

TECHNISCHER BERICHT: ERHÖHUNG DER LEISTUNGS-AUSBEUTE DURCH PERMANENTERREGTEN SYNCHROGENERATOR

Anlage:

Denkmalgeschütztes Historisches Wasserkraftwerk
Steinerne Renne in Wernigerode



Betreiber:
Stadtwerke Wernigerode GmbH

Einleitung:

Das Wasserkraftwerk "Steinerne Renne" befindet sich im Wernigeröder Stadtteil Hasserode unterhalb des gleichnamigen Bahnhofs der Harzquerbahn. Dieses technische Denkmal aus dem Jahre 1899 wird von den Stadtwerken Wernigerode seit 2002 betrieben.

Gebaut wurde das Kraftwerk einst zur Stromversorgung des damaligen Schotter- und Granitwerkes. Dieses befand sich gegenüber, am Standort der heutigen Firma WERBAT. Das Wasserkraftwerk "Steinerne Renne" versorgte die Beleuchtung des Bruchs, die Werkbahn und den Steinbruch selbst mit Elektro-Energie. Im linken Anbau befand sich eine Dampfmaschine für wasserschwache Zeiten. Heute kann darin eine interessante Ausstellung historischer Elektrogeräte für den Haushalt besichtigt werden

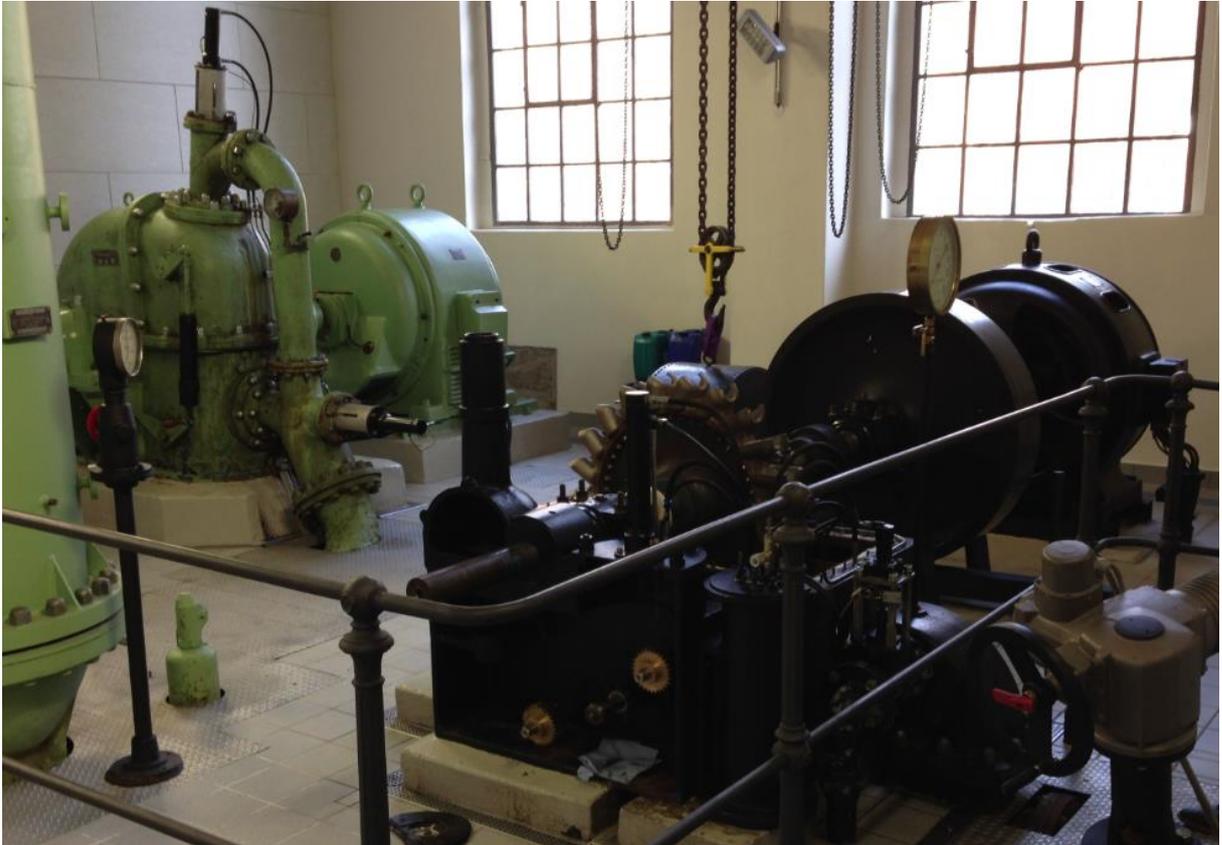
An einem Wehr unterhalb des Gasthauses "Steinerne Renne" wird ein Teil des Flusswassers der Steinernen Renne in einen abgedeckten Wassergraben abgezweigt. Es fließt rund 1700 Meter durch den Harzwald bis zum Rechenhaus, wo grobe Verunreinigungen, wie Äste und Blätter zurückgehalten werden. Das Wasser strömt über eine unterirdisch verlegte Guss-Druckleitung mit einer Höhendifferenz von rund 160m zu den Turbinen des Wasserkraftwerkes.

Das Wasserkraftwerk verfügt über zwei Maschinensätze mit Pelton-Turbinen. Der Ältere hat eine Leistung von ca. 90 Kilowatt (Generatorleistung) und stammt aus dem Jahre 1899. In den fünfziger Jahren erfolgte die Installation einer zweiten Turbine mit einer Leistung von 265 Kilowatt. Beide Turbinen treiben Asynchrongeneratoren an.

Nach Angabe der Stadtwerke Wernigerode beträgt die erzeugte elektrische Arbeit pro Jahr bis zu einer Million Kilowattstunden. Für die maximale Leistung werden etwa 900 m³/h Wasser benötigt - eine Menge, welche naturgemäß nicht kontinuierlich zur Verfügung steht.

Im Folgenden wird der Umbau des historischen 240kW-Asynchrongenerators auf einen PM-Generator beschrieben. Dabei wurde das äußere historische Maschinen-Bild unverändert gelassen bei gleichzeitiger deutlicher Verbesserung der Energieausbeute.

1. Zustand vor Modernisierung des Generators



Großer Maschinensatz vor Modernisierung (grüner Anstrich)

Alter Generator: MWS, asynchron

Baujahr: 1954, letzte Generalreparaturen 1985 (Wicklung) und 1995 (Lager)

380V / 525A / 240kW (Wellenleistung als Motor)

Turbine: MMW (VEB Maschinen- und Mühlenbau Wittenberg)

Baujahr: 1954

Leistung: 265 kW bei 154 m Wassersäule und 214 ltr/sec Schluckvolumen



Kleiner Maschinensatz (schwarzer Anstrich)

Generator: AEG, asynchron

Baujahr: 1899

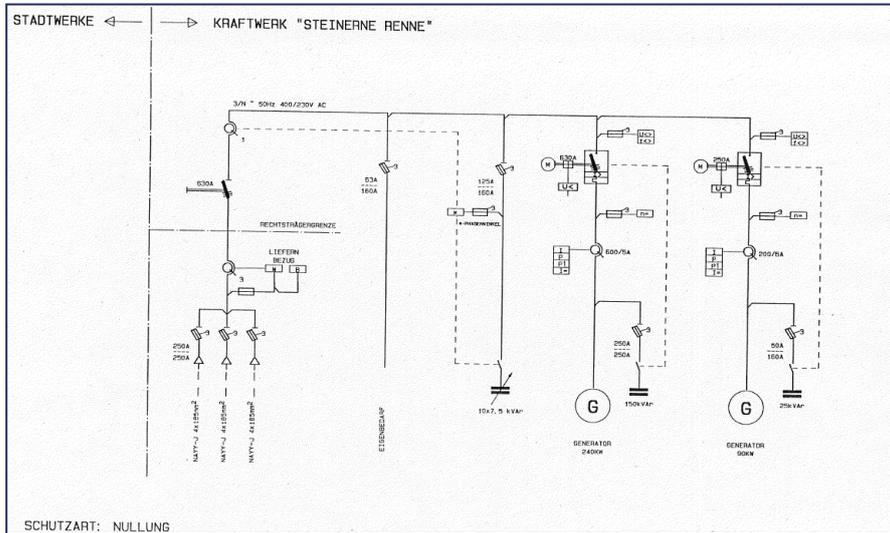
380V / 171A / 90kW

Turbine: Hersteller unbekannt

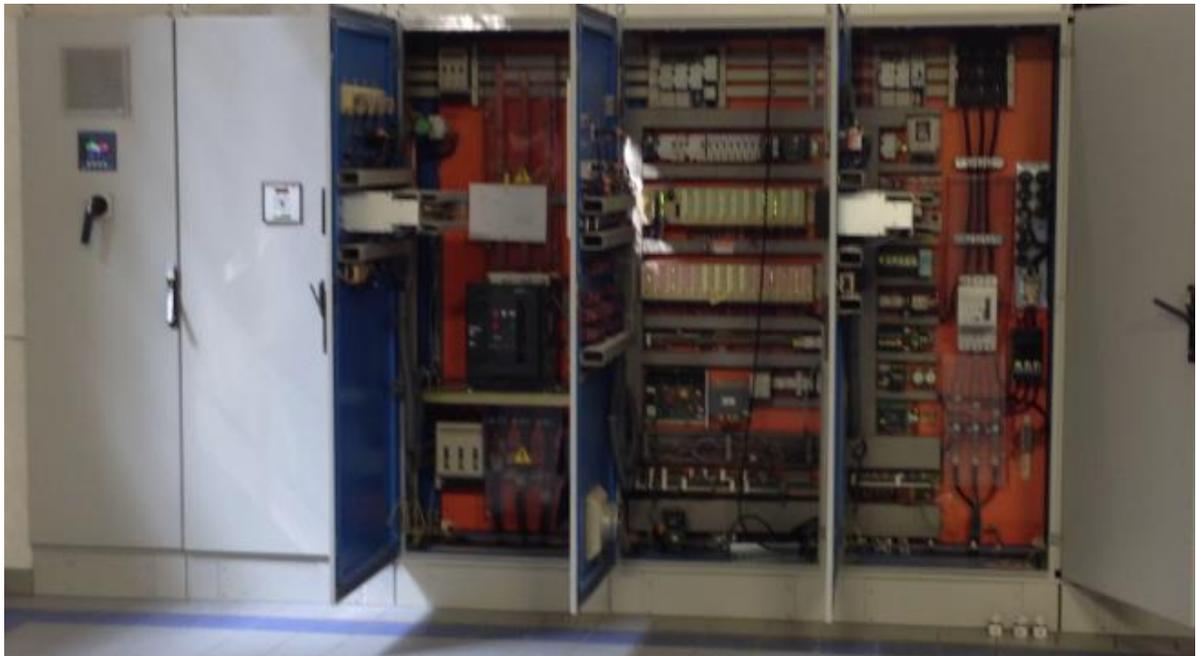
Baujahr: 1899

Leistung: ca. 75 kW bei 154 m Wassersäule und ca.90 ltr/sec Schluckvolumen

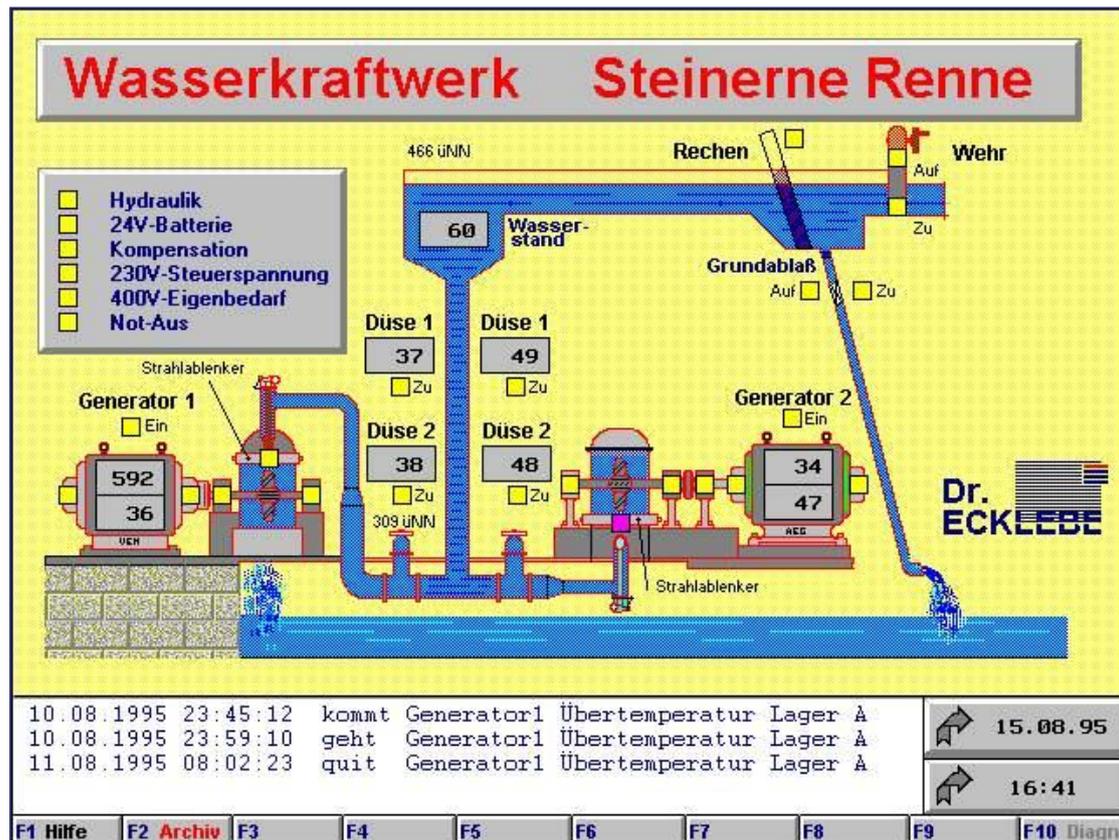
Elektrik und Steuerung, Leistungsteil



Schaltanlage vor Modernisierung, Kompensation im zweiten Schaltfeld von links.



Die Steuerung der beiden Maschinensätze erfolgt abhängig vom Wasserpegel hinter dem Rechen. Die Betriebs- und Störungs-Daten des Kraftwerkes werden über sichere VPN-Verbindung an das Leitsystem der SWW übergeben.



2. Synchrongenerator zur Erhöhung der Ausbeute

Der Umbau des vorhandenen Asynchrongenerators zum permanenterregten Synchrongenerator erfolgte durch die Fa. Krebs & Aulich. Dabei wurde ein Austausch des Läufers gegen einen permanent-erregten Synchronläufer mit Dämpferkäfig vorgenommen.

Der Ständer wurde neu beblecht und erhielt eine neue Wicklung.

Die Gleitlager wurden erneuert.

An den Lagergehäusen wurden Schwingungssensoren angeordnet. Bei dem Umbau wurde das Motoren-Gehäuse wiederverwendet, es blieb das alte Erscheinungsbild unverändert.

Das folgende Bild zeigt den permanentenerregten Läufer vor dem Einbau.



Das folgende Bild zeigt das turbinenseitige Lager mit Sensoren.



Das folgende Bild zeigt, dass das historische Erscheinungsbild völlig unverändert erhalten werden konnte.



2.1 Wirkungsgrad des alten Generators

Bei dem alten Generator handelte es sich um einen Asynchronmotor historischer Bauart, der überwiegend teillastig betrieben wurde.

Der Generator gab bei voll geöffneten Pelton-Düsen ca. 225 kW Leistung in das Netz ab.

Die Pelton-turbine erzeugt 265 kW-Turbinenleistung an der Welle, siehe Typenschild.

Der Wirkungsgrad des alten Generators berechnete sich zu:

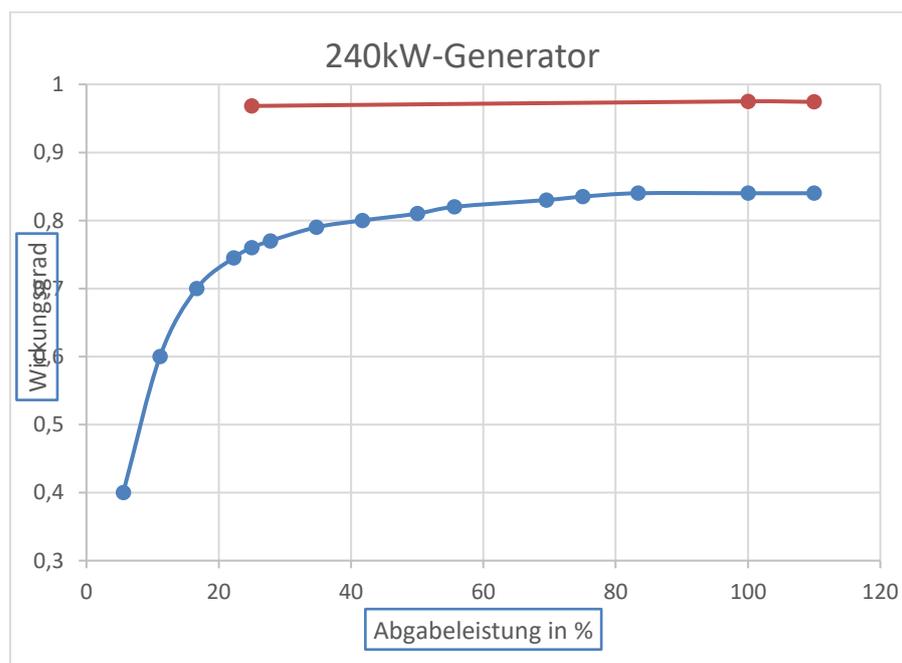
$$\eta = 225/265 = 0,849$$

Der Generator hatte einem Wirkungsgrad von rund 85% bei Nennleistung.

2.2 Wirkungsgrad des alten Generators im Teillastbereich

Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf des Wirkungsgrades über der Leistung, die in das Netz eingespeist wird. Basis der roten Linie ist das Prüfprotokoll des neuen Generators der Fa. K&A.

Die blaue Kennlinie des alten Generators verschlechterte sich erwartungsgemäß im Teillastbereich stark.



2.3 Wirkungsgrad des neuen Synchron-Generators

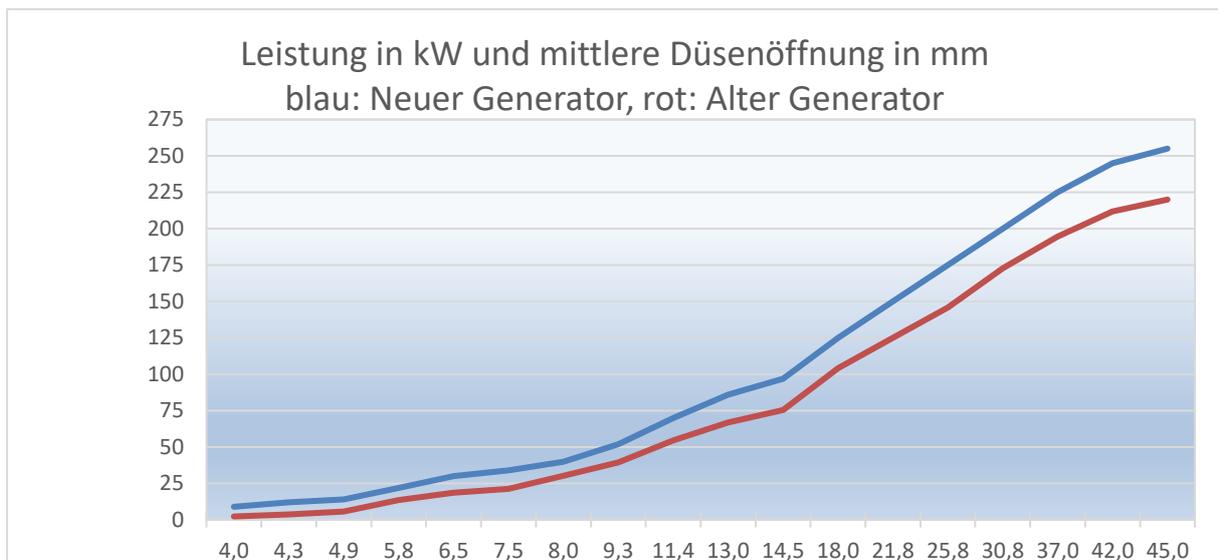
Die rote Kurve im vorstehenden Bild zeigt den Verlauf des Wirkungsgrades.

Der Wirkungsgrad bleibt im gesamten Leistungsbereich nahezu konstant. Zu Grunde gelegt wurden die Daten des Prüfprotokolls vom 02.12.2016 von Krebs & Aulich.

Der Umbau zum permanent-erregten-Synchrongenerator ergab einen deutlich verbesserten Wirkungsgrad.

Dies zeigt sich daran, dass bei gleicher Öffnung der Pelton-Düsen mehr elektrische Leistung erzeugt wird.

Nachfolgend sind die erreichten Verbesserungen in einem Diagramm dargestellt:



3. Erläuterung der technischen Ursachen

Der verbesserte Wirkungsgrad erklärt sich auch daraus, dass bei einer Permanentterregung kein Blindstrom zum Feldaufbau aus dem Netz bezogen wird.

Dieser Blindstrom betrug beim alten 240 kW-Generator ca. 40% des Nennstromes und verursachte am ohmschen Widerstand der Statorwicklung (0,2 Ohm) allein ca. 5,2 kW Wärmeverlust bei synchroner Drehzahl von 600 Umdrehungen je min. (also ohne, dass vom Generator Wirkleistung abgegeben wurde).

Die Blindleistungskompensation (und die damit verbundenen Wärmeverluste) können nun entfallen, was eine weitere Einsparung erbringt.

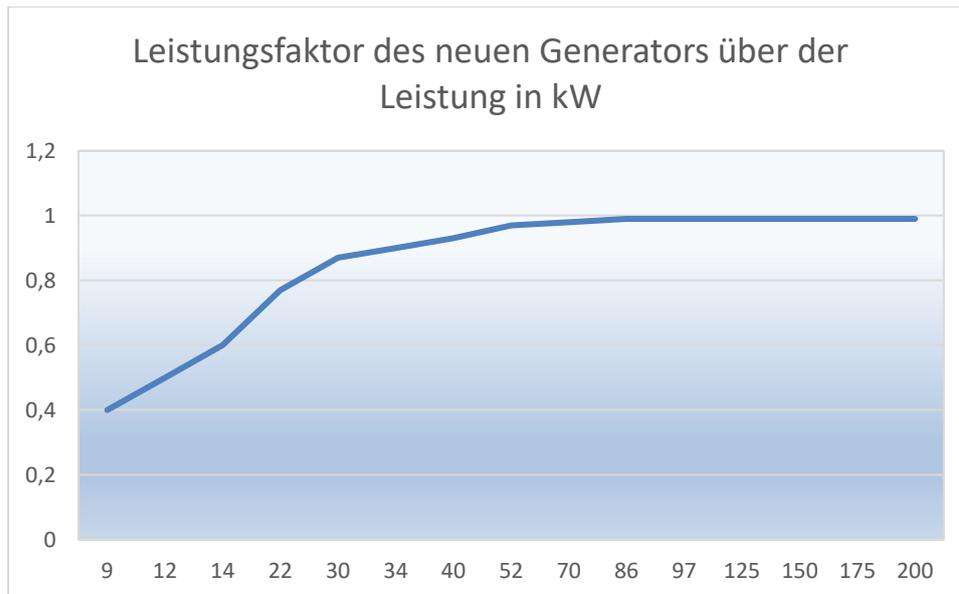
Im Weiteren wird von der Erfahrung ausgegangen, dass der große Maschinensatz überwiegend teillastig betrieben wird und zwar in einem Bereich zwischen 110 und 135 kW.

Bei einem überwiegend teillastigem Betrieb des Generators von 50% bis 60% entsprechend 110 bis 135 kW Einspeiseleistung verbessert sich der Wirkungsgrad von alt 0,81 bis 0,83 auf 0,97.

Es ergab sich eine Verbesserung des Generator-Wirkungsgrades (und damit der Energieausbeute) von 14% bis 16%.

4. Leistungsfaktor und Synchronisierung

Das nachfolgende Diagramm zeigt den gemessenen Leistungsfaktor des neuen Generators in Abhängigkeit von der erzeugten Leistung.



Bereits ab 10% der Nennleistung erreicht die Kurve 0,8.

Die Synchronisierung erfolgt über einen Woodward-Regler ohne merkbare Transienten.

Zur Erinnerung: Bei dem alten Generator gab es dabei deutliche transiente Ströme.

*Bei technischen Fragen wenden Sie sich bitte an:
Herrn Guido Wiekert oder an Herrn Dominic Wode.*