

Bürgerinitiative



Grundlagen der Stromerzeugung aus hydrothermalen Geothermie

Kraftwerkstechnik und Effizienz

Erstellt von
Dipl.-Ing. Werner F. Striegl

Teil der Informationsinitiative der
Bürgerinitiative für umweltverträgliche und nachhaltige Nutzung alternativer Energiequellen (BIF UN²AE)



Eine Organisation, die als Antwort auf die Planung der größten Geothermieanlage Mitteleuropas mit einem vorgeschlagenen Standort im bzw. am Landschaftsschutzgebiet Hardtlandschaft und Eberfinger Drumlinfelder gegründet wurde.

Dezember 2009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Wirkungsgrade von Wärme-Kraft Maschinen (Kraftwerken)	4
Carnot-Prozess	4
Verfahren zur Stromgewinnung aus Geothermie	6
Die Kraft Wärme Kopplung	6
Verbrennungskraftwerke	6
Geothermiekraftwerke	8
Grundlastfähigkeit	9
Schlussfolgerung	10
Quellen	10
Haftungsausschluß	10

Vorwort

Von Investoren und Kraftwerksbetreibern werden häufig Begriffe und Argumente verwendet die nicht jedem Bürger geläufig sind und daher zu Missverständnissen führen können.

Dieses Dokument wurde erstellt um dem interessierten Leser einen Überblick über die grundsätzliche Kraftwerkstechnik zur Stromerzeugung aus Wärme zu geben. Insbesondere sollen die Begriffe „Wirkungsgrad“ und „Kraft-Wärme-Kopplung“ erörtert werden. Gerade die Unterschiede zwischen der bekannten Form der Kraft-Wärme-Kopplung in konventionellen Kraftwerken und der Kraft-Wärme-Kopplung aus tiefer Geothermie wurden von Investorensseite bislang nicht ausreichend erklärt.

Die beschriebenen und dargestellten Prozesse sind allgemeiner Art und zum besseren Verständnis teilweise vereinfacht. Wir hoffen mit diesem Dokument zur fortschreitenden Aufklärung über die Stromerzeugung aus tiefer Geothermie in Deutschland beitragen zu können.

Wirkungsgrade von Wärme-Kraft Maschinen (Kraftwerke)

Der **Wirkungsgrad** jeder Maschine errechnet sich aus dem Verhältnis von genutzter Energie zu verbrauchter Energie nach folgender Formel:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\text{genutzte Energie}}{\text{verbrauchte Energie}}$$

Bei geothermischer Stromerzeugung besteht eine große Diskrepanz zwischen abgebauter geothermischer Energie und daraus gewinnbarer elektrischer Energie.

Diese Diskrepanz ist umso größer, je niedriger das Temperaturniveau des Thermalwassers bzw. der nutzbare Temperaturunterschied zwischen Thermalwasser und Kühlmedium ist.

Bei den geologischen Bedingungen in Südbayern kann die geothermische Wärmeleistung technisch nur zu ca. 10% in elektrische Leistung umgewandelt werden.

Bei Verbrennungskraftwerken (Biomasse, Gas, Kohle) können Temperaturen im Arbeitsmedium (meist Wasser) von mehreren hundert Grad Celsius erreicht werden. Die technischen Wirkungsgrade solcher Anlagen erreichen bis 50%.

Am Missverhältnis zwischen thermischer und elektrischer Leistung können auch technische Verbesserungen wenig ändern, weil der maximal erreichbare Wirkungsgrad von Wärmekraftwerken grundsätzlich vom so genannten Carnot-Prozess abhängt.

Carnot-Prozess

Der Carnot-Kreisprozess beschreibt eine ideale Maschine, die Wärme ohne jeglichen Verluste in mechanische Energie umwandelt und somit die naturgesetzlichen Grenzen aufzeigt. Da in der Realität keine verlustfreie Maschine existiert, ist dieser Wert jedoch nur eine rein theoretische Größe, die selbst mit den effizientesten Anlagen nicht erreicht werden kann. In der Praxis liegen die technisch erreichbaren Wirkungsgrade von Wärmekraftwerken erheblich niedriger¹.

¹ Der technische Wirkungsgrad von Maschinen zur Umwandlung von Wärme in Kraft liegt bei ca. 1/3 bis 2/3 des Carnot-Prozess Wirkungsgrades.

Der ideale Carnot-Prozess Wirkungsgrad η_c berechnet sich aus dem Verhältnis der höchsten (T_h) und der niedrigsten (T_n) Temperatur des Prozesses nach der Formel:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_n}{T_h}$$

Mit T_i = absolute Temperaturen in Kelvin

Der Carnot-Wirkungsgrad ist umso höher, je größer das Temperaturgefälle zwischen T_h und T_n d.h. je höher die obere Temperatur T_h ist.

Tatsächlich wird dieser ideale Carnot-Wirkungsgrad in der Praxis jedoch nie erreicht. Der technisch erreichbare Wirkungsgrad liegt, je nach Verfahren, bei etwa einem bis zwei Drittel des Carnot-Wirkungsgrades.

Beispielsweise liegt der ideale Carnot-Wirkungsgrad für die Anlage in Unterhaching, die ein Temperaturunterschied von 122°C (Thermalwassertemperatur) (2) auf 10°C (Kühltemperatur)² nutzt, bei 28 Prozent. Das heißt, dass unter verlustfreien Bedingungen maximal 28 Prozent der geothermischen Leistung in mechanische und danach in elektrische Energie umgesetzt werden könnten. Mehr ist in diesem Temperaturbereich schon aufgrund physikalischer Gesetze nicht möglich.

Der technisch wirklich erreichbare Wirkungsgrad liegt bei nur ca. 1/3 des idealen Carnot-Prozess Wirkungsgrades, also bei ca. 10%. Dieser Wert wird auch als „Brutto“-Wirkungsgrad der Stromerzeugungsanlage bezeichnet. Leider haben Geothermie Kraftwerke relativ hohe Verluste in den aufwändigen Prozessen zur Stromerzeugung bei niedriger Temperatur. Wegen des niedrigen Temperaturniveaus kann hier kein hocheffizienter Umwandlungsprozess genutzt werden.

Darüber hinaus haben Geothermie Kraftwerke einen hohen Eigenenergiebedarf, vor allem durch die Thermalwasserpumpen, welche insbesondere den Höhenunterschied des Tiefenwassers vom Förderhorizont an die Erdoberfläche überwinden müssen. Der Eigenenergie-

² Mittlere Umgebungstemperatur zur Kühlung

aufwand eines hydrothermalen Geothermiekraftwerks in Südbayern liegt bei ca. 30%³ der produzierten Strommenge. Dadurch fällt der technische Netto-Wirkungsgrad (Stromerzeugung) der meisten Anlagen unter 10%.

Verfahren zur Stromgewinnung aus Geothermie

Es gibt derzeit 2 Verfahren zur Stromgewinnung aus hydrothormaler Geothermie.

In Unterhaching wird das Kalina-Verfahren angewandt(2). Dieses Verfahren nutzt ein Gemisch aus Ammoniak⁴ und Wasser, da Ammoniak bei sehr niedrigen Temperaturen verdampft. Dieses Verfahren ist relativ aufwändig, jedoch bei relativ kaltem Thermalwasser (bis ca. 120°) effektiver als andere Verfahren.

Die BE-Geothermal GmbH plant für die Anlage bei Bernried das Organic-Rankine-Cycle (ORC) Verfahren. Beim kostengünstigeren ORC Verfahren wird Perflourpentan⁵ als Arbeitsmedium im Stromerzeugungsprozess genutzt. Pentan hat ebenfalls einen niedrigen Siedepunkt (ca. 55°C) und wird in einem Temperaturbereich von ca. 140-200°C angewandt.

Die Kraft Wärme Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer bzw. elektrischer Energie und nutzbarer Wärme für Heizzwecke (Fernwärme) oder Produktionsprozesse (Prozesswärme). Insbesondere bei der Stromherstellung aus Brennstoffen eignet sich eine Auskopplung von Nutzwärme, wodurch die Abgabe von ungenutzter Abwärme an die Umgebung weitgehend vermieden wird.

Verbrennungskraftwerke

Die allgemein bekannte Form der KWK findet bei Verbrennungskraftwerken Anwendung. Das Prinzip der KWK kann mit jedem Brennstoff und jeder Energiequelle mit einem Temperaturniveau ab ca. 220 °C genutzt werden. In Betracht kommen neben fossilen Energien

³ BE-Geothermal GmbH: Stromproduktion brutto 77GWh/Jahr, nach Abzug Eigenenergiebedarf 55 GWh/Jahr

⁴ Ammoniak ist giftig (T) und Umweltgefährlich (N)

⁵ Pentan ist Hochentzündlich (F+), Gesundheitsschädlich (Xn) und Umweltgefährlich (N)

wie Steinkohle, Braunkohle, Erdgas und Heizöl auch erneuerbare Energien wie Biogas, Klärgas, Deponiegas, Pflanzenöl, Holzpellets, Bioethanol.

Das technische Prinzip der KWK basiert bei Verbrennungskraftwerken darauf, dass ein Arbeitsmedium zur Stromerzeugung verdampft und nach der Entspannung in z.B. einer Turbine wieder abgekühlt und kondensiert wird (Abbildung 1). Im Normalfall geschieht die Abkühlung und Kondensation des Arbeitsmediums in Kühlern (z.B. Kühlturm), welche die Wärme an die Umgebung abgeben. Ist diese Restwärme hoch genug für eine Fernwärmeheizung (mind. ca. 90°C) und gibt es in der Nähe des Kraftwerks Abnehmer für diese Wärme (z.B. Wohnsiedlungen), so kann diese Wärmeenergie ebenfalls genutzt werden. Dadurch erhöht sich der Gesamtwirkungsgrad solcher Kraftwerke von max. 50% bei reiner Stromerzeugung auf bis zu 90% mit KWK.

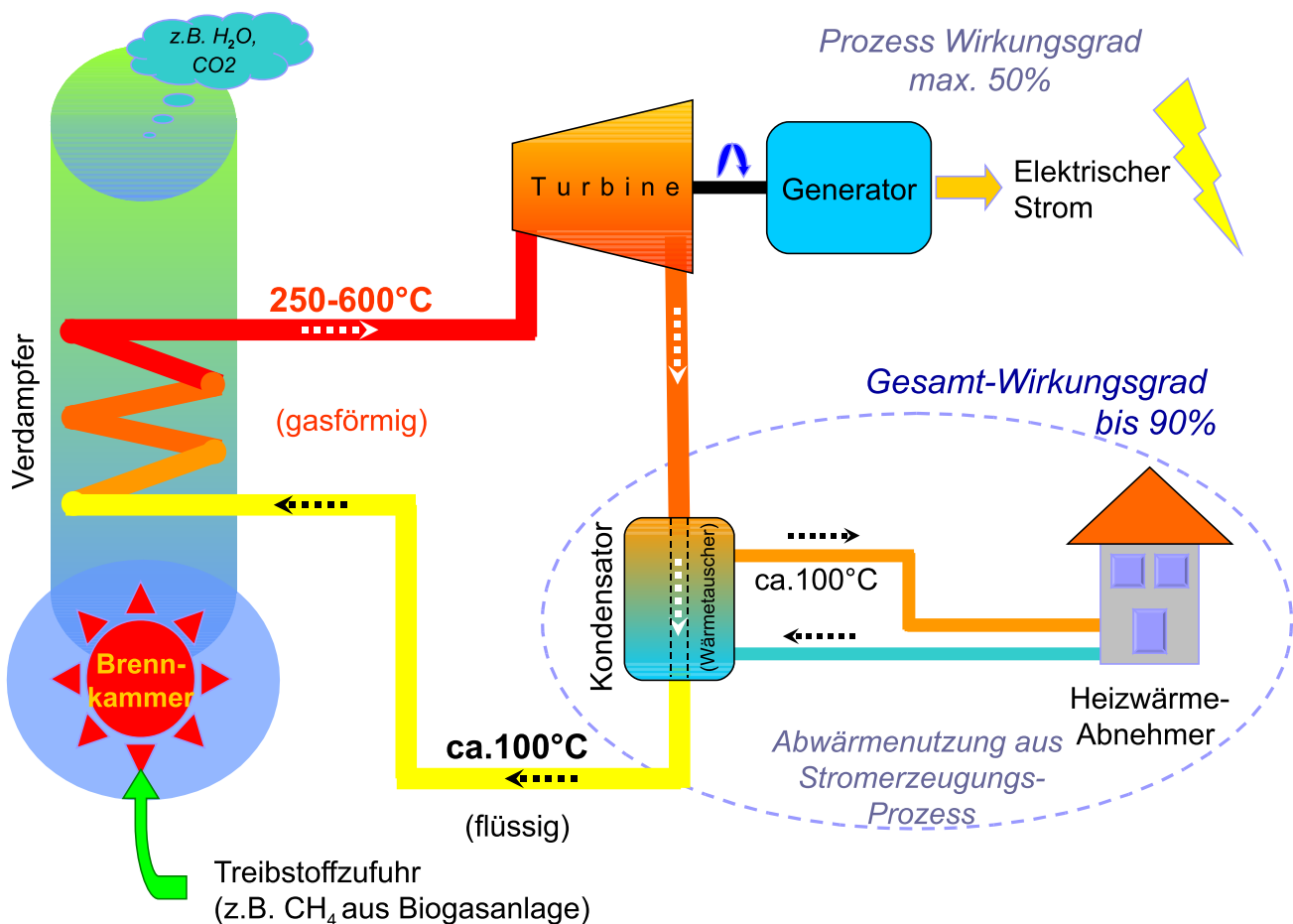


Abbildung 1 Verbrennungskraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung

Geothermiekraftwerke

Bei der Kraft-Wärme Kopplung mit Geothermie im geologisch inaktiven Deutschland ist das Temperaturniveau deutlich niedriger als bei den meisten Verbrennungskraftwerken. Dadurch sinkt auch das Niveau der Abwärme aus dem Stromerzeugungskreislauf z.B. bei Pentan auf maximal 50°C. Deshalb kann bei der geothermischen Stromerzeugung die Abwärme aus dem Stromerzeugungsprozess in der Regel nicht mehr für ein Fernwärmenetz genutzt werden.

Die Wärmeauskopplung bei der geothermischen Stromerzeugung geschieht unabhängig vom Stromerzeugungsprozess in einem parallelen Prozess (Abbildung 2). Dadurch dass die Abwärme aus dem Stromerzeugungsprozess nicht wie bei einem Verbrennungskraftwerk genutzt werden kann ergibt sich der Wirkungsgrad aus der verhältnismäßigen Aufteilung der Thermalwassermenge auf Stromerzeugung und Wärmenutzung. Kombinierte Gesamtwirkungsgrade bei KWK aus tiefer Geothermie erreichen bis ca. 25%. Bei reiner Wärmenutzung, mit Verzicht auf Stromerzeugung, könnten deutlich höhere Wirkungsgrad erreicht werden.

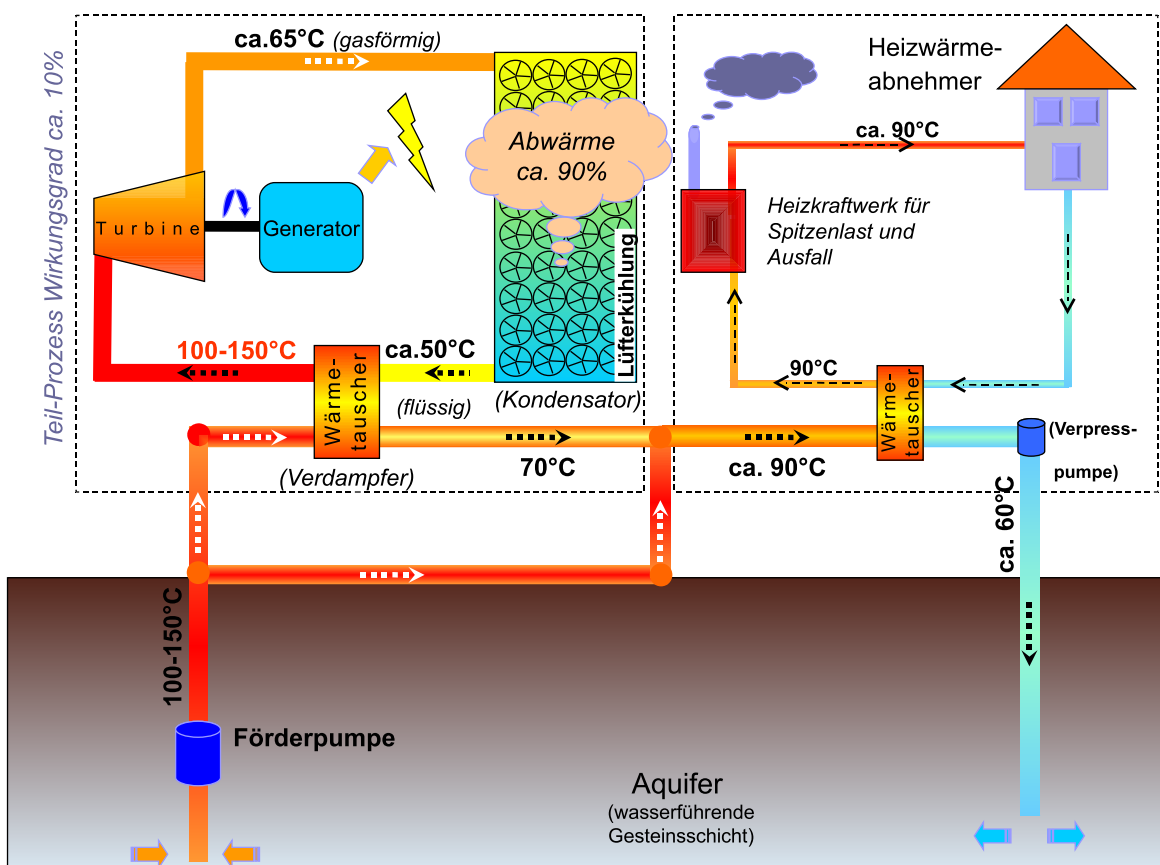


Abbildung 2 Geothermiekraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung

Grundlastfähigkeit

Oft wird die Grundlastfähigkeit von Geothermiekraftwerken zur Stromerzeugung als Vorteil dieser Technik genannt. Grundlastfähigkeit bedeutet, dass ein Stromerzeugungskraftwerk unabhängig von Tages- und Jahreszeit sowie Wetterbedingungen (z.B. bei Wind und Sonne) immer gleichmäßig zur Stromversorgung beiträgt.

Das Argument der Grundlastfähigkeit ist nur für einen kleinen Teil der Geothermiekraftwerke gültig, da die Grundlastfähigkeit eine Stromsteuerung⁶ der Anlage voraussetzt. Das bedeutet aber gleichzeitig, dass vergleichsweise wenig Wärmeenergie für eine Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden kann. Geothermiekraftwerke wie z.B. in Unterhaching mit einer effizienteren Wärmesteuerung sind nicht grundlastfähig, denn dort wird nur dann Strom produziert wenn wenig oder keine Heizwärme benötigt wird (z.B. im Sommer).

Bei luftgekühlten Anlagen spielt darüber hinaus die Umgebungstemperatur zur Kühlung des Stromerzeugungs-Prozesses eine entscheidende Rolle. Wie aus dem Carnot-Prozess Wirkungsgrad abgeleitet werden kann, variiert die produzierbare Strommenge abhängig von der Witterung um über 30%.⁷

Grundlastfähigkeit bedeutet aber auch, dass ein substantieller Anteil der deutschen Stromerzeugung durch diese Energiequelle produziert werden kann.

Der Anteil der Stromerzeugung aus hydrothermalen Geothermie in Deutschland ist im Vergleich zu anderen als erneuerbar eingestuft Energiequellen verschwindend gering und auch das langfristige Potential ist sehr klein. Laut dem TAB - Arbeitsbericht Nr. 84 aus 2003 (7) ist die langfristig erreichbare Obergrenze für Stromerzeugung aus hydrothermalen Geothermie auf 0,5% des deutschen Strombedarfs begrenzt.

⁶ Stromsteuerung bedeutet die Anlage wird nur nach der benötigten Strommenge gesteuert. Wärme wird nur genutzt wenn diese verfügbar ist, bzw. benötigt wird (starke Zusatz-Heizsysteme notwendig!)

⁷ Lufttemperatur in München variiert von minimal -30°C bis maximal +37°C (6)

Schlussfolgerung

Ob das geringe Potential und die schlechten Wirkungsgrade der geothermischen Stromerzeugung die Kosten und Risiken dieser Technologie rechtfertigen ist fraglich. Grundsätzlich sollten zur Schonung der Thermalwasser-Ressourcen nur wärmegesteuerte Geothermie Anlagen in Betracht gezogen werden. An Standorten ohne ausreichende Wärmeabnehmer sollten andere Systeme (z.B. dezentrale Blockheizkraftwerke) gegenüber der Geothermie bevorzugt werden.

Quellen

- (1) Erdwerk GmbH, *Tiefe Hydrothermale Geothermie (Grundlagen, Nutzung und Erschließung)*
- (2) <http://www.geothermie-unterhaching.de>
- (3) H. Kuchling, (1991) - *Taschenbuch der Physik (13.Auflage)*
- (4) E.Hering ,R.Martin ,M.Stohrer, (1992) *Physik für Ingenieure (4.Auflage)*
- (5) <http://de.wikipedia.org/wiki/Carnot-Wirkungsgrad>
- (6) *Deutscher Wetterdienst* : <http://www.dwd.de>
- (7) H. Paschen, D. Oertel, R. Grünwald – (2003). *DEUTSCHER BUNDESTAG - Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung. TAB - Arbeitsbericht Nr. 84 - Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland – Sachstandsbericht.*

Haftungsausschluß

Die nachfolgenden Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen recherchiert und zusammengestellt. Sie sollen einen Überblick über die Aspekte der Geothermie geben, die von Geothermie-Investorensseite nicht genannt werden. Die Unterlage hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die beschriebenen und dargestellten Prozesse sind allgemeiner Art und können im Einzelfall abweichen.

Wir verstehen diese Unterlage auch als unsere rechtlich zugesicherte, freie Meinungsäußerung.

Wir weisen ausdrücklich darauf hin und versichern, dass wir kein wirtschaftliches oder finanzielles Interesse mit dieser Veröffentlichung verfolgen.

Unser Ziel ist der Schutz unserer Umwelt, unseres Klimas und unserer Häuser.