

# ÖLFREIE SIEMENS INDUSTRIEDAMPFTURBINE – ERSTE BETRIEBSERFAHRUNGEN

## **Dr. Detlef Haje**

*Siemens AG, Steam Turbines  
Lutherstr. 51  
02826 Görlitz, Deutschland  
Tel.: +49 3581 68-2395  
Fax: +49 3581 68-2258  
Mobil: +49 152 22911833  
E-Mail: detlef.haje@siemens.com*

## **Christoph Grund**

*Siemens AG, Steam Turbines  
Lutherstr. 51  
02826 Görlitz, Deutschland  
Tel.: +49 3581 68-2577  
Fax: +49 3581 68-2258  
Mobil: +49 173 2036327  
E-Mail: christoph.grund@siemens.com*

### **Abstract**

Die erste ölfreie Siemens Industriedampfturbine wurde Anfang 2015 erfolgreich in Betrieb genommen und treibt seitdem eine Kesselspeisepumpe an. Dieser Beitrag berichtet über die ausgeführte Technik und erste Betriebserfahrungen.

### **1 Einleitung**

Industriedampfturbinen werden üblicherweise mit hydrodynamischen Lagern sowie hydraulischen Ventilantrieben ausgerüstet. Diese Technologien sind im Kraftwerksbetrieb langjährig bewährt, weisen allerdings auch einige Nachteile auf. Die Öllagerung ist aufgrund der viskosen Reibung verlustbehaftet und erfordert darüber hinaus Pump- und Kühlleistung. Das für Lagerung und Ventilantriebe genutzte Öl erhöht die Brandlast in der Anlage. Zudem ist eine umfangreiche Ölanlage erforderlich (u.a. Leitungen, Pumpen, Ventile, Öltanks, Filter, Instrumentierung), welche mit erheblichen Kosten verbunden ist. Lager und Öl unterliegen Verschleiß- und Alterungsbeanspruchungen, wodurch die Lager in regelmäßigen Abständen einer Begutachtung bedürfen.

Dieser Beitrag beschreibt die kürzlich in Betrieb genommene ölfreie Siemens Industriedampfturbine sowie erste Betriebserfahrungen.

### **2 Motivation**

Durch die Anwendung aktiv geregelter Magnetlager und elektrohydraulischer Ventilantriebe können einige der genannten Nachteile beseitigt werden. Insgesamt wird eine wesentliche Reduzierung der Reibungsverluste erzielt. Weiterhin reduzieren sich die Brandlast (deutlich geringere Ölmenge) sowie die regelmäßigen Begutachtungen vor Ort an der Maschine (Verschleißfreiheit der Magnetlagerung).

Die gesamte Ölanlage wird durch zwei Schaltschränke ersetzt, die maschinennah aufgestellt werden. Der Zustand der Maschine kann im laufenden Betrieb anhand der Magnetlagerbeanspruchung online erfasst werden.

Das Ziel, eine ölfreie Dampfturbine zu entwickeln, wurde bereits 2007 zwischen den Partnern Vattenfall, Hochschule Zittau/Görlitz und Siemens formuliert. Die Vorteile einer ölfreien Dampfturbine wurden vor allem in

- der reduzierten Brandlast,
- der geringeren Lagerreibung und
- dem geringeren Wartungsumfang gesehen.

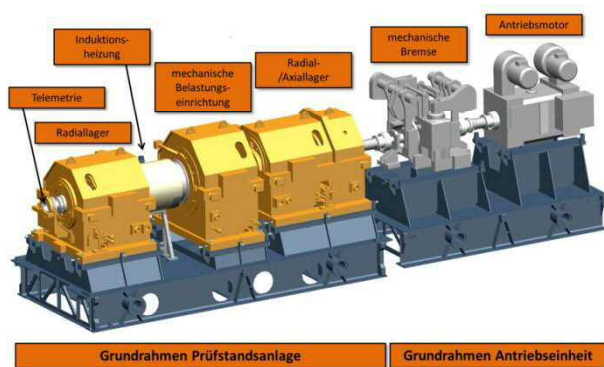
### **3 Qualifizierung der Technologie**

Im Vergleich zu bisherigen Anwendungen von Magnetlagern waren für Industriedampftur-

binen einige Qualifikationsschritte erforderlich, insbesondere der Nachweis einer zuverlässigen Abfuhr der durch den Rotor eingetragenen Wärmemenge (mit Hilfe von Kühlluftgebläsen) sowie der Nachweis der sicheren Funktion der für Havariefälle vorgesehenen sogenannten Fanglager (für die relevanten Rotormassen und Drehzahlen). Weiterhin war die sichere Aufnahme auftretender Prozesskräfte (Dampfkräfte) nachzuweisen. Magnetlager und Ventilantriebe wurden unter möglichst kraftwerksnahen Bedingungen entsprechend eines qualitätsgesicherten Entwicklungsprozesses erprobt, um eine zuverlässige technische Lösung anbieten zu können.

### 3.1 Magnetlager

Die Siemens AG in Görlitz qualifizierte gemeinsam mit der Hochschule Zittau/Görlitz die Magnetlagertechnologie für die Anwendung an Industriedampfturbinen. Hierfür wurde an der Hochschule Zittau/Görlitz ein Versuchsstand aufgebaut (**Bild 1**) und in umfangreichen Tests der Nachweis der Eignung dieser Technologie für Industriedampfturbinen erbracht.



**Bild 1:** Magnetlagerversuchsstand

| Parameter                    | Wert        |
|------------------------------|-------------|
| Drehzahl                     | 5800 1/min  |
| Elektrische Antriebsleistung | 280 kW      |
| Elektrische Bremsleistung    | 640 kW      |
| Zul. Lagerkraft (radial)     | 25 kN       |
| Zul. Lagerkraft (axial)      | 25/50 kN    |
| Rotormasse                   | ca. 2500 kg |
| Rotorlänge                   | ca. 3800 mm |
| Induktive Heizleistung       | 40 kW       |

**Tab. 1:** Daten des Magnetlagerversuchsstandes

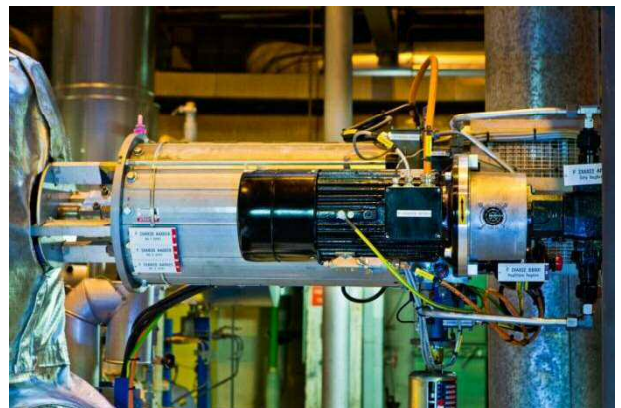
Wesentliche Daten des Prüfstandes sind in **Tab. 1** dargestellt. Details der Qualifizierung sind in [1], [2] und [3] zu finden.

### 3.2 Ventilantriebe

Die elektrohydraulischen Antriebe (**Bild 2**) wurden durch die Bosch Rexroth AG entwickelt und intensiven Testprogrammen (sowohl beim Lieferanten als auch bei Siemens) unterzogen.

Die drei wichtigsten Anforderungen an die Qualifizierung waren:

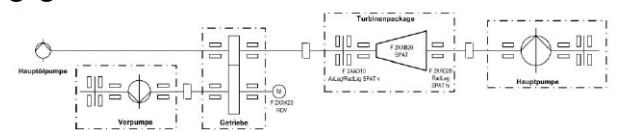
- Erfüllung der zul. Schließzeiten,
- zul. Umgebungstemperatur 80 °C,
- dampfturbinenübliches Regelverhalten.



**Bild 2:** Elektrohydraulischer Ventilantrieb

## 4 Erstanwendung KW Jänschwalde

Die erste ölfreie Siemens Industriedampfturbine wurde im Vattenfall Kraftwerk Jänschwalde als Speisepumpenantriebsturbine (SPAT) erfolgreich in Betrieb genommen und ist seit Anfang 2015 im Kraftwerkeinsatz. Die Gegendruck-Dampfturbine ist in einen Strang bestehend aus Vorpumpe, Getriebe und Hauptpumpe integriert. Eine Übersicht über die Anordnung des Strangs ist in **Bild 3** gegeben.



**Bild 3:** Antriebsstrang (Schema)

Die SST-600 Turbine wurde im Siemens Turbinenwerk Görlitz gefertigt und im Herbst 2014 nach Jänschwalde geliefert. Sie ist mit SIMOTICS® AMB Magnetlagern sowie EMA von Bosch Rexroth ausgerüstet. Die Turbine leistet als drehzahlvariabler Antrieb (typischer

Betrieb bei 4500 – 5400 1/min) bis zu 10 MW. Der Rotor hat eine Masse von ca. 2,5 t.

Die radialen Magnetlager (Traglager) wurden für die Anwendung in der Dampfturbine horizontal geteilt ausgeführt (**Bild 4**), um eine bessere Montierbarkeit der Turbine zu ermöglichen. Das axiale Magnetlager (Schublager) ist ungeteilt ausgeführt.



**Bild 4:** Geteiltes SIMOTICS® Radialmagnetlager

Die Magnetlager sind luftgekühlt. Die Luft durchströmt einerseits den Magnetlagerluftspalt und andererseits den Rotor, um die über den Rotor in den Lagerbereich eingetragene Wärme sowie die Wärme aus Wirbelstromverlusten sicher abzuführen.

Da die Turbine auf dem vorhandenen Fundament aufgebaut werden sollte, die Magnetlagerung jedoch einen größeren Platzbedarf im Vergleich zur Öllagerung aufweist, musste das Turbinenfundament erweitert werden. Dies erfolgte durch eine an das Fundament montierte Stahlkonstruktion, auf der die Vorpumpe positioniert wurde.

In **Bild 5** ist die Dampfturbine mit geöffneten Lagergehäusen abgebildet.

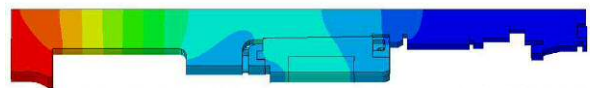


**Bild 5:** Ölfreie Industriedampfturbine

## 5 Erfahrungen bei Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme der ölfreien Dampfturbine konnte trotz der umfangreichen Neuerungen termingerecht durchgeführt werden. Die Inbetriebnahme der Magnetlager sowie der elektromechanischen Antriebe erfolgte jeweils mit Unterstützung der entsprechenden Experten des Herstellers, da es sich bei beiden Komponenten um einen Ersteintritt handelte.

Um die thermische Stabilität der Magnetlager zu gewährleisten wurde basierend auf den Erkenntnissen am Versuchsstand in Zittau das Temperaturprofil des Dampfturbinenrotors für verschiedene relevante Lastfälle der Turbine mittels der Methode der finiten Elemente berechnet. Beispielhaft ist das Temperaturfeld eines Lastfalls in **Bild 6** dargestellt. Gut zu erkennen sind die Wärmeeinträge durch den Dampf (links) und der Wärmeeintrag durch die Wirbelstromverluste im Bereich der Rotorbleche des Magnetlagers (Mitte).



**Bild 6:** Temperaturprofil des Dampfturbinenrotors

Im Rahmen der Inbetriebsetzung wurde überprüft, dass die Temperatur des Rotors im Betrieb den vorausgerechneten Werten entspricht.

## 6 Erste Betriebserfahrungen

Die ölfreie Dampfturbine ist seit Anfang 2015 in Betrieb und treibt zuverlässig die Speisepumpe an. In den folgenden Diagrammen aus der Kraftwerks-Leittechnik sind die Wicklungstemperaturen der Magnetlager beispielhaft dargestellt. **Bild 7** zeigt einen Anfahrvorgang, während **Bild 8** einen Betrieb unter Lastwechseln darstellt.

**Anfahren (Bild 7):** Bevor die Dampfturbine mit Dampf beaufschlagt wird, werden die Magnetlager in Betrieb genommen und anschließend der gesamte Strang im Drehbetrieb bei ca. 100 1/min betrieben (Beginn des Vorwärmens der Turbine).

Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Lagertemperaturen sinken sobald der Rotor Drehzahl aufnimmt (verbesserte konvektive Kühlung an umlaufenden Rotor-Oberflächen).

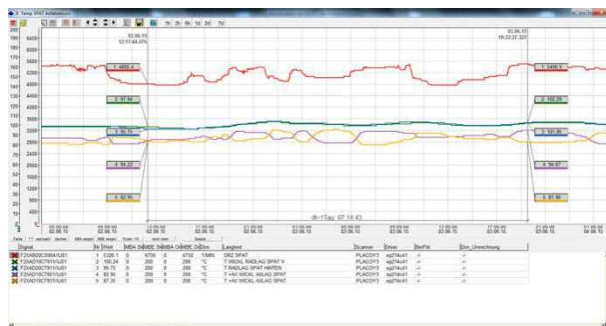
Anschließend steigen die Temperaturen aufgrund des Wärmeeintrages aus dem Dampf.



**Bild 7:** Traglagertemperaturen beim Anfahrvorgang

**Abfahren:** Sobald die Rotordrehzahl sinkt, sinkt auch die übertragene Wärmemenge an der Rotor-Oberfläche. Da der Rotor im dampfbeaufschlagten Bereich noch durchwärmt ist, steigt die Temperatur des Rotors im Lagerbereich und damit auch die Temperatur der Magnetlagerstatoren an. Anschließend sinken die Lagertemperaturen kontinuierlich ab, da der Rotor durch die Kühlluft gekühlt wird.

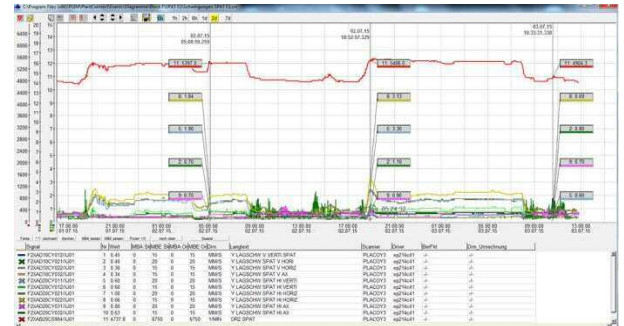
Bei **Lastwechseln (Bild 8)** zeigen die Radiallagertemperaturen nur geringe, gleichgerichtete Veränderungen. Änderungen bei den beiden Axiallagerwicklungen sind deutlich stärker und einander entgegengesetzt. Die Ursache für die entgegengesetzt verlaufenden Temperaturen sind wechselnde auf den Rotor wirkende Axialkräfte. Diese werden durch das Axialmagnetlager aufgenommen und die jeweils belastete Seite des Lagers zeigt die Erwärmung durch Wirbelstromverluste, die andere Lagerseite kühlt ab.



**Bild 8:** Lagertemperaturen bei Lastwechseln

Insgesamt konnte bei allen beobachteten Betriebszuständen nachgewiesen werden, dass die Lagertemperaturen zuverlässig unterhalb der zulässigen Werte bleiben.

**Bild 9** zeigt das Schwingungsverhalten der Dampfturbine (Absolutschwingungsmessung an den Lagergehäusen). Die Schwingungen liegen weit innerhalb des Bereiches für eine neue Maschine.



**Bild 9:** Schwingungsverhalten der Dampfturbine

## 7 Zusammenfassung/Ausblick

Mit der in diesem Bericht beschriebenen Erst-anwendung einer ölfreien Dampfturbine konnte anhand der bisherigen Betriebsergebnisse gezeigt werden, dass die Magnetlager sowie die elektromechanischen Antriebe für den Betrieb in einem Kraftwerk geeignet sind und einen zuverlässigen Betrieb ermöglichen.

Durch diese Innovationen lässt sich an einer Dampfturbine die Brandlast deutlich reduzieren und der Wirkungsgrad erhöhen. Die Machbarkeit konnte Siemens im Kraftwerk Jänschwalde bereits nachweisen. Für Erfahrungen im Langzeitbetrieb wird die ölfreie SPAT im Kraftwerk Jänschwalde die notwendigen Daten und Erkenntnisse liefern. Damit ist ein wichtiger Grundstein für die großtechnische Anwendung von Magnetlagern an Industriedampfturbinen gelegt.

## Referenzen

- [1] Grund, C.; Rottenbach, T.; Worlitz, F.: Untersuchungen zu einer magnetgelagerten Industriedampfturbine; Magnetlagerworkshop 2013; Chemnitz, Deutschland
- [2] Haje, D.; Grund, C.: Qualifizierung von Magnetlagern für Industriedampfturbinen; Kraftwerktechnisches Kolloquium 2013; Dresden, Deutschland
- [3] Grund, C.; Haje, D.: Qualification of Magnetic Bearings for Industrial Turbines; 14th International Symposium on Magnetic Bearings; 2014; Johannes Kepler University, Linz, Austria