

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 92 (2000)
Heft: 11-12

Artikel: Kraftwerk Thorenberg, Revision und Sanierung des ältesten schweizerischen Wechselstromkraftwerkes
Autor: Landolt, Franz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940311>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Kraftwerk Thorenberg, Revision und Sanierung des ältesten schweizerischen Wechselstromkraftwerkes

■ Franz Landolt

1. Geschichtlicher Rückblick und technikgeschichtliche Bedeutung

Bereits im frühen Mittelalter wurden die Wasserkräfte der Kleinen Emme genutzt. So betrieb man im Gebiet des heutigen Kraftwerks Thorenberg eine Mühle. Im 19. Jahrhundert wurde diese in eine Eisenhammerschmiede umfunktioniert. Aus der Eisenhammerschmiede entstand ein Eisen- und Stahlwerk. Die Gebrüder Troller, als Betreiber einer Mühle und einer Sägerei in der Fluhmühle bei Luzern, beabsichtigten ihre Betriebe zu elektrifizieren sowie in Luzern die elektrische Beleuchtung einzuführen. Dazu erwarben sie 1884 das Eisen- und Stahlwerk mit der Neumühle Thorenberg inklusive deren Wassernutzungsrechte. Zusammen mit den Unternehmern Theodor Bell, Kriens (Turbine), und Abraham Ganz, Budapest (Wechselstrom-Erzeugungsanlage), bauten die Gebrüder Troller das Kraftwerk Thorenberg, welches im Mai 1886 als erstes schweizerisches Wechselstromkraftwerk seinen Betrieb aufnahm. Das Kraftwerk Thorenberg gilt auch als weltweit das erste Kraftwerk, welches mit einer Wechselstromanlage für grosse Übertragungsstrecken und Transformatoren für verschiedene Endverbraucher ausgerüstet wurde (erstes Kraftwerk mit Primär- und

Sekundärnetz). Mit der elektrischen Anlage Thorenberg nahm somit die Stromversorgung für mehrere Verbraucher ab einer zentralen Erzeugungsanlage ihren Anfang. Sie ist der Beginn der öffentlichen Elektrifizierung in der Schweiz.

Das Kraftwerk Thorenberg wies 1886 folgende Erstausrüstung auf (Bilder 1 und 2):

- Eine Girard-Vertikalturbine von 250 PS (184 kW) trieb eine horizontale Transmissionswelle an.
- Zwei Gleichstrom-Kraftmaschinen, System Thury, von je 50 PS (37 kW) lieferten Kraftstrom für das Mühlen- und Sägewerk der Gebrüder Troller. Die beiden Generatoren wurden mittels Riemen ab der Transmissionswelle angetrieben. In Serie geschaltet, erzeugten sie eine Spannung von 1100 V.
- Zwei Wechselstrom-Lichtmaschinen der Maschinenfabrik Ganz, von je 75 kW, lieferten Lichtstrom. Die Ankopplung an die Transmissionswelle erfolgte durch konische Zahnräder. Die Klemmenspannung betrug 1900 V, die Frequenz 40 Hz. Mittels zwei Doppelleitungen wurde die erzeugte elektrische Energie nach Luzern übertragen. Dort brannte von nun an, zuerst im Hotel Schweizerhof, elektrisches Licht.

Um auch in wasserarmen Zeiten genügend Strom zu erzeugen, wurden 1889

zwei horizontale Kolbendampfmaschinen mit einer Leistung von 150 und 200 PS (110 und 147 kW) eingebaut. Diese trieben mittels Riemen die vorhandene Transmissionswelle an.

1893 wurde das KW Thorenberg mit einer Jonval-Vertikalturbine der Firma Bell erweitert. Diese hatte eine Leistung von 600 PS (442 kW). Der direkt angekoppelte Einphasengenerator von Brown Boveri lieferte bei 2500 V, 50 Hz, eine Leistung von 400 kW.

1897 kaufte die Stadt Luzern das Kraftwerk Thorenberg. Das Elektrizitätswerk Luzern wurde gegründet und Viktor Troller, als ehemaliger Mitbesitzer des KW Thorenberg, dessen erster Direktor.

Da die Stadt Luzern mit dem Bau des Kraftwerks Obermatt bei Engelberg ab 1905 über genügend Strom verfügte, verkaufte sie 1917 das KW Thorenberg an die Eisenwerke Von Moos.

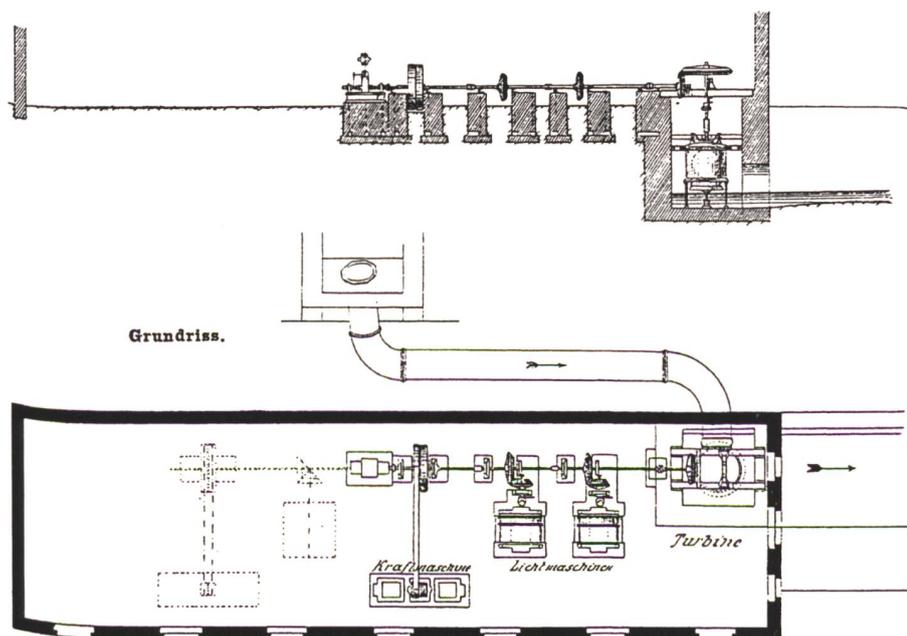
Im Winter 1929/30 wurden das Kraftwerk Thorenberg einer Totalrevision unterzogen und die heutige Maschinengruppe, eine Francisturbine mit Drehstrom-Synchrogenerator, eingebaut.

1973/74 erfolgte der Einbau einer automatischen Stauklappe mit Gegengewicht am Emmen-Wehr. Ebenfalls wurden der Turbinenregler ersetzt und eine neue Drosselklappe vor der Turbine eingebaut.

1997 kaufte die Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg AG (EWLE) das KW Thorenberg zurück.

2. Das Kraftwerk, sein Zustand und sein Betrieb vor der Sanierung

Beim Kraftwerk Thorenberg handelt es sich um ein typisches Kanalkraftwerk. Das Betriebswasser wird im Gebiet Schachenheim in der Gemeinde Malters von der Kleinen Emme gefasst. In einem rund 2000 m langen, offenen Oberwasserkanal wird das Wasser zur Zentrale Thorenberg geleitet. Die dort installierte Francisturbine wird nach dem Pegelstand des Oberwasserkanals vor dem Einlauf in die Druckleitung mittels Schwimmer geregelt. Eine automatische Entlastungsklappe öffnet bei zu grossem Anstieg dieses Pegels. Das Wasser schießt dann über den seitlichen Überfall an der Zentrale vorbei. Ein rund 600 m langer Unterwasser-



Bilder 1 und 2. Disposition der Kraftwerksanlage aus dem Jahre 1886.

kanal mündet bei der Littauer Allmend in die Kleine Emme und gibt ihr das Betriebswasser zurück.

2.1 Stauwehr und Wasserfassung

Die Anlage besteht aus einer 25,60 m breiten und 1,20 m hohen Stauklappe, welche durch ein Gegengewicht in einem Schwimmerschacht wasserhydraulisch geregelt wird, und einer Spülklappe von 5,95 m Breite und 1,30 m Höhe. Die Stauklappe kann zusätzlich mittels einer hydraulischen Zugpresse mit Motorantrieb manuell verstellt werden. Die Spülklappe ist mit einer Kettenwinde angetrieben und nur manuell verstellbar. Diese beiden Klappen erlauben die Konstanthaltung des Staupegels bis zu einer Wasserführung von rund 100 m³/s in der Kleinen Emme. Eine gleichmässige Wasserentnahme ist dadurch bis zu dieser Wasserführung gewährleistet. Die Zulaufmenge in den Oberwasserkanal kann durch Handverstellen von zwei Einlaufschützen gedrosselt werden, wenn die Wasserführung in der Kleinen Emme weiter zunimmt oder der Oberwasserkanal durch die einmündenden Seitenbäche des Littauer Berges zu stark gespiesen wird. Das Einlaufbauwerk selbst befindet sich auf der linken Flussseite. Zwei Kiesschwellen verhindern das Eindringen von Geschiebe. Ein Grobrechen hält grösseres Treibgut wie Baumstämme und Äste ab. Der Kanalabschnitt zwischen Einlaufbauwerk und Einlaufschützen kann durch Öffnen einer Spülschütze gereinigt werden. Sämtliche Klappen und Schützen der Fassung sind motorisiert, jedoch ausser der grossen Gegengewichtsstauklappe nicht automatisiert. Die Bedienung erfolgt durch das Betriebspersonal von Hand. Der bauliche Zustand der Anlagen ist gut.

2.2 Oberwasserkanal

Der Oberwasserkanal ist im oberen Teil in die Talebene abgetieft. Im unteren Teil bildet das linke Ufer die Talflanke des Littauer Berges, das rechte Ufer ein Erddamm. Die Böschungen sind mehrheitlich in Steinrollierungen ausgeführt. Die Kanalböschungen sind an mehreren Stellen abgerutscht und sanierungsbedürftig. Mehrere linksseitige Seitenbäche speisen zusätzlich den Kanal, was bei zunehmender Wasserführung eine Drosselung der Zulaufmenge durch die Einlaufschützen erfordert.

2.3 Zentrale und elektro-mechanische Ausrüstung

Das Gebäude stammt aus dem Jahre 1886 und wurde beim Einbau der heutigen Maschinengruppe 1929 umgebaut. Es weist mehrere Risse auf, welche auf frühere Setzungen

zurückzuführen sind. Das Gebäude bedarf einer dringenden Sanierung.

Vom rund 7 m höher gelegenen Einlaufbauwerk wird das Betriebswasser über eine Stahldruckleitung von 2,0 m Durchmesser der Turbine zugeführt und über das Saugrohr an den 7 m tiefer liegenden Unterwasserkanal zurückgegeben. Der Einlauf weist einen Grob- und einen Feinrechen auf. Der zum Feinrechen gehörende Kettenreiniger ist ersatzbedürftig. Als Sicherheitsorgan ist vor der Turbine eine Drosselklappe eingebaut. In der Zentrale ist eine horizontalachsige Francis-Spiralturbine der Maschinenfabrik Bell, Kriens, installiert. Mit einem Schluckvermögen von 6,5 m³/s und einer Bruttofallhöhe von 14,1 m erbringt diese eine Leistung von 787 kW.

Der direkt angekoppelte Dreiphasen-Synchrongenerator der Firma BBC weist bei einer Klemmenspannung von 3700 V eine Scheinleistung von 1000 kVA auf. Die Gruppe dreht mit einer Tourenzahl von 214 U/min. Trotz ihres Alters läuft die Maschinengruppe ruhig.

Der Maschinentrafo musste 1996 infolge eines Windungsschlusses durch einen neuen ersetzt werden. Dieser speist die erzeugte Energie über eine Freileitung ins 6,4-kV-Mittelspannungsnetz der Von Moos Stahl AG ein. Die Schaltanlagen sind in offener Bauweise ausgeführt und aus Sicherheitsgründen zu erneuern.

Die Leistungsregelung der Turbine erfolgt nach dem Pegelstand des Oberwassers vor dem Einlauf in die Druckleitung. Der Pegelstand wird mit einem Schwimmer gemessen und mittels eines Stahlseils mechanisch dem hydromechanischen Turbinenregler übermittelt. Die Maschinenautomatik in Relais-technologie wurde über die Jahre mehrmals umgebaut und ergänzt. Die ältesten Elemente stammen aus dem Jahre 1929. Sie weist drei unterschiedliche Steuerspannungen auf und ist zu ersetzen. Ebenfalls ersatzbedürftig ist der elektromechanische Maschinenschutz.

2.4 Unterwasserkanal

Der Unterwasserkanal ist als Trapezquerschnitt in die Talebene abgetieft. Die Böschungen bestehen teilweise aus Beton, teilweise aus Steinrollierungen. Ihr Zustand ist in Ordnung.

3. Revision und Sanierung

3.1 Variantenstudien

Nach dem Rückkauf des KW Thorenberg durch die Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg AG (EWLE) wurden mögliche Sanierungsvarianten geprüft. Eine Stilllegung des Kraftwerkes stand aus politischen Gründen nicht zur

Diskussion. Zudem hätte eine Stilllegung hohe Renaturierungskosten zur Folge gehabt. Die örtlichen Verhältnisse liessen auch kein grundsätzlich neues Anlagenkonzept zu. Unter diesen Voraussetzungen ergaben sich die folgenden Varianten:

Variante 1

Einbau einer neuen Maschinengruppe (Kaplan-Rohrturbine) unter Beibehaltung der bestehenden Ausbauwassermenge von 7 m³/s. Beibehaltung und Reparatur der restlichen Anlagenelemente.

Erwartete Ausbauleistung: 830 kW

Erwartete mittlere, jährliche Energieproduktion: 5,95 Mio. kWh

Variante 2

Einbau einer neuen Maschinengruppe (Kaplan-Rohrturbine) und Erhöhung der Ausbauwassermenge auf 10,5 m³/s. Erweiterung der restlichen Anlagenelemente für die erhöhte Ausbauwassermenge.

Erwartete Ausbauleistung: 1240 kW

Erwartete mittlere, jährliche Energieproduktion: 7,61 Mio. kWh

Variante 3

Revision und Sanierung der Kraftwerksanlagen inklusive der bestehenden Maschinengruppe.

Ausbauleistung: 787 kW

Mittlere, jährliche Energieproduktion: 4,2 Mio. kWh (Mittelwert aus den Jahren 1976 bis 1995)

Nach der Sanierung erwartete mittlere, jährliche Energieproduktion: 4,8 Mio. kWh

3.2 Wasserrechtskonzession und Bewilligungen im Hinblick auf die Erneuerungsvariante

Die heute gültige Wasserrechtskonzession für das KW Thorenberg wurde 1944 durch den Kanton Luzern an die Eisenwerke Von Moos erteilt. Diese läuft auf die Dauer von 80 Jahren bis im Jahre 2024. Gemäss dem Wasserbaugesetz des Kantons Luzern bedingt jede wesentliche Änderung der Bauten und Anlagen eine Neukonzession mit Auflage- und Einspracheverfahren. Eine Konzessionsübertragung ist möglich, wenn Gewähr für eine einwandfreie Ausnützung derselben besteht und der Übertragung kein öffentliches Interesse entgegensteht. Eine Neukonzession wäre demnach nur für Variante 2 wegen der grösseren Ausbauwassermenge notwendig. Variante 1 könnte ohne Neukonzession, lediglich unter Einhaltung der behördlichen Baubewilligung ausgeführt werden, da die konzessionierten Rahmenbedingungen unverändert bleiben. Wegen der hohen Investitionen bei Variante 1 würde sich jedoch eine Neu-

konzession für eine längere Nutzungsdauer (Amortisation) seitens des Betreibers aufdrängen. Für Variante 3 ist nur die Übertragung der bestehenden Konzession notwendig.

3.3 Wahl der Sanierungsvariante

Auf Grund des guten mechanischen Zustandes der Maschinengruppe, der konzessionsrechtlichen Gegebenheiten sowie der Unsicherheiten wegen der bevorstehenden Öffnung des Elektrizitätsmarktes fiel der Entscheidung auf die Variante 3 «Revision und Sanierung der bestehenden Kraftwerksanlagen».

Mit dieser Sanierung sind folgende Ziele zu erreichen:

- Das Kraftwerk muss mindestens bis zu seinem Konzessionsende im Jahre 2024 zuverlässig weiter betrieben werden können.
- Ein effizienter, kostengünstiger Betrieb und Unterhalt müssen erreicht werden.
- Die neuen Bestimmungen über die Restwassermengen gemäss dem Gewässerschutzgesetz aus dem Jahre 1992 sind zu berücksichtigen.
- Das äussere Erscheinungsbild soll möglichst beibehalten werden und auf die technikgeschichtliche Bedeutung des Kraftwerkes hinweisen.
- Die Produktionskosten haben sich nach der Sanierung im Rahmen vergleichbarer Kleinkraftwerke (rund 10 Rp./kWh) zu bewegen.

3.4 Revision und Sanierung

3.4.1 Stauwehr und Wasserfassung

Wegen des guten Zustandes der aus dem Jahre 1974 stammenden Anlage waren lediglich punktuelle Revisionen und zur Automatisierung notwendige Anpassungen auszuführen. So wurden die Klappen und Schützen mit Stellungsgebern versehen (Rückführsignale), Pegelmesssonden in der Kleinen Emme und am Kanaleinlauf installiert sowie der Kettenantrieb zur Spülklappe durch einen regulierbaren Hydraulikantrieb ersetzt. Zur besseren Geschwemmselabweisung wurde die Tauchwand modifiziert.

3.4.2 Oberwasserkanal

Die Sanierung der abgerutschten Steinrollierungen erfolgte durch Einsetzen von Steinkörben. Eine Reparatur lediglich der Schadstellen konnte mit dieser Technik sehr gut ausgeführt werden, da der Übergang zu den gesunden Böschungspartien problemlos zu bewerkstelligen war (Bild 3).

3.4.3 Zentralengebäude

Das Zentralengebäude wurde baulich vollständig saniert. Die Fassadenrisse konnten durch Einzementieren von Verbindungsnet-



Bild 3. Zur Reparatur der abgerutschten Böschungen des Oberwasserkanals werden Steinkörbe eingesetzt (links).



Bild 4. Das Zentralengebäude wurde farblich wieder in seinen ursprünglichen Zustand versetzt und weist auf die technikgeschichtliche Bedeutung des Kraftwerks Thorenberg hin (rechts).

zen aus Kunststoff repariert werden. Das Gebäude erhielt durch entsprechende Farbgebung wieder seinen ursprünglichen Zustand und weist so auf die technikgeschichtliche Bedeutung dieses Pionierkraftwerkes hin (Bild 4).

3.4.4 Maschinengruppe

Die Francisturbine wurde komplett demontiert und einer eingehenden Revision unterzogen. Das 70-jährige Laufrad, in dem die Stahlblechschaufeln noch in Nabe und Kranz eingegossen waren, wurde durch ein solches mit eingeschweissten Laufschaufeln ersetzt (Bild 5). Ebenfalls ausgewechselt wurden sämtliche Leitschaufeln und deren Lagerung auf fettfreien Betrieb umgebaut. Somit ist gewährleistet, dass kein Öl oder Fett mehr mit dem Betriebswasser in Berührung kommen kann. Am lagerseitigen Leitradring wurden bei der Demontage grosse Auswaschungen festgestellt. Die Sanierung erfolgte durch Ein-

setzen eines Panzerringes. Das Spiralgehäuse wurde einer kompletten Rissprüfung unterzogen. Einzelne Stellen mussten nachgeschweisst werden. Der Korrosionsschutz an Spiralgehäuse, Turbine und Saugrohr wurde komplett erneuert. Eine zusätzlich eingebaute Saugrohrbelüftung verbessert das Kavitationsverhalten der Turbine. Ebenfalls auf Risse wurde die Turbinenwelle untersucht. Die Lagerschale des Turbinenlagers wurde ersetzt und deren Axialspur mit beweglicheren Gleitsteinen ausgerüstet. Gleichzeitig erfolgte der Einbau einer zeitgemässen Überwachungseinrichtung für die Öl- und Metalltemperatur des Lagers.

Der aus dem Jahre 1973 stammende hydromechanische Turbinenregler sowie die gleichaltrige Drosselklappe wurden revidiert und schadhafte Teile daran ersetzt.

Der Generator samt Wicklung und die dazugehörige Erregermaschine befanden sich weitgehend im Originalzustand von

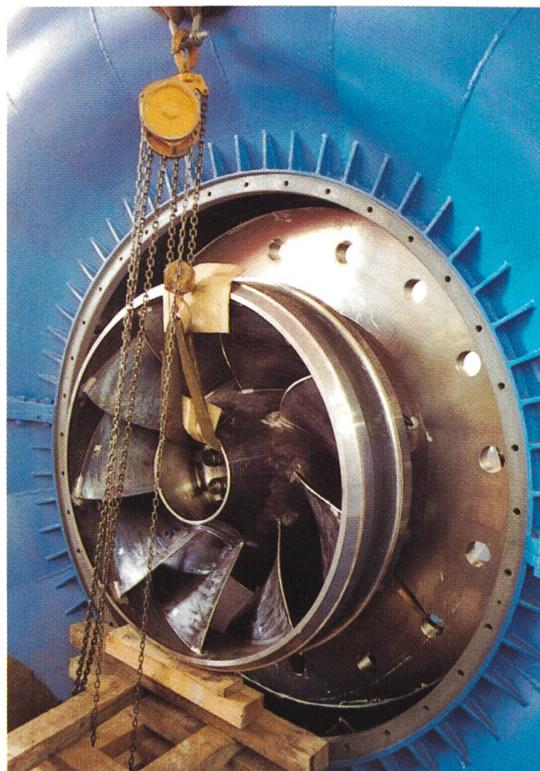


Bild 5. Die Turbinenwelle mit dem neuen Francis-Laufrad wird in die Einlaufspirale eingebaut.



Bild 6. Die neue Generatorstatorwicklung wird in aufwendiger Handarbeit in die Nuten eingelegt.

1929. Anhand einer vorgängig durchgeführten Diagnoseuntersuchung am Generator wurden die notwendigen Sanierungsmassnahmen abgeklärt. Während die elektrischen Messungen der Isolationswiderstände als gut beurteilt werden konnten, ergab die optische Begutachtung massive Alterungerscheinungen, wie rissige und spröde Isolationen, lose Bandagen und Abstützungen. Keine Schäden waren am Statorgehäuse, am Blechpaket und am Polrad feststellbar. Es zeigte sich, dass mit einer herkömmlichen Revision und Reinigung die geforderte Betriebstüchtigkeit nicht wieder hergestellt werden konnte.

Deshalb entschloss man sich für eine komplette Neuwicklung des Stators, eine Neuisolierung der Rotorpolspulen sowie eine Revision an den beiden Generatorleitlagern und an der Erregermaschine. Da es sich bei der Statorwicklung um eine heute nicht mehr übliche Durchzugwicklung handelt, musste diese in aufwendiger Handarbeit in die Nuten eingelegt werden (Bilder 6 und 7).

Auf Grund des geringen Alters und weil sich dessen Betriebsverluste im heute üblichen Rahmen bewegen, wurde der Maschinentrafo weiter verwendet. Es waren lediglich dessen Oberspannungswicklung von 6,4 kV auf die Mittelspannung der Städtischen Werke Luzern von 10 kV umzuwickeln und die Schaltgruppe anzupassen. Die Maschinengruppe wird neu in Blockschaltung mit dem 10-kV-Schalter als Generatorschalter betrieben.

3.4.5 Einlaufbauwerk und Druckleitung
Der Einlauf in die Druckleitung mit Grob- und Feinrechen blieb unverändert. Statt des alten Kettenreinigers säubert jetzt eine moderne, hydraulische Teleskop-Rechenreinigungsmaschine den Feinrechen. Die automatische Entlastungsklappe wurde revidiert und auf ihr sicheres Funktionieren überprüft. An der Druckleitung wurde lediglich der Korrosionsschutz erneuert (Bild 8).

3.4.6 Maschinensteuerung und -überwachung

Dem Steuer- und Überwachungskonzept lagen die folgenden Bedingungen zugrunde:

- Die Steuerung/Überwachung ist für einen automatischen und unbemannten Betrieb auszulegen.
- Das KW Thorenberg ist ab der Leitstelle Steghof in Luzern mittels einer Fernwirkverbindung zum vorhandenen Leitsystem zu überwachen.
- Um die Datenflut klein zu halten, sind vorwiegend Sammelalarme zu übermitteln, welche vor Ort durch die Maschinenüberwachung aus auftretenden Einzelalarmen generiert werden.
- Sämtliche Einzelalarme sind vor Ort detailliert anzuzeigen.
- Vor Ort muss die Maschinengruppe automatisch oder im Einzelschrittverfahren gestartet und gestoppt werden können.
- Das KW Thorenberg hat ausschliesslich im Parallelbetrieb mit dem 10-kV-Netz der Städtischen Werke Luzern zu arbeiten (kein Inselbetrieb).

Die Maschinenautomatik wurde dazu komplett erneuert. Eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) übernimmt die Start-, Stopp- und Notabschaltsequenzen.

Ebenfalls übernimmt diese SPS die Sammelalarmbildung sowie die Telegramm-Ankoppelung ans Leitsystem der Städtischen Werke Luzern. Eine zusätzliche Fernwirk-Unterstelle war nicht nötig, was zu wesentlichen Einsparungen führte. Die lokale Alarmanlage wurde mit standardmässigen Störmeldemodulen realisiert.

Als Einzelapparate wurden Spannungs- und Leistungsfaktorregler sowie das Synchronisiergerät in die Maschinenautomatik eingebunden. Der vorhandene hydromechanische Turbinenregler mit seiner Schwimmerregulierung und seinem Drehzahlpendel wurde beibehalten und konnte problemlos in die Maschinenautomatik integriert werden. Ebenfalls beibehalten wurde die vorhandene Überdrehzahl-Schutteinrichtung. Der elektrische Maschinenschutz wurde vollständig ersetzt. Zum Einsatz kamen elektronische Einzelrelais, welche folgende Schutzfunktionen abdecken:

- zweistufiger Überstrom-Zeitschutz als Kurzschlusschutz;
- thermischer Überlastschutz;
- Rückleistungsschutz;
- Über- und Unterspannungsschutz;
- Über- und Unterfrequenzschutz;
- Netzentkopplung bei Netzausfall;
- einfacher Stator-Erdschlusschutz (Spannungsrelais im Generatorsternpunkt).

3.4.7 Steuerung und Regulierung der Wasserfassung und des Wehres

Die Kleine Emme kann als Wildbach bezeichnet werden. Das direkte Einzugsgebiet der beiden Hauptflüsse Kleine Emme und Waldemme weist eine Fläche von 451 km² auf. Da in diesem Einzugsgebiet ein ausgleichender See fehlt, ist die Wasserführung starken, von



Bild 7. Das 11 Tonnen schwere Generatorpolrad wird nach der Neuisolierung und Revision wieder ins Zentralengebäude eingebracht.



Bild 8. Kraftwerkseinlauf mit neuer Rechenreinigungsmaschine und seitlichem Überfall zur Wasserentlastung bei zu hohem Kanalpegel.

den jeweiligen Niederschlägen abhängigen Schwankungen unterworfen.

Während die mittlere, jährliche Abflussmenge $14,5 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt, können enorme Abflussspitzen auftreten:

- zweijährliches Ereignis: $225 \text{ m}^3/\text{s}$;
- zehnjährliches Ereignis: $355 \text{ m}^3/\text{s}$;
- hundertjährliches Ereignis: $490 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bei solchen Hochwassern führt die Kleine Emme entsprechend viel Schwemmmaterial wie Kies, Sand, Baumstämme, Äste und Wurzelstöcke mit.

Die Wassermenge, welche an mehr als 347 Tagen im Jahr überschritten wird, beträgt bei der Wasserfassung Schachenheim $2,72 \text{ m}^3/\text{s}$. Somit ist eine Restwassermenge von $1 \text{ m}^3/\text{s}$ über das Wehr abzuleiten, um das aus dem Jahre 1992 stammende Gewässerschutzgesetz einzuhalten.

Die bisher manuell betriebene Wasserentnahme wurde automatisiert. Die Wehranlage ist dazu mit einer Regulierung ergänzt worden, welche nun einen sicheren und selbständigen Betrieb der Wasserfassung gewährleistet. Folgende Verbesserungen wurden erzielt:

- optimale Entnahme der konzidierten Wassermenge;
- Einhalten der gesetzlichen Restwassermenge (Restwasserdotierung bei Niedrigwasser) in der Kleinen Emme;
- Überflutungsschutz des Oberwasserkanals durch automatische Drosselung der Zulaufmenge im Hochwasserfall;
- schnelle Geschwemmselabweisung durch entsprechende Steuerung der Schützen;
- Übermittlung von Pegelständen, Stör- und Gefahrenmeldungen nach der Leitstelle Steghof in Luzern;
- notfallmässiges Schliessen der Einlauf-

schützen und Öffnen von Stau- und Spülklappe ab der Leitstelle Steghof.

Mittels mehrerer voneinander abhängiger Regelkreise wurde das folgende Regelprinzip realisiert:

- Der Staupegel wird, ausser bei Hochwasser, auf einem konstanten Stauziel von $468,61 \text{ m ü.M.}$ gehalten.
- Wasserführung in der Kleinen Emme unter $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Stillstand des KW Thorenberg): Sobald die Maschinengruppe 20% ihrer Leistung unterschreitet, stellt sie ab. Die beiden Einlaufschützen schliessen so weit, dass nur noch wenig Wasser zur Sicherung des Fischbestandes in den Kanal fliesst. Der Staupegel wird durch einen geregelten Abfluss über die Spülklappe gehalten.
- Wasserführung in der Kleinen Emme von $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Teillastbereich): Die beiden Einlaufschützen fahren so auf einen Öffnungswert, dass zusammen mit der Restwasserdotierung über die Stau- und Spülklappe der Staupegel von $468,61 \text{ m ü.M.}$ gehalten wird. Dabei übernimmt die Spülklappe mit ihrem neuen Hydraulikantrieb die Feinregulierung. Unterschreitet das Dotierwasser die Menge von $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, schliessen die Einlaufschützen um eine Stufe. Überschreitet das Dotierwasser $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$, öffnen die Einlaufschützen um eine Stufe. Steigt der Pegel am Ende des Oberwasserkanals beim Kraftwerk durch ein Anschwellen der Seitenbäche zu stark an, wird die Öffnung der Einlaufschützen übergeordnet reduziert (Bild 9).
- Wasserführung in der Kleinen Emme grösser als $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Volllastbereich): Die beiden Einlaufschützen fahren auf einen, vom Wasserstand im Oberwasserkanal abhängigen Öffnungswert. Dieser Öffnungs-

wert wird zusätzlich reduziert, wenn der Pegel am Ende des Oberwasserkanals zu stark ansteigt. Damit erfolgt eine Drosselung des Wasserzulaufes am Wehr, wenn der Kanal wegen der einmündenden Seitenbäche einen zu hohen Wasserstand aufweist. Die Regelung des Aufstaus in der Kleinen Emme übernehmen bis zu ihrer maximalen Öffnung die Stau- und Spülklappe des Wehres. Der Stau kann so bis zu einer Wasserführung von rund $125 \text{ m}^3/\text{s}$ gehalten werden. Ab $125 \text{ m}^3/\text{s}$ sind Stau- und Spülklappe ganz offen. Eine weitere Zunahme der Wasserführung bewirkt ein Ansteigen des Pegels in der Kleinen Emme über das Stauziel hinaus. Bis zu einer Kote von $469,10 \text{ m ü.M.}$, was einer Wasserführung von etwa $170 \text{ m}^3/\text{s}$ entspricht, ist ein sicherer Betrieb des KW Thorenberg möglich. Bei einem weiteren Anstieg des Pegels müssen die Einlaufschützen geschlossen werden, damit ein Überlaufen des Oberwasserkanals sowie Schäden an den Anlagen vermieden werden. Die Maschinengruppe stoppt dann selbständig, wegen des fehlenden Wasserzuflusses, beim Unterschreiten von 20% ihrer Nennleistung.

Die ganze Regelung ist hardwaremässig mit einer baugleichen speicherprogrammierbaren Steuerung realisiert worden wie die Steuerung und Überwachung der Maschinengruppe. Die beiden SPS sind zwecks Datenaustausch miteinander seriell gekoppelt.

3.5 Resultate nach Inbetriebnahme und Probetrieb

Sämtliche Sanierungsarbeiten konnten innerhalb von sechs Monaten ausgeführt werden. Ermöglicht wurde dies dank einer exakten, planerischen Vorarbeit sowie eines klar strukturierten Bauablaufes, welcher ein gleichzeitiges Arbeiten an den verschiedenen Anlagenteilen zuließ. Der stillstandsbedingte Produktionsausfall beschränkte sich dadurch auf ein absolutes Minimum (Bild 10).

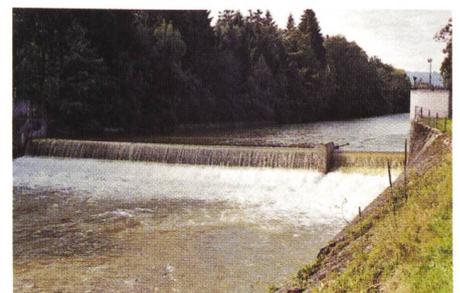


Bild 9. Wehr Schachenheim flussaufwärts mit Gegengewichts-Stauklappe links und Spülklappe rechts. Über die kleinere Spülklappe erfolgt bei geringer Wasserführung die Restwasserdotierung.

Nach der problemlosen Wiederinbetriebnahme zeigte sich, dass die gesetzten Ziele der Sanierung vollumfänglich erreicht wurden. Dies war insbesondere durch die exakte Wahl der Schnittstellen zwischen bestehenden Anlageteilen und neu einzubauenden Komponenten möglich. Die erwartete Jahresproduktion von 4,8 Mio. kWh liegt um 0,6 Mio. kWh über dem Mittelwert der letzten Jahre und scheint problemlos möglich zu sein, ja sogar übertroffen zu werden. Auch zeigte sich die Richtigkeit der gewählten Sanierungsvariante. Die Maschinengruppe erreicht ihre Nennleistung bei rund 75% der Turbinenöffnung. Eine Leistungssteigerung wäre durchaus möglich, da durch die Neuwicklung des Generators auch dieser eine höhere Belastung zuliesse. Der «Engpass» liegt jedoch in der «Zulaufkapazität» des zwei Kilometer langen Oberwasserkanals, was bei den durchgeführten Lastversuchen zutage trat. Die Leistungssteigerung von rund 100 kW oder 14% und eine jährliche Mehrproduktion von 1,75 Mio. kWh mit dem Einbau einer neuen Maschinengruppe unter Beibehaltung der restlichen Anlageteile (Variante 1) war sicher zu optimistisch angenommen worden. Die hohen Investitionen hätten sich nur schwer amortisiert. Die ausgeführte Sanierungsvariante 3 erlaubte zudem, die Kosten in Grenzen zu halten. So resultieren, dank der erreichten Produktionssteigerung, Gestehungskosten von 9,5 Rp./kWh, wenn mit einer Nutzungsdauer von 24 Jahren bis zum Konzessionsende gerechnet wird. Rechnet man mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren, resultieren gar weniger als 8 Rp./kWh. Dies ist für ein Kleinwasserkraftwerk, welches sich mitten in einem Versorgungsgebiet befindet, ein äusserst attraktiver Betrag.

4. Fazit

Die gelungene Sanierung des Kraftwerks Thorenberg zeigt, dass auch in die Jahre

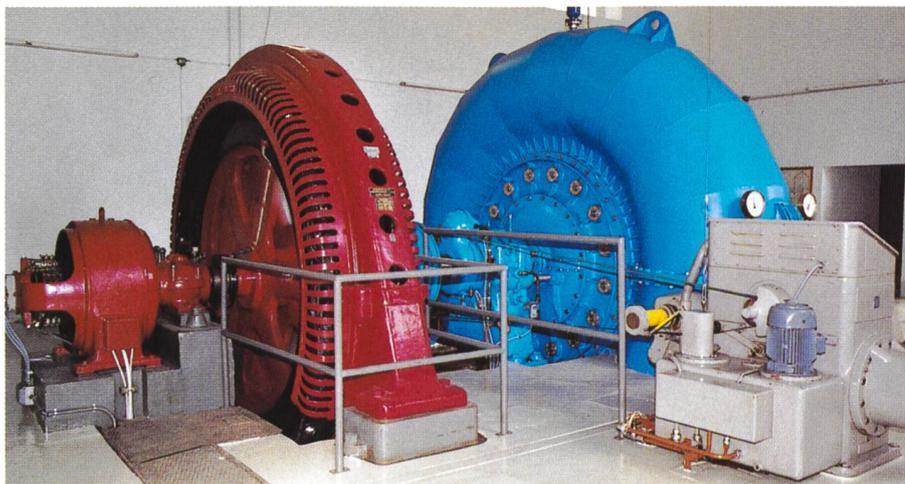


Bild 10. Sanierte Maschinengruppe mit Erregermaschine, Synchrongenerator, Francis-Spiralturbine und hydromechanischem Turbinenregler (Reihenfolge von links).

Kraftwerk Thorenberg

Am Projekt Beteiligte

Bauherrschaft	Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg AG 6002 Luzern
Gesamtplanung und Bauleitung	Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg AG Abt. Leitstelle und Kraftwerke 6002 Luzern
Turbine	VA Tech Escher Wyss AG 6010 Kriens
Generator	Gebrüder Meier AG 8105 Regensdorf
Maschinenrafo	Rauscher & Stöcklin AG 4450 Sissach
Schaltanlage	Alstom AG Mittelspannungstechnik 5034 Suhr
Netzbau, Kabelarbeiten	Städtische Werke Luzern Bau Elektrizität 6002 Luzern
Maschinensteuerung, Wehrregulierung	Esatec AG 8201 Schaffhausen
Wehrklappen, Schützen	K. Lutz & Co. 8603 Schwerzenbach
Rechenreinigungsmaschine	Fäh Maschinen- und Anlagenbau AG 8750 Glarus
Korrosionsschutz	Marty Korrosionsschutz AG 8808 Pfäffikon
Baumeisterarbeiten	Riva & Schmid Bau AG 6004 Luzern
Malerarbeiten	Maler Kantor 6014 Littau
Türen, Fenster	Zimmerwerk der Stadt Luzern 6005 Luzern

gekommene Kraftwerksanlagen durch eine gezielte Verbindung von gut erhaltener Substanz und heutigen Technologien zuverlässig weiterbetrieben werden können. Der geschickte Einsatz von modernen Regel- und Steuergeräten erlaubt, bestehende Anlagen optimaler zu betreiben und die Umweltverträglichkeit an vorhandenen Wehranlagen, ohne bauliche Eingriffe, massgeblich zu verbessern. Mit solch sanften Sanierungsmethoden ist gar eine Erhöhung der Strompro-

duktion möglich. Das Kraftwerk Thorenberg hat durch die gewählte Erneuerungsvariante seinen Charme und seinen altherwürdigen Charakter behalten, bleibt ein Zeuge der Industriegeschichte und wird weiterhin sauber und nachhaltig elektrische Energie zu konkurrenzfähigen Gestehungskosten erzeugen.

Literatur

Leu, B.: Die elektrische Anlage in Thorenberg bei Luzern, in «Schweizerische Bauzeitung», Zürich, 18. September 1886.

Hug, Pia; Schurtenberger, Pia: Die Geschichte des Kraftwerks Thorenberg, in: Von Moos-Nachrichten, März 1976.

Hodel, Fabian: Versorgen und Gewinnen. Die Geschichte der unternehmerisch tätigen Stadt Luzern, Luzern 1997.

Bärtschi, Hans-Peter: Littau LU, Kraftwerk Thorenberg. Technikgeschichtliche Dokumentation und Wertung, Winterthur 1999.

Wyssling, Walter: Die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren, Zürich 1946.

Adresse des Verfassers

Franz Landolt, dipl. El.-Ing. HTL, Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg AG, Abt. Leitstelle und Kraftwerke, Industriestrasse 6, CH-6002 Luzern.