt von 158 m^2 , der in zwei Vortriebsabschnitten aufgefahren werden soll:

- die linke Ulme mit ca. 54 m^2 mittels Vortriebssprengungen und
- die rechte Ulme mit ca. 104 m^2 durch Sprengen abklappen mit einer zusätzlichen Freifläche.

Es ist zu erwähnen, dass das Teilen der Kalotte nicht aus geotechnischen Überlegungen herrührt, sondern ausschließlich der Einhaltung der Erschütterungsanforderungen unter Beibehaltung großer Abschlagslängen geschuldet ist. Sprengtechnisch konnte mit der Teilung der Kalotte im Verhältnis von ca. $1/3$ zu $2/3$ erfolgreich unter Einhaltung der Anhaltswerte für Sprengerschütterungen gearbeitet werden. Organisatorisch erwies sich die linke Ulme mit 54 m^2 jedoch als zu klein, um alle Arbeiten parallel durchführen zu können. So wurde beim weiteren Vortrieb die Kalotte mittig in zwei Abschnitte von jeweils ca. 79 m^2 geteilt, wobei Abschlagslängen von $3,0 \text{ m}$ erzielt wurden, bei denen die eingesetzte Sprengstoffmenge bei bis zu 450 kg pro Sprengung lag.



Abb. 5: Darstellung der mittig geteilten Kalotte der Maschinenkaverne

Der Stollen- und Kalottenvortrieb ähnelt dabei den Sprengarbeiten im herkömmlichen Tunnelbau mit horizontalen Bohrlöchern. Besetzt werden die Bohrlöcher mit pumpfähigem Emulsionsprengstoff, indem der Ladeschlauch ins Bohrlochtiefe eingeführt und mit dem Einpumpen des Sprengstoffs zurückgezogen wird. Initiiert wird der Sprengstoff durch nichtelektrische Zünder mittels Boostern als Verstärkungsladung (Abb. 5).

3.3 Strossensprengungen mit vertikalen Kopfbohrlöchern

Das Auffahren der Maschinenkaverne erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird die Kalotte aufgefahren, um dann die weitere Kaverne mit 7 Strossen von oben nach unten hereinzugewinnen. Das Auffahren der einzelnen Strossen erfolgt dabei wahlweise mit vertikalen Kopfbohrlöchern oder mit horizontalen Bohrungen, abhängig von der jeweiligen Zugänglichkeit und der Möglichkeit, das Ausbruchsmaterial zu fördern.



Abb. 6: Vorbereitung einer Strossensprengung

Beim Auffahren der ersten Strosse ist die Zugänglichkeit über den Kalottenzugangsstollen gewährleistet. Das Sprengkonzept sieht vertikale Kopfbohrlöcher mit einem Bohrlochdurchmesser von 64 mm und einer Tiefe von $5,5 \text{ m}$ vor, was der Strossenhöhe entspricht.

Es ist geplant, Mehrreihensprengungen über die gesamte Breite durchzuführen, wobei beidseitig eine Randstrosse stehen bleibt, die im Anschluss mit horizontalen Bohrlöchern herein gewonnen wird.

Als Sprengstoff wird pumpfähiger Emulsionsprengstoff eingesetzt, der mittels einer Schlagladung gezündet wird. Im Bereich der Randstrosse wird eine Vorspaltsprengung mit Hilfe von Sprengschnur durchgeführt. Hierdurch sind die Standfestigkeit und Profilgenauigkeit der Randstrosse gewährleistet.

Als Zündsystem soll ein frei programmierbarer elektronischer Zünder vom Typ „Riotronic“ eingesetzt werden, mit dem jedes Bohrloch mit einer individuellen Zündzeit einzeln gezündet werden kann, wodurch die Minimierung der Sprengerschütterungen garantiert wird (Abb. 6).

4 Erschütterungsüberwachung

In der Entwurfsplanung sind maximal zulässige Anhaltswerte für Sprengerschütterungen im Bereich des bestehenden Teils des Pumpspeicherwerkes festgelegt. Dies betrifft im Wesentlichen die Maschinensätze und die Trafoanlagen. Zur Überwachung dieser Anhaltswerte wurden vom Bauherrn vier Erschütterungsmessgeräte angefordert.

Mit den dokumentierten Erschütterungsmessungen ist dem Bauherrn der uneingeschränkte Betrieb des Bestandskraftwerks während der Vortriebsarbeiten nachgewiesen worden. Die vertraglichen Vorgaben für die maximale Lademenge pro Zündzeitstufe von 10 kg und die maximale Gesamtladungsmenge von 200 kg pro Sprengung, aus der eine empfohlene Abschlagslänge von 2,0 m resultierte, konnte deutlich erhöht werden.



Abb. 7: Blick in die Maschinenkaverne vom Kalottenzugangsstollen

5 Zusammenfassung

In Vianden wird das bestehende Pumpspeicherwerk durch eine „11. Maschine“ erweitert, die die vorhandenen Ober- und Unterwasserbecken nutzt, aber ein eigenes System von Wasserwegen sowie Ein- und Auslaufbauwerke erhält. Neben dem Stollensystem für die Wasserwege sowie den Zufahrtswegen besteht das Herzstück der Anlage aus der neu aufzufahrenden Maschinenkaverne. Insgesamt werden Stollen mit einer Gesamtlänge von 1.395 m aufgeföhren.

Die Maschinen- und die Trafokaverne haben zusammen ein aufzuföhrendes Volumen von 74.307 m³ (Abb. 7).


Die Vortriebsarbeiten erfolgen bergmännisch mittels Bohr- und Sprengarbeit. Als Zündsystem werden nichtelektrische Zünder vom Typ Rionel/Detinel eingesetzt, die unempfindlich gegenüber Streuströmen und Fremdelektrizität sind. Der pumpfähige Emulsionssprengstoff Riomex ST entsteht durch Chemical Gassing beim Ladevorgang aus den Vorprodukten im Bohrloch. Somit folgt nicht die Notwendigkeit, größere Mengen Sprengstoffe in Baustellennähe zu lagern. Über die Lieferung von Zünd- und Sprengmitteln hinausgehend, ist die Firma Maxam in einem Service-Paket beauftragt, die Sprengkonzepte für die verschiedenen Vortriebe auszuarbeiten und den möglichst uneingeschränkten Betrieb der Anlage während der Vortriebsarbeiten mittels Erschütterungsmessungen nachzuweisen.

Im Zeitraum 12.04.2010 bis 31.03.2011 wurden insgesamt 991 Sprengungen durchgeführt, bei denen 236 t Sprengstoff (233 t pumpfähiger Emulsionssprengstoff Riomex ST und 3,16 t patronierter Emulsionssprengstoff Riohit LS) verbraucht wurden. Gezündet wurde diese Sprengstoffmenge mit 89.200 nichtelektrischen und 3.208 elektronischen Zündern. Durchschnittlich wurden somit pro Zünder 3,64 kg Sprengstoff gezündet.

Literatur

- [1] Vianden Naturpark Our Tourist Center
- [2] Voralbergerger Illwerke AG: Neue Aspekte der Wasserkraft bei den Illwerken, 13. Okt. 2006
- [3] SEO Société Electrique de l'Our: Das Projekt Vianden M11

Anschrift der Autoren:

Dirk Grothe 
 MAXAM Deutschland GmbH
 Gnaschwitzer Str. 4, 02692 Doberschau-Gaußig

Christian Töchterle
 Jägerbau GmbH
 Batloggstr. 95
 6780 Schruns
 Österreich

ARGE
 Erweiterung PSW Vianden, Los 1
 Co SEO Société Electric de l'Our
 Centrale de Vianden, N10
 9401 Vianden, Luxemburg