

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 92 (2001)

Heft: 2

Artikel: Neue Herstellungstechnologie für Peltonräder

Autor: Casanova, Claudio / Capatt, Hans-Peter / Bleiker, Ulrich

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855657>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.04.2026

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

Erneuerung der Anlagen der Kraftwerke Zervreila (KWZ)

Neue Herstelltechnologie für Peltonräder

Die KWZ praktizieren die zustandsorientierte Instandhaltung. Sofern keine Mängel an den Turbinenrädern feststellbar sind, ist der Wirkungsgrad das wichtigste Kriterium für Instandhaltungsmassnahmen. Bei der kürzlichen Erneuerungsphase konnten Leistung und Wirkungsgrad beträchtlich erhöht werden. Bei den Erneuerungen im Turbinenbereich wurde für die Peltonräder eine weltweit neue Herstelltechnologie gewählt. Als Ausgangsmaterial dienten geschmiedete Scheiben, aus denen die Becher aus dem Vollen gefräst wurden. Um jederzeit den Wirkungsgrad der Maschinen messen zu können, wurde eine Ultraschall-Durchflussmessung installiert.

■ Claudio Casanova, Hans-Peter Capatt und Ulrich Bleiker

Grosses Speicherkraftwerk in Graubünden

Die Kraftwerke Zervreila haben im Jahre 1949 ihr erstes Werk Rabiusa-Realta in Betrieb genommen. Acht Jahre später, nämlich Ende 1957, begann die Stromproduktion mit dem grossen dreistufigen Werk.

Als erstes grosses Kraftwerk, das nach dem Zweiten Weltkrieg mit mehreren Stufen in Graubünden gebaut wurde, deckte es zu Beginn etwa 5% des schweizerischen Elektrizitätsverbrauches. Heute etwas mehr als 1%.

Die Anlagen wurden solide gebaut und fachmännisch instand gehalten, so dass die Kraftwerke Zervreila über alle Jahre eine hohe Verfügbarkeit aller Anlagen ausweisen können.

Die Kraftwerksanlagen wurden mit gezielten Investitionen in den letzten

zehn Jahren ertüchtigt und auf den neuesten technischen und betrieblichen Stand gebracht. Mit der Erneuerung der Anlagen in der Zentrale Rothenbrunnen wurde die Erneuerungsphase im Jahr 2000 abgeschlossen.

8,2% mehr Leistung

Die Leistung der Anlagen wurde von 245 MW auf 265 MW oder 8,2% erhöht. Damit und durch die Änderung und Erhöhung der Wirkungsgradkurve können mit derselben Wassermenge und ohne das Schluckvermögen der Anlagen zu ändern rund 20 000 MWh mehr produziert werden, was dem Jahresbedarf von rund 7000 Haushaltungen entspricht.

Die wichtigsten Treiber für die Innovationen sind Marktveränderungen und technologischer Fortschritt. Die bevorstehende Strommarktliberalisierung

bringt für die Elektrizitätswirtschaft gewaltige Veränderungen am Markt mit sich. Wo immer Erneuerungen angezeigt sind, ist es deshalb von hoher Bedeutung, die Technologiefortschritte zu nutzen. Dies gilt im Besonderen für die Wasserkraftwerke (Produktion).

Mit der Erneuerung und Ertüchtigung der Kraftwerksanlagen wurden die Werterhaltung (Substanzerhaltung der Anlagen), eine Optimierung der Energieproduktion und eine höhere Effizienz im Betrieb und in der Instandhaltung angestrebt. Die gesamte Erneuerung wurde von der Kraftwerkleitung selber projektiert und umgesetzt. Spezialwissen wurde von Fall zu Fall extern eingekauft.

Als wichtigste Erneuerungsarbeiten wurden ausgeführt:

- Neue Turbinenräder in den Zentralen Safien, Rothenbrunnen und Realta

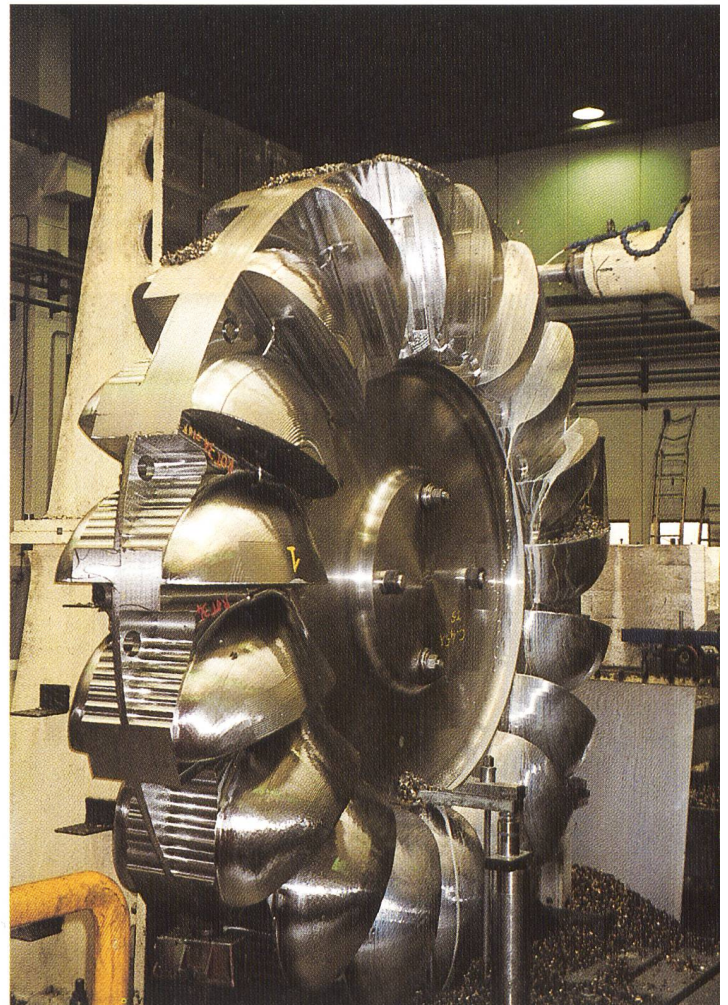


Bild 1 Peltonrad aus geschmiedeter Scheibe, aus der die Becher mit hoher Präzision gefräst wurden (CNC-Fräsarbeiten).

Adresse der Autoren
Kraftwerke Zervreila AG (KWZ)
7405 Rothenbrunnen

Claudio Casanova, dipl. El.-Ing. ETH,
lic. oec. publ., Geschäftsleiter KWZ
Hans-Peter Capatt, dipl. El.-Ing.,
Leiter Technik und Betrieb KWZ
Ulrich Bleiker, Projektleiter und Zentralenchef
Rothenbrunnen

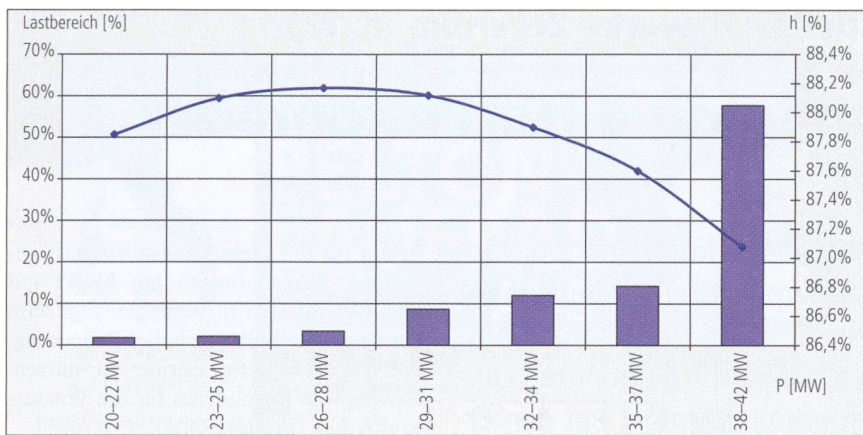


Bild 2 Wirkungsgradmessungen in einem Leistungsbereich von 20 bis 42 MW (Referenzmessungen).

- Neue Leitapparate in Safien
- Neue Turbinenwellen in Rothenbrunnen
- Ersatz der Signalkabel durch Lichtwellenleiterverbindungen zu allen Zentralen
- Vollautomatisierung der vier Kraftwerkszentralen und aller mechanischen Teile der Aussenanlagen
- Zusammenfassung in einer zentralen Leitstelle
- Ersatz der Signalkabel in den Zentralen
- Neubeschaffung von Strom-, Spannungs- und Leistungswandlern
- Sanftantriebssystem für die Pumpenmotoren in Zervreila, basierend auf neuester Wechselrichtertechnik.

Die Realisierung der Erneuerungsprogramme erlaubt einen effizienteren Einsatz der Mitarbeiter, insbesondere in der

Instandhaltung. In dieser Sparte wurden die Fachkompetenz erhöht und die Aufwendungen dafür wesentlich gesenkt. Die Kraftwerke Zervreila gehören nun zu den Speicherkraftwerken in den Alpen mit einer der besten Performance, damit haben sie eine überzeugende Ausgangslage geschaffen, um im zukünftigen liberalisierten Strommarkt bestehen zu können.

Technische Innovationen erhöhen die Wettbewerbschancen

Bei den Erneuerungen im Turbinenbereich wurde für die Peltonräder eine weltweit neue Herstelltechnologie gewählt. Anstelle der gegossenen Räder, die bezüglich Qualitätskontrolle und Instand-

haltung noch verschiedene Mängel aufweisen, wurden als Ausgangsmaterial geschmiedete Scheiben gewählt, aus denen nachher die Peltonbecher mit einer hohen Präzision gefräst wurden (Bild 1). Diese Herstelltechnologie, die sich schon bei den thermischen Turbinen bewährt hat, wurde erstmals bei Wasserkraftturbinen angewandt. Es bringt auch für die Instandhaltung ins Gewicht fallende Einsparungen, indem die zustandsorientiert notwendige Arbeit um einige Jahre zurückgestellt werden kann.

Mit dem Umbau der Maschinen wurden auch ein Durchflussmesssystem und eine permanente Wirkungsgradmessung eingebaut. Die Messung beider Grössen erlaubt den Zustand der Turbinen zu kontrollieren.

Neue Herstelltechnologie für Peltonräder, angewandt für die Erneuerung von sieben Turbinenrädern für die Zentrale Rothenbrunnen der KWZ

Die Zentrale Rothenbrunnen bildet die unterste Stufe der Kraftwerke Zervreila, welche die Zuflüsse des Valserrheins sowie der Rabiusa im Safiental verarbeitet. Sie war ausgerüstet mit drei eindüsigen Zwillings-Peltonturbinen von je 40 MW Leistung.

Die Turbinenräder der Zentrale Rothenbrunnen waren seit der Betriebsaufnahme im Jahre 1957 im Einsatz. Infolge von abrasionsbedingtem Verschleiss wurde ein markanter Abfall des Wirkungsgrades festgestellt. Um einer weiteren Verschlechterung entgegenzutreten, hätten in absehbarer Zeit bei allen Rädern umfangreiche Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden müssen.

Bild 2 zeigt anteilmässig auf, in welchem Bereich die Maschinen bisher betrieben wurden. Wie aus der Grafik ersichtlich ist, überwiegt der Betrieb im Volllastbereich, 38 bis 42 MW, wo der Wirkungsgrad am schlechtesten ist.

Wegen dieser unbefriedigenden Ausgangslage entschied man sich für die Anschaffung von sieben neuen Turbinenrädern unter Berücksichtigung der folgenden Punkte:

- Verlagerung des optimalen Wirkungsgrades in Richtung der Lastschwerpunkte.
- Leistungserhöhung um 10%, wobei 45 MW als verbindlicher Wert festgelegt wurden
- Diese Vorgaben sind nur durch eine Neuauslegung der Laufräder, das



heisst ohne Änderungen an Düsenhüten, Gehäuse oder Servomotor, zu realisieren.

Es wurden verschiedene Herstellmethoden für die neuen Turbinenräder angeboten. Ausser konventionellem Konverter-Stahlguss und dem bekannten Microguss® bot eine Unternehmung als Variante und als **technische Neuheit aus Vollmaterial gefräste Räder** an. Diese weltweit erstmals angewandte Herstellungsmethode bietet den Vorteil, dass der Rohling vor dem Bearbeiten sehr hoch vergütet werden kann. Dieser Umstand wird sich in erhöhter Kerbschlagzähigkeit und somit auch in sehr günstigem Abrasionsverhalten auswirken. Ausserdem kann der Rohling vor dem Bearbeiten in allen Dimensionen und mit verschiedenen Methoden geprüft werden, wodurch allfällige Defizite in der Materialqualität zum Voraus ausgeschlossen sind. Zudem ist von Vorteil, dass bei einer späteren Instandstellung (zum Beispiel Auftragschweissungen) das Rad mit demselben Fräsprogramm bearbeitet werden kann. Damit erreicht man wieder den ursprünglichen Zustand.

Für die Montage der Räder wurden hydraulisch vorgespannte Befestigungsbolzen eingesetzt, was beim Kupplungsflansch gewisse Abmessungen und Dimensionen voraussetzte.

Detaillierte Untersuchungen und Nachrechnungen der Wellenflansche, welche auch auf Grund festgestellter Risse in den Keilbahnpartien veranlasst wurden, führten zum Entschluss, auch die Wellen aller Maschinen zu ersetzen.

Als Vergleich zwischen den verschiedenen Angeboten sowie auch als Garantiewert wurde ein auf die Betriebsverhältnisse der KWZ abgestimmter, gewichteter Wirkungsgrad herangezogen. Dieser wurde wie folgt berechnet: $\eta_{\text{gewichtet}} = 0,1 \cdot \eta_{(30\text{MW})} + 0,1 \cdot \eta_{(33\text{MW})} + 0,2 \cdot \eta_{(36\text{MW})} + 0,3 \cdot \eta_{(40\text{MW})} + 0,3 \cdot \eta_{(42\text{MW})}$.

Vor allem die Vorteile eines aus dem Vollen gefrästen Turbinenrades gaben schliesslich den Ausschlag, dass der Auftrag für die Lieferung von zwei neuen Turbinenrädern mit der Option für die Lieferung von fünf weiteren Rädern beim Erreichen der Garantiewerte an die FRAVIT Srl in Valmadrera (Lecco) vergeben wurde. Mit der Lieferung und dem Austausch der neuen Turbinenwellen sowie der Lieferung der hydraulisch vorgespannten Befestigungsbolzen wurden die ABB Kraftwerke in Birr beauftragt. Das Gesamtvolumen dieser beiden Aufträge belief sich auf rund 4,5 Mio. Franken.

Als neutrales Institut für die Durchführung der vertraglich festgelegten, ther-

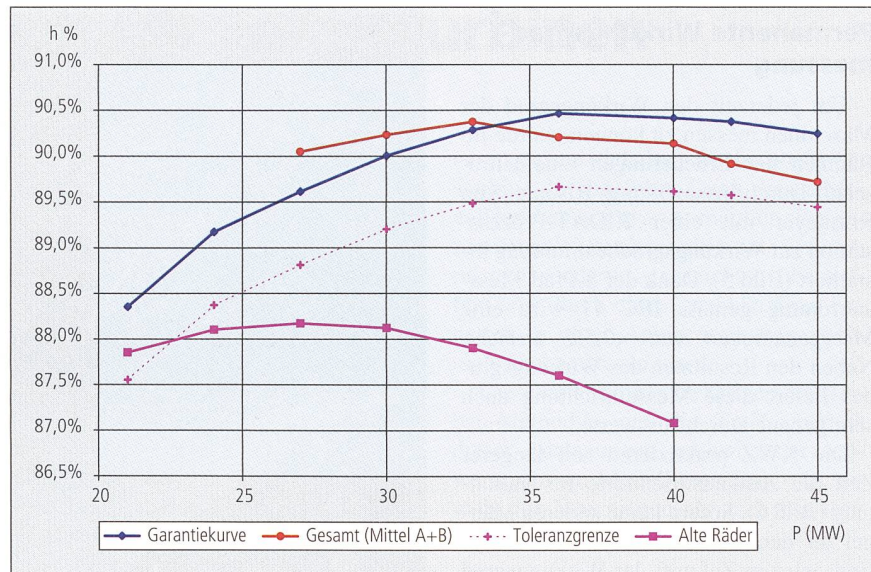


Bild 4 Vergleich der thermodynamischen Wirkungsgradmessungen an den alten und neuen Peltonrädern der Produktionsgruppe 2.

modynamischen Wirkungsgradmessungen als Garantiemessung sowie der Durchführung einer vorgängigen Referenzmessung wurde die Verbundplan GmbH in Salzburg bestimmt. Der mit dem Radlieferant ausgehandelte Vertrag basierte auf einem Bonus/Malus-System, wobei nach Rücksprache mit dem Messinstitut ein Toleranzband von $\pm 0,8\%$ (entsprechend der Messgenauigkeit) festgelegt wurde. Bei einer allfälligen Unterschreitung des garantierten, gewichteten Wirkungsgrades von mehr als 1,4% hätten die Räder zurückgewiesen werden können.

Die Lieferung der ersten beiden Räder erfolgte termingemäss im Frühjahr 1999, also rund 18 Monate nach der Auftragserteilung. Eingebaut wurden diese im Rahmen der Gesamterneuerung der Maschi-

nengruppe 2, welche ausser dem angesprochenen Ersatz der Wellen auch den Ersatz von Steuerung, Schutz- und Leittechnik sowie weiterer Komponenten wie Hydraulikölpumpen usw. umfasste.

Unmittelbar nach der Inbetriebnahme der Gruppe wurde im Mai 1999 eine thermodynamische Wirkungsgradmessung durchgeführt. Die von Lieferanten garantierten Werte wurden sowohl bezüglich Leistung (45 MW) als auch bezüglich Wirkungsgrad in allen Punkten erreicht. Gegenüber der Referenzmessung ergab sich eine Erhöhung des gewichteten Wirkungsgrades von rund 2,7% (Bild 4).

Nach diesen positiven Ergebnissen wurde auch die Option für die Lieferung der weiteren fünf Räder eingelöst. Diese wurden im Frühjahr und im Herbst 2000 in den Gruppen 3 und 1 eingebaut.

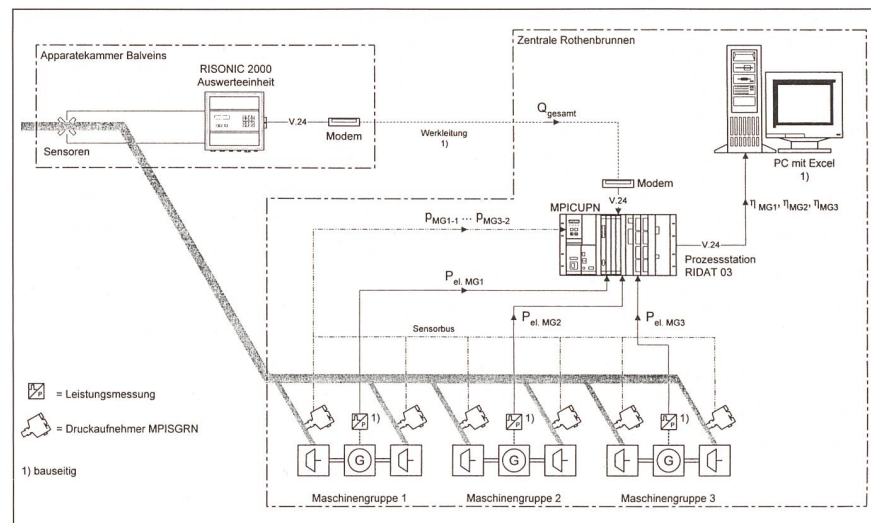


Bild 5 Anordnung der Rittmeyer Durchfluss- und Wirkungsgradmessung.

Permanente Wirkungsgradmessung

Um jederzeit den Wirkungsgrad der Maschinen messen zu können, wurde im Rahmen der Erneuerungen eine Ultraschall-Durchflussmessung Risonic von Rittmeyer mit einer RIDAT-Prozessstation zur Wirkungsgradbestimmung installiert (Bild 5). Dank der 8-Pfad-Messanordnung gemäss IEC 41 wird eine Messgenauigkeit von $<0,5\%$ erreicht. Neben den Resultaten des Wirkungsgrades liefert diese Messeinrichtung auch sehr genaue Durchflusswerte.

Die KWZ praktizieren seit längerer Zeit die zustandsorientierte Instandhaltung (Bild 6). Sofern keine anderen Mängel an den Turbinenrädern feststellbar sind, wird in Zukunft der Wirkungsgrad das wichtigste Kriterium sein, welches über eine Instandhaltungsmassnahme entscheiden wird.

Erste Erfahrungen zeigen, dass dieses Messsystem zuverlässige und gut reproduzierbare Messwerte liefert.

Die Betriebsdauer der ersten zwei Turbinenräder erreichte bis Ende November 2000 je rund 7000 Stunden. Der garantierte Wirkungsgrad blieb unverändert. Der Betrieb der Maschinengruppen ist vibrationsarm, da die Peltonräder keine Unwucht aufweisen. Es wurden weder Kavitationserscheinungen noch Abrasion festgestellt. Daraus lässt sich schon heute ableiten, dass die hohen Erwartungen an die geschmiedeten und gefrästen Peltonräder bezüglich Sicherheit, Leistung und Wirtschaftlichkeit voll erfüllt werden.

Bild 6 Die Anlagen wurden solide gebaut und fachmännisch instandgehalten, so dass die Kraftwerke Zervreila über alle Jahre eine hohe Verfügbarkeit aller Anlagen ausweisen können (im Bild Stauanlage Zervreila/GR).



Renouvellement des installations des centrales Zervreila Nouvelle technologie pour la fabrication de roues Pelton

Les KWZ pratiquent la maintenance basée sur l'état. Si l'on ne constate aucun défaut sur les rotors de turbine, le rendement est le principal critère pour prendre des mesures de maintenance. Lors de la récente étape de renouvellement on a ainsi augmenté considérablement la puissance et le rendement. Pour moderniser les roues de la turbine Pelton, on a choisi une technologie de fabrication nouvelle au monde. Le matériau de base est constitué de disques forgés dans lesquels on a fraisé les augets dans la masse. Pour mesurer en tout temps le rendement des machines, on a installé un système industriel de mesure du débit à ultrasons.