

## **Tiefe Geothermie Strom**

### **ORC-Prozess vs. Kalina-Prozess – Wirkungsgrad, Aufwand, Kosten, Nutzen**

Neben der Solarenergie, der Windenergie und Energie aus Biomasse stellt die Geothermie das bedeutendste regenerative Energiepotenzial dar. Weltweit sind derzeit schon über 8.000 Megawatt elektrische Leistung installiert, welche ihre Primärenergie aus geothermalen Quellen beziehen. Derzeit entstehen in Europa immer mehr Projekte für Geothermiekraftwerke, die ein Leistungsspektrum zwischen wenigen hundert Kilowatt und einigen Megawatt elektrischer Leistung besitzen werden. Das zurzeit größte sich im Bau befindende Kraftwerk Deutschlands entsteht in Offenbach an der Queich, mit einer elektrischen Leistung von ca. fünf Megawatt. In diesem Kraftwerk soll der so genannte Kalina-Prozess zur Stromerzeugung genutzt werden.

Im mecklenburgischen Neustadt-Glewe, dem ersten und bisher einzigen deutschen Geothermiekraftwerk, wurde hingegen der klassische ORC-Prozess mit dem Arbeitsmedium Perfluoropentan (C<sub>5</sub>F<sub>12</sub>) zur Anwendung gebracht. Beide Verfahren sind Kreisprozesse, die nach den gleichen Grundprinzipien arbeiten. Es gibt aber entscheidende Unterschiede hinsichtlich technischer Art, die ausschlaggebende Bedeutung besitzen.

### **Der Kalina-Prozess**

Der Kalina-Prozess arbeitet mit einem Arbeitsmedium, das aus Wasser und Ammoniak besteht und in seinem Verhältnis, bei unterschiedlichen thermodynamischen Bedingungen variiert werden kann. Das Arbeitsmedium besitzt demzufolge keinen festen Siedepunkt. Nach Zuführung thermischer Energie, beispielsweise aus Thermalwasser, verdampft ein wesentlicher Teil des Arbeitsmediums. Die dampfförmige Phase des Gemisches besteht aufgrund seiner geringeren Siedetemperatur hauptsächlich aus Ammoniak. Dieser stark ammoniakhaltige Dampf muss zunächst durch einen Separator von der flüssigen, wässrigen Phase getrennt werden. Anschließend durchläuft der Dampf die Dampfturbine, in der mechanische Energie dem Prozess entzogen wird. Nach dem Durchströmen der Turbine wird der entspannte Ammoniakdampf mit der zuvor im Separator abgeschiedenen wässrigen Phase wieder gemischt und kondensiert. Im Anschluss wird das Arbeitsmedium dem Kreisprozess über die Speisepumpe erneut zugeführt.

Das Verhältnis der Zusammensetzung des Ammoniak-Wasser-Gemisches bietet eine günstige Möglichkeit, das Arbeitsmedium an die tatsächlichen thermodynamischen Bedingungen vor Ort anzupassen, um gute Verstromungswerte der thermischen Niedertemperaturpotenziale zu erzielen. Des Weiteren ist das Arbeitsmedium vergleichsweise günstig zu erhalten. Das Kalina-Verfahren besitzt aber auch eine Reihe, den Prozess negativ beeinflussende Faktoren. Einige dieser Faktoren sollen hier dargestellt werden.

Aufgrund der chemischen Struktur des Ammoniaks wirkt das Arbeitsmedium auf die Baugruppen der Kalina-Anlagen korrodierend. Das hat zur Folge, dass alle Bauteile der Kalina-Anlagen aus hoch legierten Stählen oder Materialien wie Titan bestehen müssen. Insbesondere müssen selbst Bauteile, die nicht direkt mit dem Arbeitsmedium in Kontakt stehen, auch aus hochveredelten Materialien hergestellt werden (Spannungsreihe). Ein weiterer zu beachtende Aspekt ist die Notwendigkeit, Apparate zur Trennung bzw. Mischung der Medien in den Kreisprozess zu integrieren, was zu einer erheblichen Steigerung der Komplexität und zur Störung der thermodynamischen Stabilität beiträgt. Durch die Komplexität des Kreisprozesses ist es nicht zu verhindern, dass in breiten Lastbereichen Nassdampf mit hohem Wasseranteil durch die Turbine geführt wird, das zu hohem hydromechanischen Verschleiß an dem Turbinenlaufrad führen kann. Hier können nur Materialien mit hoher Verschleißfestigkeit gegen mechanische und chemische Angriffe genutzt werden wie bspw. Titan oder höchst legierte Edelstähle.

### **Das ORC-Verfahren**

Der ORC-Prozess wird mit organischen Arbeitsmedien betrieben, die je nach thermodynamischen Randbedingungen bestimmt und eingesetzt werden können. So kommen unterschiedliche Stoffe zur Anwendung, bspw. Perfluoropentan, das aus Gründen des Klimaschutzes ab 2007 nicht mehr für ORC-Anwendungen genutzt werden darf. Jedoch kommen neuerdings auch niedrig siedende Silikonöle oder speziell designte synthetische Arbeitsmedien wie GL 160 eines deutschen Herstellers zum Einsatz, die wegen

der Klimaneutralität zunehmend Verwendung bei geothermischen Projekten findet.

Beim ORC-Prozess wird das Arbeitsmedium ebenfalls erwärmt und verdampft. Anschließend wird es über einer Dampfturbine entspannt, um dem Prozess mechanische Energie zu entziehen. Nach der Turbine wird der Dampf über einen Rekuperator (Vorwärmer) geführt, um Restenergie der Dampfphase dem flüssigen Arbeitsmedium zuzuführen. Danach wird das noch dampfförmige Arbeitsmedium kondensiert und dem Prozess über die Speisepumpe erneut zugeführt.

Der ORC-Prozess besitzt weniger Baugruppen, die Arbeitsmedien sind keine Stoffgemische, sondern haben definierte Siede- und Kondensationspunkte. Somit kann der ORC-Prozess auch bei wechselnden thermodynamischen Rahmenbedingungen wie bspw. bei schwankenden Kühlwasser- oder Soletemperaturen und im Teillastbereich (Wärmeauskopplung für Fernwärme) stabil geführt werden.

Da das Gasvolumen organischer Arbeitsmedien bei gleichem Druck dem 7- bis 10fachen von Wasser entspricht, benötigen ORC-Dampfkraftanlagen entsprechend niedrige Arbeitsdrücke und größere Querschnitte und Flächen im Bereich der Rohrleitungen, Wärmetauscher und Turbinengeometrien als klassische Wärmedampfanlagen. Aus diesem Grund kann das Betriebsverhalten von ORC-Anlagen als "gutmütig" und sehr leicht zu steuern bezeichnet werden.

Bei den verwendeten Arbeitsmedien handelt es sich in der Regel um Kohlenwasserstoffe oder Silikoöle, die umweltfreundlich und ungiftig sind. Diese wirken in Apparaten und Komponenten konservierend und sind nicht korrosiv. Demnach können normale Baustähle und kostengünstige Fe- und Al-Materialpaarungen verwendet werden, die ansonsten aus elektrochemischen Gründen nicht zum Einsatz gelangen könnten. Im Besonderen können o. g. kostengünstige Materialpaarungen im Bereich der Wärmetauscher Verwendung finden, die Stückgewichte von 20 – 30 Tonnen aufweisen können.

Aus Gründen, die in der Vergangenheit sicherlich Bedeutung hatten, bestehen auch heute noch gegenüber dem ORC-Prozess häufig Vorurteile hinsichtlich des Verstromungswirkungsgrades. Die Arbeitsmedien haben einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad eines thermodynamischen Kreisprozesses. In der Vergangenheit wurde der ORC-Prozess häufig mit einfachen Kohlenwasserstoffen wie Propan, iso-Butan, n-Pentan und iso-Pentan, Toluol und auch mit halogenierten Kohlenwasserstoffen wie Hexafluorbenzol, Chlorbenzol, Trifluorethanol, Perfluorpentan und eine Reihe von Kältemitteln wie R11, R22 und R114 gerechnet und realisiert. Bei diesen Stoffen handelt es sich jedoch nicht um Arbeitsmedien im herkömmlichen Sinne, sondern um undifferenzierte Massenchemikalien die zufällig bzw. "recht und schlecht" in vorhandene thermische Gefälle eingebunden wurden, um mechanische Arbeit aus dem Prozess abzukoppeln. Wie eingangs beschrieben, werden heute in modernen ORC-Anlagen zeitgemäße synthetische Arbeitsmedien verwendet, die mit o. g. Massenchemikalien im Hinblick auf Wirkungsgrad, Betriebssicherheit und Umweltfreundlichkeit nicht zu vergleichen sind.

Die Stoffeigenschaften synthetischer Arbeitsmedien, die in entsprechenden T-S-Diagrammen beschrieben sind, werden direkt an die im Prozess herrschenden Bedingungen wie Druck und Temperatur angepasst. Des Weiteren werden Stoffeigenschaften wie Unbedenklichkeit gegenüber der chemischen Stabilität, der Feuergefährlichkeit, der Umwelt oder der Gesundheit beeinflusst.

Beim Einsatz von synthetischen Arbeitsmedien werden im ORC-Prozess, bei vergleichbaren thermodynamischen Ausgangsbedingungen, wie sie vor allem in geologischen Formationen in Mitteleuropa anzutreffen sind, gleiche Verstromungswirkungsgrade wie der Kalina-Technologie erzielt.

## **A. Piacentini**