

## Vergleich binärer Kraftwerke

D. Szablinski

Pfalzwerke AG, Deutschland

Dariusz\_Szablinski@Pfalzwerke.de

### Key Words

Geothermisches Kraftwerk, Organic Rankine Cycle (ORC), Energie, Leistung, Wirkungsgrad.

### ZUSAMMENFASSUNG

In der Planungsphase eines geothermischen Kraftwerkes ist die Problematik der Systemauswahl zur Stromerzeugung von besonderer Bedeutung. Zur Elektrizitätsproduktion aus der Erdwärme spielen zwei binären Kraftwerksarten eine wichtige Rolle: Organic Rankine Cycle und Kalina Kraftwerke. Die Kraftwerke unterscheiden sich unter Anderen bezüglich des Systemaufbaus. Ein Kalina Kraftwerk ist komplexer aufgebaut und setzt eine größere Fläche im Kraftwerksgebäude im Vergleich zu einem ORC Kraftwerk gleicher Leistungsgröße voraus. Die Kraftwerke unterscheiden sich auch bezüglich des Wärmeträgers, der Effizienz (Differenz maximal ca. 2 %), der Investitionen etc. Aufgrund des Vergleiches zeigt sich, dass ein ORC Kraftwerk im Verhältnis zu einem Kalina Kraftwerk vorteilhaft ist, bis auf die etwas niedrigere „theoretische“ Effizienz. Außer der Effizienz sind jedoch noch die Betriebsstunden pro Jahr wichtig (hier: Kraftwerksverfügbarkeit, kWh). Derzeit vorhandene Kraftwerksbeispiele weltweit sprechen in Hinsicht auf die Kraftwerksverfügbarkeit für ORC.

### Einführung

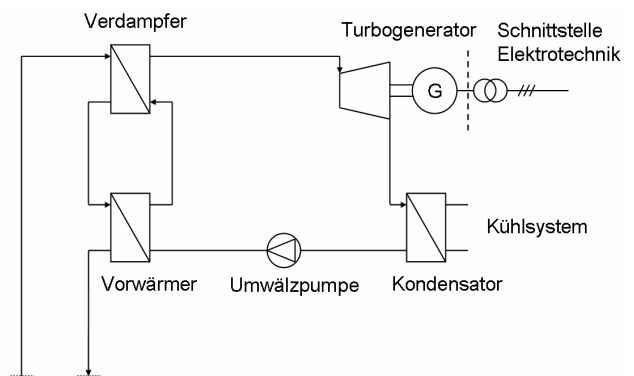
Zur Elektrizitätsproduktion aus der Erdwärme bei einem geringen Enthalpiegehalt des Thermalwassers spielen zwei binären Kraftwerksarten eine wichtige Rolle: Organic Rankine Cycle und Kalina Kraftwerke. Der Vergleich beider Kraftwerke wurde für folgende Randbedingungen durchgeführt:

- Thermalwassertemperatur:  
Eingang ca. 150 °C, Ausgang ca. 75 °C,
- Thermalwasservolumenstrom ca. 80 l/s
- Geothermische Leistung ca. 23 MW thermisch (bez. auf die Temperaturdifferenz von ca. 75 K),
- Elektrische Leistung am Generatorterminal ca. 2 bis 3 MW,
- Benötigte Kühlleistung ca. 20 bis 21 MW

### Problematik der Systemauswahl

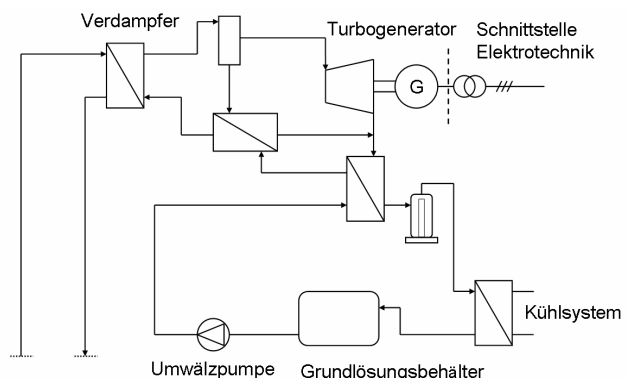
Die ORC und Kalina Kraftwerke unterscheiden sich unter Anderen bezüglich des Systemaufbaus. Ein Kalina Kraftwerk ist in der Regel komplexer aufge-

baut und setzt eine größere Fläche im Kraftwerksgebäude voraus im Vergleich zu einem ORC Kraftwerk gleicher Leistungsgröße (ca. 2 bis 3 MW elektrisch).



Schnittstelle  
Thermalwasserkreislauf

Abb. 1: Schema eines ORC Kraftwerks



Schnittstelle  
Thermalwasserkreislauf

Abb. 2: Schema eines Kalina Kraftwerks

Die Geräuschkulisse beläuft sich in beiden Kraftwerksarten auf maximal ca. 80 bis 100 dB(A) Schallleistungspegel. Die lauteste Komponente ist die Turbine bzw. der Generator. Des Weiteren das Kühlsystem, dessen Schalleistungspegel min. ca. 70 dB(A) beträgt (hier: Luftkühlsystem, /ORMAT07/). Die Geräuschkulisse kann beim Bedarf z. B. mit Schallschutzsystemen, Abdeckhauben reduziert werden.

Ein Vergleich beider Kraftwerke unter ausgewählten Aspekten kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1. ORC vs. Kalina Kraftwerk

| Aspekte/Kraftwerk                 | ORC                           | Kalina                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Systemaufbau                      | +                             | - (sehr komplex)                     |
| Platzbedarf                       | +                             | -                                    |
| Schalleistung Kraftwerk / Kühlung | ≈ ca. 90/70 db(A)             | ≈                                    |
| Wärmeträger (Umweltaspekte)       | ≈ (+); Max. Druck ca. 9 bar   | ≈ (- toxisch); Max. Druck ca. 35 bar |
| Leckage                           | ≈                             | ≈                                    |
| Wirkungsgrad                      | - theoretisch ca. 11 bis 12 % | + theoretisch max. ca. 2% höher      |
| Investitionen                     | +                             | -                                    |
| <b>GESAMT</b>                     | <b>3 (+) / 1 (-)</b>          | <b>1 (+) / 3 (-)</b>                 |

Als Arbeitsmittel werden bei ORC Kraftwerken Reinstoffe eingesetzt. Diese Arbeitsmittel sind in der Regel gesundheitsschädlich, umweltgefährdend und hochentzündlich. Zum Beispiel Iso-Pentan ( $C_5H_{12}$ ). Folgende Abbildung 4 stellt die Kraftwerksparameter in einem Temperatur-Entropie Diagramm dar.

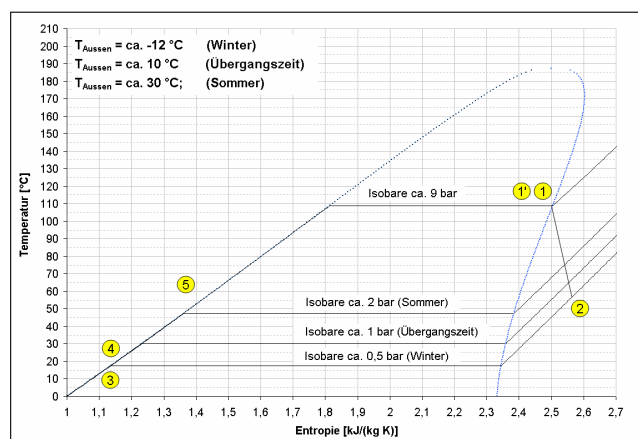


Abb. 3: Temperatur-Entropie Diagramm Iso-Pentan /NIST07/

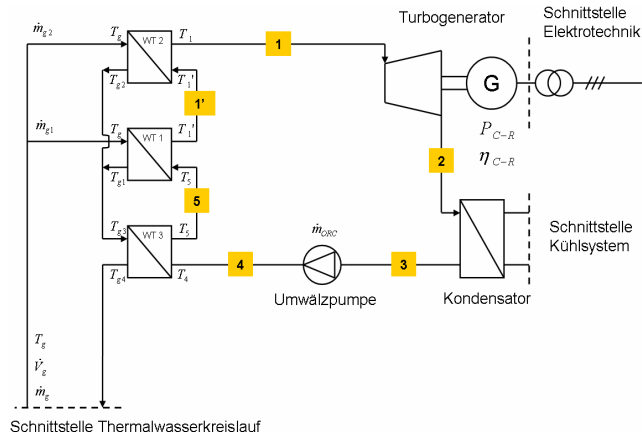


Abb. 4: ORC-Kraftwerk

- 1 – 2 Expansion in der Turbine;
- 2 – 3 Kondensation;
- 3 – 4 Verdichtung in der Pumpe;
- 4 – 5 Vorwärmung;
- 5 – 1 Verdampfung;

Die Kalina Kraftwerke arbeiten mit einem Zweistoffgemisch: Ammoniak und Wasser. Das Ammoniak ist gesundheitsschädlich und umweltgefährdend, zudem noch toxisch als Gas. Am Eingang der Turbine herrscht Ammoniak zu ca. 80 bis 95 % als ammoniakaler Dampf. Das Ammoniak wirkt sehr korrosiv auf die Kraftwerkskomponenten. Aus dem Grund werden sie aus hoch legierten Stählen wie z. B. Titan gebaut. Die Verluste des Arbeitsmittels betragen in beiden Kraftwerksarten ca. 2 bis 4 % pro Jahr. In sehr komplexen Anlagen können sich die jährlichen Wärmeträgerverluste sogar auf ca. 12 % belaufen.

Im Hinblick auf die Kraftwerkseffizienz weist die ORC Technologie einen Wirkungsgrad von etwa 11 % bis 12 % auf. Die Kalina Technologie erreicht demgegenüber theoretisch maximal etwa 2 % mehr Wirkungsgrad, bei gleich definierten Randbedingungen bezüglich der Wittersituation, der Kühlleistung, der Wärmequelle etc. (eigene Berechnungen). Dies ist bedingt durch die thermodynamischen Eigenschaften des Ammoniak und Wasser Gemisches, nämlich eine nicht-isotherme Verdampfung und Kondensation. Die spezifischen Investitionskosten fürs Kalina Kraftwerk liegen wesentlich höher im Vergleich zu einem ORC Kraftwerk (eigene Betrachtungen).

### SUMMARY

The planning phase of geothermal power plant contains important aspect of the technology choice for power generation. For electricity production from the earth heat two binary kinds of power plants are significant: Organic Rankine Cycle (ORC) and Kalina. The types of the power plants differ concerning the system structure. A Kalina power plant is more complex and occupies a larger surface in the power plant building in comparison to an ORC power plant of the same power size. The power plants differ also concerning the motive fluid, the efficiency (difference maximum app. 2 %), the investments etc. The comparison of both power plants favours the ORC technology, except the "theoretically" efficiency. However, beside the efficiency the operation hours per year are relevant (operational availability, kWh). The worldwide installed power plants show the advantages of the ORC compared to the Kalina technology.

### Literatur

/ORMAT07/ ORMAT Systems LTD.

/NIST07/ National Institute of Standards and Technology *Thermophysical Properties of Fluid Systems*, in: <http://webbook.nist.gov/chemistry/>, 05.09.2007.