

# Die Auslegung der Generatoren für das Wasserkraftwerk Bieudron

Autor(en): **Howald, Walther**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **89 (1997)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940202>

## **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.

# Die Auslegung der Generatoren für das Wasserkraftwerk Bieudron

Walther Howald

Die Staumauer im Val des Dix im Kanton Wallis, Schweiz, erlaubt es, 400 Millionen Kubikmeter Wasser zu speichern. Um speziell im Winter vermehrt hochwertige elektrische Energie zur Spitzenlastdeckung liefern zu können, wird die hydroelektrische Anlage der Grande Dixence SA um das Kavernenkraftwerk Bieudron erweitert. ABB liefert hierfür drei durch Peltonturbinen angetriebene 465-MVA-Synchrongeneratoren mit vollständiger Wasserkühlung. Die dauernd zulässige Überlast beträgt 500 MVA bei  $\cos \varphi$  0,84. Mit 35,7 MVA pro Pol und einer Nenndrehzahl von 428,6 Umdrehungen pro Minute sind dies die weltgrößten Wasserkraftgeneratoren.

Die Generatoren für Bieudron sind vertikalachsige, dreiphasige Synchrongeneratoren, ausgelegt für die Lieferung von Spitzenenergie und angetrieben durch fünfdüsige Peltonturbinen mit einer Leistung von 423 MW. Die Generatoren haben eine Leistung von je 465 MVA bei einer Drehzahl von 428,6 Umdrehungen pro Minute. Sie sind im Stator und Rotor wassergekühlt und wiegen je 800 Tonnen.

Die wesentlichen Daten der Anlage sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Das Konstruktionskonzept für diese recht grossen Generatoren basiert auf umfangreichen Studien. Es hat sich gezeigt, dass es möglich ist, solche grossen, aus Turbine und Generator bestehende Gruppen mit nur zwei Lagern auszuführen. Die gewählte Konstruktion stützt sich auf Messungen und Betriebserfahrungen an ähnlichen Generatoren. Die zehnjährige Erfahrung des Generatorherstellers mit Schrägarmen und schrägen Federelementen gibt die Sicherheit für einen zuverlässigen Betrieb dieser völlig wassergekühlten Generatoren.

## Die wesentlichen Konstruktionsmerkmale

Jede der drei Synchronmaschinen ist zweilagrig ausgeführt. Ein Führungslager befindet sich oberhalb des Stators, eines unterhalb. Das für die Aufnahme der Last aller rotierenden Teile in Höhe von rund 540 Tonnen ausgelegte Traglager ist mit dem oberen Führungslager kombiniert.

Tabelle 1. Kennzahlen des Wasserkraftwerkes Bieudron.

Projektdaten	
Maximale Bruttofallhöhe	1883 m
Totale Nennwassermenge	75 m <sup>3</sup> / s
Maximale Leistung der Anlage	1180 MW
Dauer der Arbeiten	6 Jahre
Anlagekosten	ca. 1 Mrd. Fr.
Technische Daten	
Anzahl Kugelschieber	3
Durchmesser eines Kugelschiebers	1,4 m
Gewicht eines Kugelschiebers	120 t
Anzahl an fünfdüsigen Peltonturbinen	3
Leistung einer Pelton turbine	423 MW
Durchmesser eines Peltonrades	4,65 m
Gewicht eines Peltonrades	28 t
Wassergeschwindigkeit am Düsenaustritt	690 km/h
Anzahl an dreiphasigen Synchrongeneratoren	3
Nennleistung	465 MVA
Nenndrehzahl	428,6 1 / min
Gesamtgewicht eines Generators	800 t
Anzahl an dreiphasigen Blocktransformatoren	3
Nennleistung eines Transformators	465 MVA
Übersetzungsverhältnis eines Transformators	21 / 410 kV

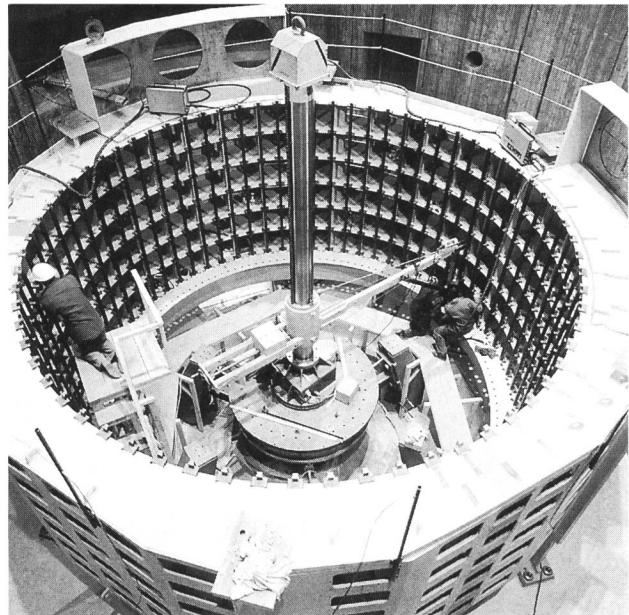


Bild 1. Statormontage Gruppe 3 in der Kavernenzentrale Bieudron (Foto H. Preisig, 10. Januar 1997).

Die Kupplung zwischen der Generatorwelle und der Pelton turbine befindet sich unmittelbar unterhalb des unteren Führungslagers. Das obere kombinierte Trag- und Führungslager gehört zum Lieferumfang der ABB Schweiz. Das untere Führungslager wird zusammen mit dem unteren Wellenende und der Turbine vom Konsortium Sulzer Hydro/Hydro Vevey geliefert.

Aufgrund der grossen Dimensionen und Gewichte kann der Generator weder im Herstellerwerk als Einheit montiert noch in fertigen Komponenten zur Montage in die Zentrale geliefert werden. Die Maschinen müssen am Aufstellungs-ort zusammengestellt werden. Da zudem der Lagerplatz in der Kaverne begrenzt ist, sind umfangreiche Planungen des Transport- und Montageablaufes erforderlich, um einen reibungsfreien Ablauf der Montage zu gewährleisten.

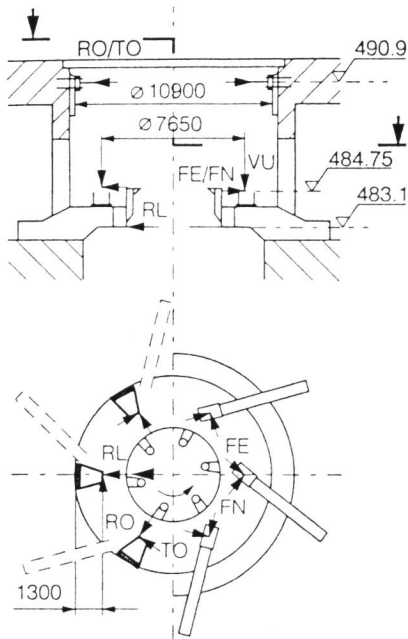
Die wesentlichen technischen Daten der Generatoren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

## Der Stator

Das Statorgehäuse in geschweisster Ausführung und mit schrägen Federelementen versehen ist dreiteilig und wird in der Generatorgrube zusammengeschweisst. Es stützt sich direkt auf dem Turbinengehäuse ab. Das Blechpaket aus 0,5 mm starken verlustarmen Magnetblechsegmenten wird im Gehäuse aufgeschichtet. Das Blechpaket, das

Tabelle 2. Technische Daten der Wasserkraftgeneratoren.

Nennleistung	465 MVA
Leistung pro Pol	33,2 MVA
Überlast dauernd	500 MVA
Nennspannung	21 kV $\pm$ 10 %
Nennstrom	12 784 A
Leistungsfaktor	0,9 / 0,84
Frequenz	50 Hz $\pm$ 2 %
Nenndrehzahl	428,6 1 / min
Durchbrenndrehzahl	800 1 / min
Trägheitsmoment	1500 tm <sup>2</sup>
Gewicht des Stators	281 t
Gewicht des Rotors	454 t
Axialkraft auf das Traglager	5189 kN
Kühlsystem:	
Statorwicklung	Reinwasser
Rotorwicklung	Reinwasser
Statorblechkörper	Rohwasser



Störfall	Auf tretende Kräfte in kN					
	RO	TO	FE	FN	VU	RL
Durchbrenndrehzahl, Wuchtgüte Q 2.5	150 ± 70	25 ± 10	40	40	1500	± 160
Durchbrenndrehzahl mit zusätzlicher Unwucht	150 ± 500	25 ± 80	40	40	1500	±1040
bei Resonanzdurchgang der Turbine (70kg)	150 ± 790	25 ± 140	40	40	1500	±3150
Polrad-Doppelerdschluß und Schnellentregung	150 ± 210	25 ± 35	40 ± 590	40	1500	± 640
Fehlsynchronisation 2-polig	-	-	±4510	±105	1500	-
2-phasiger Klemmenkurzschluß	-	-	±1145	± 66	1500	-

Tabelle 3. Bei Störfällen an Hydrogeneratoren auftretende Kräfte.

ohne Ventilationsschlitze oder Trennungen eingelegt wird, hat den Vorteil einer hohen mechanischen Festigkeit bei geringeren Eisenverlusten.

Die Statorwicklung ist als zweilagige Roebelstabwicklung ausgeführt, isoliert mit ABB-Micadur-Isolation, einer der Isolationsklasse F entsprechenden vakuumimprägnierten Epoxydharzisolation. Bei einer Maschinenspannung von 21 kV ist es notwendig, die Stäbe an ihrer Oberfläche mit einem besonderen Koronaschutz zu versehen, um im Wickelkopf eine gleichmässige Potentialverteilung zu erreichen.

Durch mitverröbelte Hohlleiter im Stab fliesst Wasser, das für die erforderliche Kühlung der Windung sorgt. Die vielfach ausgeführte und bewährte Wasserkühlung von Statorwicklungen bei Wasserkraftgeneratoren basiert auf den umfangreichen Erfahrungen und Kenntnissen, die bei ABB für wassergekühlte Statorwicklungen von Turbogeneratoren gewonnen werden konnten.

### Der Rotor

Die Materialbeanspruchung bei der Durchbrenndrehzahl des Generators und die Beanspruchung des Wellenstranges während einer Störung, wie beispielsweise Klemmenkurzschluss, Synchronisationsfehler oder doppelter Rotorerdschluss, erfordern eine hohe Biegesteifigkeit des Wellenstranges. Unter keinen Umständen darf der Rotor am Stator streifen. Diese hohe Biegesteifigkeit wird erreicht, indem man den Rotor dreiteilig ausführt, und zwar mit einem Zentralkörper und zwei angeflanschten Wellenenden. Auf den Zentralkörper werden vier geschmiedete Stahlringe aufgekeilt, auf denen die 14 lamellierten Pole mittels Keilnuten verankert werden. Die Polspulen werden aus gezogenen Hohlkupferleitern geformt. Entionisiertes Wasser durchfliesst die Hohlleiter im Betrieb und kühlt die Polspule. Die Dämpferstäbe sind auf beiden Seiten der Pole in Kupfersegmente eingelötet. Die Segmente sind untereinander verbunden, wodurch eine geschlossene Dämpferwicklung entsteht.

### Die Lager

Der ruhige Lauf des Generators im gesamten Drehzahl- und Betriebsbereich hängt weitgehend von der stabilen La-

geranordnung ab. Der patentierte Lagerstern mit Schrägarmen sichert einen konstanten Schmierpalt im Lager während des Überganges vom kalten zum warmen Betriebszustand trotz der temperaturbedingten Ausdehnung der Lagerarme. Dank dieser Anordnung werden auch keine zusätzlichen thermisch bedingten Druckkräfte auf das Fundament ausgeübt. Durch entsprechende Dimensionierung der Armquerschnitte erhält der Schrägarmstern die erforderliche Steifigkeit. Die Verbindungen zum Fundament werden so gestaltet, dass die betriebsbedingte Erwärmung, die eine Längenänderung des Stators verursacht, die Steifigkeit der Lagerung nicht beeinflusst.

Das Traglager ist als Kippsegmentlager (Kingsburytyp) mit einer Lauffläche aus Weissmetall ausgeführt. Die Lagersegmente ruhen auf einzelnen Tragplatten mit zentraler Abstützung. Die Last pro Segment ist mess- und einstellbar.

Das Führungslager, ebenfalls ein Kippsegmentlager, ist am Aussenrand des Traglagers angebracht. Es ist als selbstpumpendes Lager ausgeführt, das das Schmieröl für das kombinierte Lager durch die ausserhalb der Generatorgrube angebrachten Öl-Wasserkühler pumpt.

Die auf das Fundament wirkenden Kräfte setzen sich zusammen aus dem Gewicht der Gruppe, den aus der Wärmedehnung im Betrieb resultierenden Kräften, dem Moment bei Betrieb und zusätzlich aus den bei Störungen auftretenden Kräften und Momenten. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die bei denkbaren Störungen auftretenden Kräfte.

### Die Kühlung

Die Kühlung der Generatoren erfolgt durch Wasser. Die Stator- sowie die Rotorwicklung werden von entionisiertem Wasser durchflossen. Unbehandeltes Rohwasser kühlt den Rücken des Statorblechpaketes.

Das Kühlwasser für die Statorwicklung fliesst von der Aufbereitungsanlage zum Sammelrohr am oberen Wickelkopf. Von dort aus wird es auf die einzelnen Wasserkreisläufe, aus jeweils vier hydraulisch hintereinander geschalteten Statorstäben bestehend, verteilt.

Vom Austritt jeden Kühlkreises fliesst das Wasser in ein zweites Sammelrohr und von dort zurück über Wasser-

Wasserkühler in die Aufbereitungsanlage. Dabei wird die Austrittstemperatur jedes einzelnen Kühlkreises überwacht.

Das Kühlwasser für die Rotorwicklung wird über einen elastisch am oberen Wellenende angebrachten Wasserübertrager in den Rotor eingeleitet.

Die von Luftreibung und Zusatzverlusten auf der Poloberfläche herrührende Erwärmung wird durch Kühlluft abgeführt. Motorventilatoren blasen Luft axial durch den Generator. Über sechs gleichmässig in der Generatorgrube verteilte Wasser-Luftkühler wird die erwärmte Luft rückgekühlt.

### Erregung und Spannungsregelung

Eine statische Erregungseinrichtung mit programmierbarer Spannungsregelung liefert über die Schleifringe den Erregerstrom in die Pole. Der Erregerstrom wird über Bürsten

aus Elektrographit auf die Schleifringe übertragen. Kohlestaub von den Bürsten wird mittels Unterdruck aus dem Schleifringraum abgesogen und in Filtern gesammelt.

Die statische Erregungseinrichtung besteht aus drei Einphasentransformern (Giessharztransformatoren) mit Gleichrichtern, die parallel zu den Generator клемmen geschaltet sind. Die Gleichrichtereinheit besteht aus vier parallelen Gleichrichterbrücken. Sollte eine Brücke ausfallen, so sind die verbleibenden Brücken in der Lage, den erforderlichen Erregerstrom zu liefern.

Um eine hohe Zuverlässigkeit des Betriebes erreichen zu können, ist der Spannungsregler mit einer Begrenzung sowohl für den Statorstrom als auch für den Rotorstrom und den Lastwinkel ausgerüstet.

Adresse des Verfassers: *Walther Howald*, Ing. ETH, ABB Kraftwerke AG, Abteilung KWHV, CH-5242 Birr AG.

## V-förmiger Treibholzfang und Geschiebeablagerungszone am Chämtnerbach in Wetzikon

Heinz Hochstrasser

### Hochwasserereignisse

Im Sommer 1977 und 1984 gingen im Zürcher Oberland heftige Regenfälle nieder und führten im Chämtnerbach zu Hochwasser (Bild 1). Rund ein Drittel des gesamten Einzugsgebietes von 13,4 km<sup>2</sup> sind Waldflächen. Unmittelbar oberhalb des Siedlungsgebietes durchfliesst der Bach das bewaldete steile Chämtnertobel. Während beider Hochwasserereignisse führte der Bach beträchtliche Geschiebe- und Treibholzmengen mit sich. Im Siedlungsgebiet wurde 1977 und 1984 je eine Brücke vollständig durch das Treibholz verstopft (Bild 2). Überschwemmungen mit grossen Schäden waren die Folge. Besonders dramatisch ist die Situation am Chämtnerbach, weil er in Hanglage auf seinem eigenen Schuttkegel fliesst. Wasser, das südlich über das linke Ufer tritt, gelangt nicht mehr ins Bachbett

zurück. Es fliesst durch Wetzikon den beiden tiefer gelegenen Gewässern Schlossbach und Wildbach zu.

### Ausbauprojekt für den Chämtnerbach

Aufgrund der Erfahrungen wurden für den Chämtnerbach verschiedene Hochwasserschutzkonzepte erarbeitet. Einige Vorschläge für Hochwasserrückhaltebecken (mit einem und mehreren Becken im Einzugsgebiet) sowie ein durchgehender Gerinneausbau standen zur Diskussion. Das ursprünglich vom Kanton vorgeschlagene Rückhaltebecken war oberhalb des Siedlungsgebietes (eingangs des Chämtnertobels), eines reizvollen Naherholungsgebietes von Wetzikon, geplant. Die Beeinträchtigung des Tobels schien zu gross, und man einigte sich auf einen naturverträglichen Gerinneausbau im Siedlungsgebiet. In diesem Projekt ist oberhalb des Siedlungsgebietes ein Treibholzfang mit einer Geschiebeablagerungszone vorgesehen. Diese Anlage ist als erste Schutzmassnahme in der Zeit vom September 1996 bis März 1997 realisiert worden.

### Treibholzfang

Der Treibholzfang wird mit V-förmig angeordneten Rechenstäben aus Stahlrohren mit einem Durchmesser von rund 36 cm gebildet. Sie sind mit Beton gefüllt und haben einen gegenseitigen Abstand von 1,80 m (Bild 3). Der

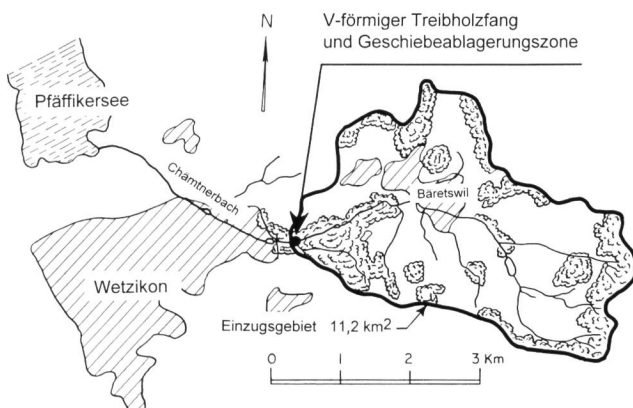


Bild 1. Chämtnerbach mit seinem Einzugsgebiet. Standort des Treibholzfanges und der Geschiebeablagerungszone.



Bild 2. Hochwasser August 1984: Brücke Eichholzstrasse beim Restaurant Talhof.