

Zusätzliche Auskühlung des Geothermiewassers und Wärmeversorgung bei höherer Temperatur mit Hilfe von Wärmetransformatoren

Dr. Klaus Ramming

AGO AG Energie + Anlagen

Keywords: Absorptionswärmepumpe, Wärmetransformator, Rücklaufauskühlung

Zusammenfassung

Wärmetransformatoren sind Absorptionswärmepumpen, welche Wärme von einem mittleren Temperaturniveau auf ein hohes Temperaturniveau bringen. Das besondere dieses Typs von Wärmepumpe ist, dass die Wärme auf mittlerem Temperaturniveau auch als Antriebsenergie genutzt wird. Die Maschine nutzt hierbei das Temperaturgefälle zur Umgebung als Antrieb aus. Es wird keine nennenswerte höherwertige Antriebsenergie benötigt.

Wärmetransformatoren werden dort sinnvoll eingesetzt, wo die Wärme auf mittlerem Temperaturniveau nicht direkt genutzt werden kann, da die Wärmeverbraucher eine höhere Temperatur benötigen oder der Rücklauf des Verbraucherkreises einfach bereits eine zu hohe Temperatur aufweist. Als Wärmequelle und für den Antrieb kann Wärme genutzt werden, die mindestens 20 K über der Umgebungstemperatur liegt. Es kann ein Temperaturhub von der Wärmequelle zur Wärmesenke von bis zu 50 K erreicht werden.

Bei einer Wärmeversorgung auf Basis von Geothermiewärme können Wärmetransformatoren unterschiedliche Zwecke erfüllen und die Leistung und Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage erhöhen.

1. Es kann das Geothermiewasser weiter ausgekühlt werden und dadurch eine höhere geothermische Leistung gewonnen werden. Dies ist entweder direkt möglich mit einem zusätzlichen Wärmetauscher in Reihe zum üblichen Trennwärmetauscher zum Fernwärmenetz oder indem der Rücklauf aus dem Fernwärmenetz weiter ausgekühlt wird. Die dabei gewonnene Wärme wird zu ca. 50 % auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau gebracht und kann z. B. dem Fernwärmenetz zugeführt oder hierdurch ein separater Wärmeverbraucher versorgt werden. Die zweiten ca. 50 % der aufgenommenen Wärme auf Mitteltemperaturniveau dienen als Antriebsenergie und werden bei niedrigem Temperaturniveau an die Umgebung abgegeben. Es ist somit möglich, zumindest ca. 50 % der bisher ungenutzten Geothermiewärme auf ein höheres nutzbares Energieniveau zu bringen. Da als Antrieb die bisher ungenutzte Wärme dient, sind die Betriebskosten für diese Wärmepumpenanwendung marginal.

2. Es kann Geothermiewärme ohne nennenswerte Betriebskosten auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden, als es die Temperatur des Geothermiewassers selbst ermöglicht. Dies kann insbesondere dort interessant sein, wo die Temperatur des Geothermiewassers lediglich ca. 50 – 80°C aufweist. Benötigen einzelne Wärmekunden Wärme auf einem Temperaturniveau über der Temperatur des Geothermie- oder Fernwärmewassers oder soll z. B. ein Wärmespeicher mit einer höheren Temperatur geladen werden, kann dies mit Hilfe eines Wärmetransformators durch Ausnutzung von Geothermiewärme ohne zusätzliche (fossile) Nacherwärmung gemacht werden.

Da als Antriebswärme bisher ungenutzte Wärme genutzt wird, sind die Betriebskosten für den Antrieb von Pumpen, Regelventilen und dem Rückkühler sehr gering. Der Wärmepreis auf dem hohen Temperaturniveau wird im Wesentlichen von der Abschreibung der Investition dominiert. Zum einen handelt es sich bei Absorptionswärmepumpen und Wärmetransformatoren um sehr zuverlässige und langlebige Maschinen ohne viel bewegte Teile, weshalb eine hohe Abschreibungszeit angesetzt werden kann. Zum anderen gibt es zumindest in Deutschland interessante Förderprogramme mit zinsgünstigen Darlehen und Tilgungszuschüssen. Der komplette Wärmepreis inkl. Finanzierung der Anlage, Einbindung, Betrieb etc. liegt bei lediglich ca. 1,6 ct/kWh.

Mit Wärmetransformatoren kann somit die Nutzleistung einer Geothermieanlage durch weitere Auskühlung des Rücklaufs merklich erhöht werden und zudem auch Wärme mit einem höheren Temperaturniveau energieeffizient und wirtschaftlich bereitgestellt werden.

1. Einleitung

Bei Fernwärmenetzen, welche durch Geothermie beheizt werden, hängt die von der Geothermie nutzbare Leistung von 3 Parametern ab.

- Die Schüttung der Geothermiebohrung; \dot{m}_{Geo}
- Die Temperatur des austretenden Wassers; T_1
- Die Rücklauftemperatur des im Schluckbrunnen wieder eingeführten Wassers; T_2

$$\dot{Q}_{Geo} = \dot{m}_{Geo} * c_{p\ Wasser} * (T_2 - T_1)$$

Die Schüttung und die Temperatur des Geothermiewassers hängen im Wesentlichen von der Geologie und der Bohrung ab und können nachträglich kaum beeinflusst werden. Die Temperatur des Wassers, das wieder dem Schluckbrunnen zugeführt wird, ist hingegen von der Charakteristik der Wärmenutzung abhängig.

Da die geothermische Wärme in der Regel über einen Wärmeübertrager an das Wasser eines Fernwärmenetzes übertragen wird, hängt die Rücklauftemperatur des Geothermiewassers im Wesentlichen von der Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes ab.

Auf Grund der Struktur der Fernwärmekunden liegt die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz oft bei ca. 60 °C. Dies hat zur Folge, dass das Geothermiewasser je nach Auslegung des Wärmeübertragers nicht viel weiter als auf 65°C abgekühlt werden kann.

Bei einer beispielhaften Geothermieanlage mit einer Schüttung von 100 l/s und einer Wassertemperatur von 120°C ergibt sich somit eine Nutzwärmeleistung von 23,1 MW. Könnte man das Wasser anstatt auf 65°C bis auf 50°C abkühlen stünde eine zusätzliche Wärmeleistung von 6,3 MW zur Verfügung, ohne dass an der investitionsintensiven Bohrung und Erschließung der Erdwärme etwas geändert werden müsste.

Diese Wärme steht somit nahezu kostenfrei zur Verfügung. Leider jedoch auf einem Temperaturniveau, das für eine Einspeisung in ein Fernwärmenetz zu kalt wäre, da sie unterhalb der Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes liegt. Für die Anhebung des Temperaturniveaus eines Wärmestroms eignen sich prinzipiell Wärmepumpen. Auf Grund des verhältnismäßig hohen

Strompreises in Deutschland, sind elektrisch angetriebene Kompressions-Wärmepumpen für diese Anwendung jedoch meist unwirtschaftlich.

Absorptionswärmepumpen, die mit Wärme anstatt mit Strom angetrieben werden, werden auf Grund der Entwicklung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in den letzten Jahren zunehmend interessanter.

2. Aufbau und Funktionsweise eines Wärmetransformators

Ein Wärmetransformator ist eine spezielle Bauart von Absorptionswärmepumpen. Absorptionswärmepumpen im Allgemeinen sind Wärmepumpen, die als Antrieb nicht wie bei Kompressionswärmepumpen elektrischen Strom, sondern Wärme nutzen. Bei der am weitest verbreiteten Form der Absorptionswärmepumpe des Typs I dient als Antriebsenergie Hochtemperaturwärme. Dieser Bautyp von Absorptionswärmepumpen ist insbesondere dann interessant, wenn die Antriebswärme günstig oder sogar kostenfrei z. B. als ungenutzte industrielle Abwärme zur Verfügung steht.

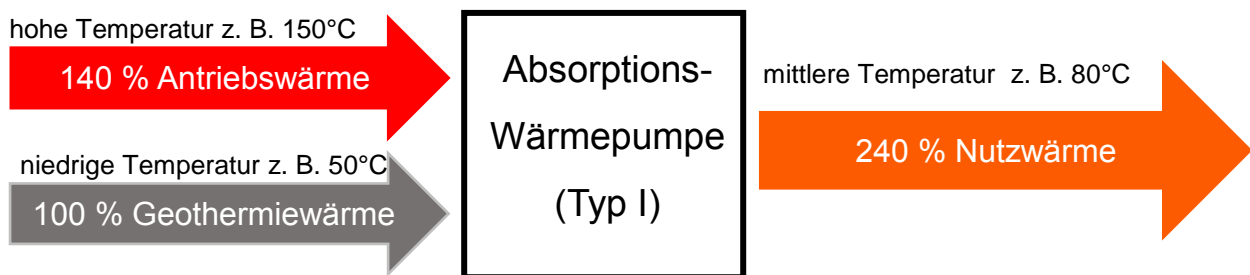


Abb. 1: Energieströme Absorptionswärmepumpe Typ I

Ein weiterer jedoch nicht so weit verbreiteter Typ von Absorptionswärmepumpen ist der Typ II, der auch Wärmetransformator genannt wird. Bei ihm dient die auf mittlerem Temperaturniveau zugeführte Wärme selbst als Antrieb. Es wird hierbei der Temperaturunterschied zur Umgebung als treibende Kraft ausgenutzt. Von der auf mittlerem Temperaturniveau zugeführten Wärme können je nach Temperaturkonstellationen ca. 40 – 50 % auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden. Der Rest wird als Antriebsenergie „verbraucht“ und muss bei möglichst niedriger Temperatur rückgekühlt, also in der Regel an die Umgebung abgeführt werden. Bei diesem Bautyp ist somit keine höherwertige Antriebsenergie erforderlich. Anwendungen sind dort interessant, wo in größerer Leistung bisher ungenutzte Wärme auf mittlerem Temperaturniveau (45°C bis 70°C) zur Verfügung steht bzw. nicht mehr direkt genutzt werden kann.

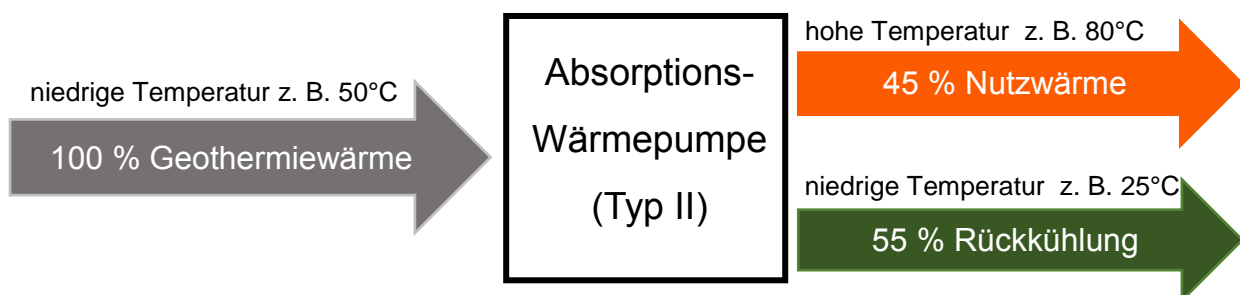


Abb. 2: Energieströme Absorptionswärmepumpe Typ II

In Abb. 3 ist ein vereinfachtes Schema eines Wärmetransformators dargestellt, anhand dessen die Funktionsweise einer solchen Absorptionswärmepumpe nachvollzogen werden kann. Im Austreiber wird durch Zufuhr von bisher ungenutzter Wärme dampfförmiges Ammoniak aus einer an Ammoniak reichen wässrigen Lösung ausgetrieben. Die zurückbleibende an Kältemittel armen Lösung wird vom Niederdruckniveau auf Hochdruckniveau gepumpt und in einem internen Wärmetauscher durch Wärmerückgewinnung vorgewärmt. Das dampfförmige Ammoniak wird in einem Verflüssiger unter Wärmeabgabe an die Umwelt kondensiert. Das flüssige Kältemittel wird dann auch vom Niederdruckniveau auf Hochdruckniveau gepumpt und danach in einem Verdampfer durch weitere Zufuhr der bisher ungenutzten Wärme verdampft. Im Absorber löst sich das dampfförmige Ammoniak in der armen Lösung. Hierbei wird die Lösungswärme bei einer hohen Temperatur frei, welche an den Nutzwärmekreis abgegeben wird. Die ammoniakreiche Lösung wird danach noch im internen Wärmetauscher abgekühlt und durch ein Drosselventil wieder auf Niederdruckniveau entspannt, wodurch sich der Kältekreis schließt.

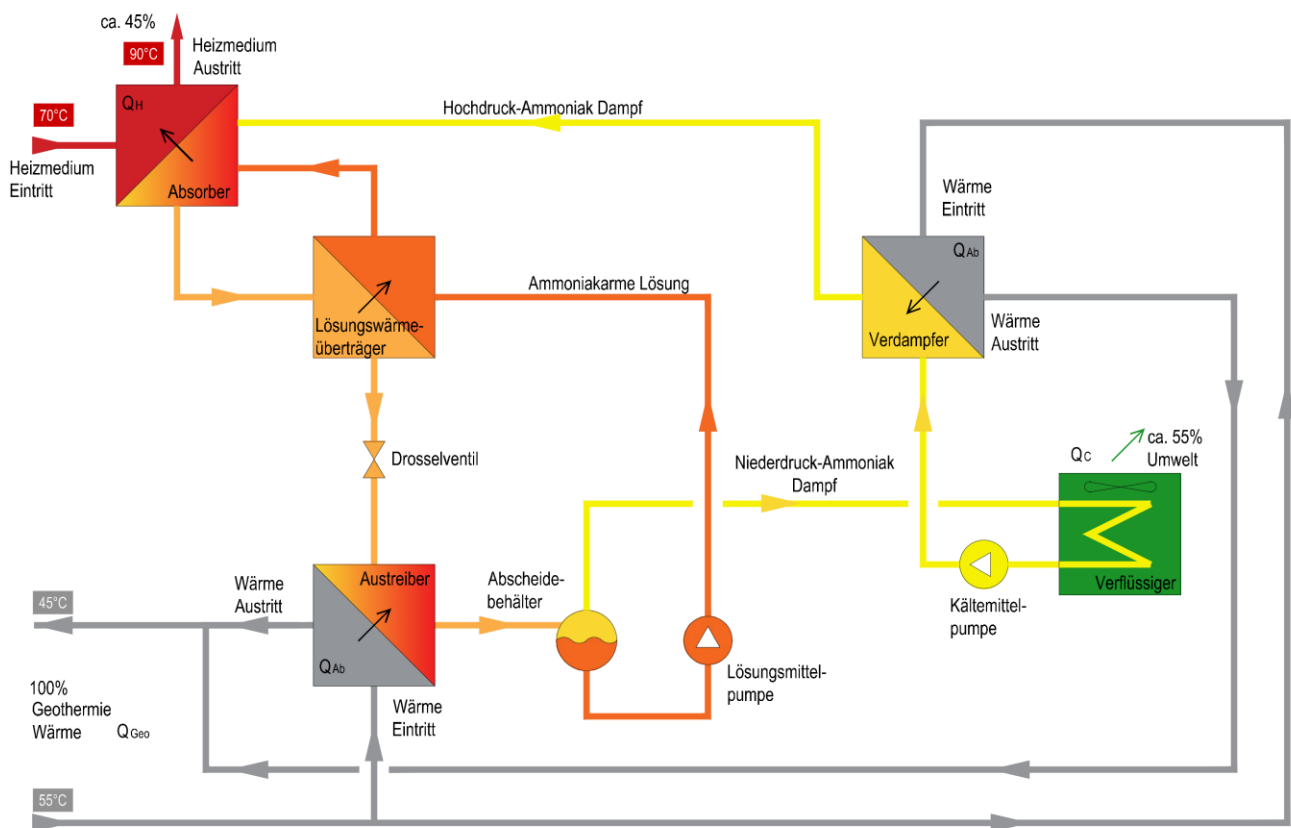


Abb. 3: Vereinfachtes Schema eines Wärmetransformators

Eine Absorptionswärmepumpe besteht somit im Wesentlichen aus Wärmetauschern, Pumpen, Behältern und Rohrleitungen. Sie beinhaltet nur wenige bewegte Teile (nur Pumpen und Regelventile) die gewartet werden müssen. Absorptionswärmepumpen sind daher eine sehr robuste und zuverlässige Technologie mit geringem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand.

Sämtliche Wärmetauscher des Wärmetransformators *AGO Calforma*, werden als Plattenwärmetauscher ausgeführt. Insbesondere der Verdampfer und Austreiber könnten z. B. auch als gedichtete bzw. halbverschweißte Apparate mit Titan-Platten ausgeführt werden, damit diese bei aggressivem Geothermiewasser zum einen keinen Schaden nehmen und zum anderen gereinigt werden können.

3. Einbindungsmöglichkeiten in ein Fernwärmenetz mit geothermischer Wärmequelle

Um mit einem Wärmetransformator die geothermische Leistung einer Bestandsbohrung zu erhöhen oder die Nutztemperatur anzuheben, gibt es mehrere Möglichkeiten der Einbindung. Nachfolgend werden beispielhaft einige Varianten vorgestellt.

3.1 Weitere Auskühlung des Geothermiewassers bzw. des Fernwärmerücklaufs

Eine Variante wäre beispielhaft, dass der Wärmetransformator direkt das Geothermiewasser weiter auskühlt. Ein entsprechendes vereinfachtes Einbindeschema ist in Abb. 4 dargestellt.

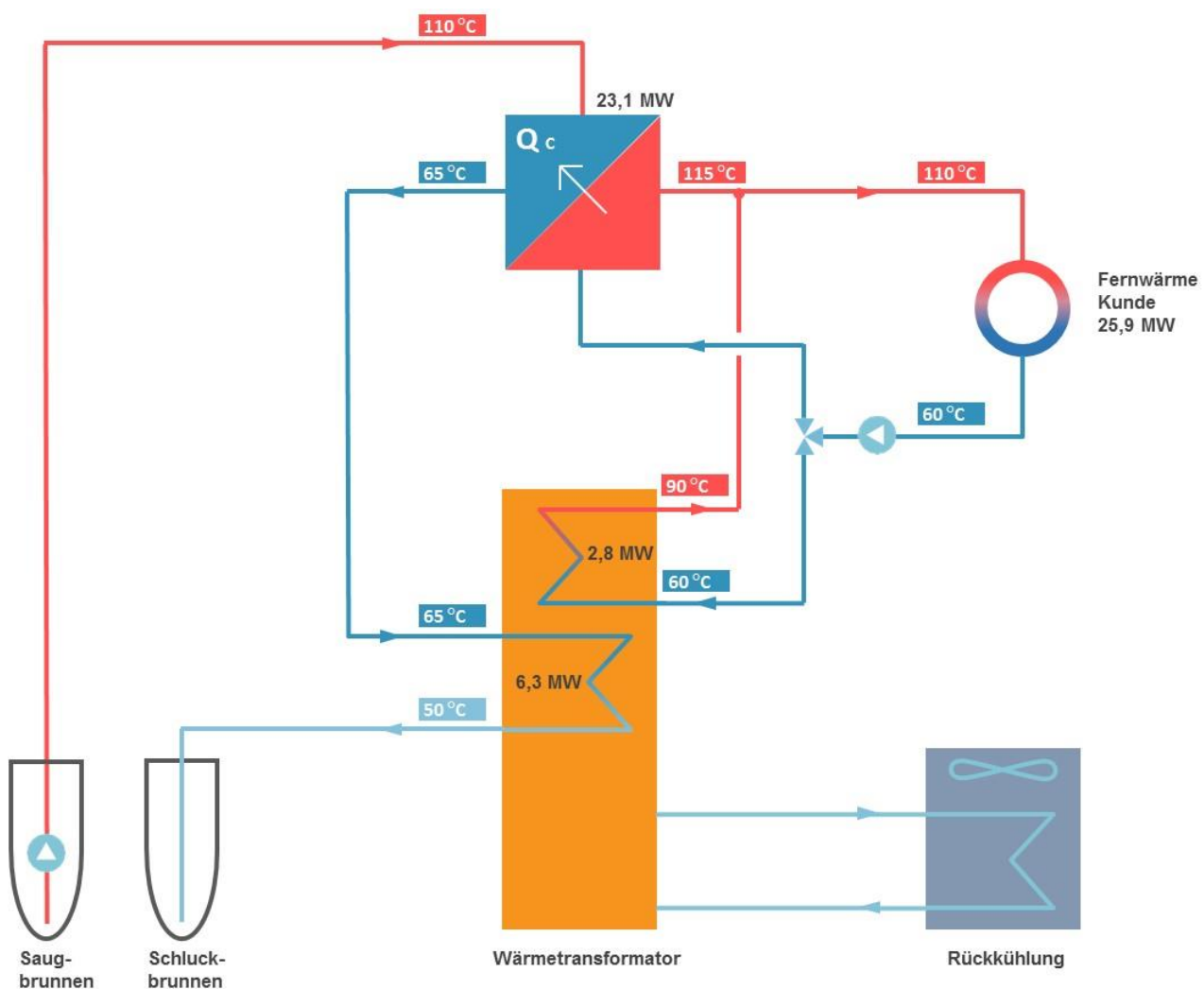


Abb. 4: Einbindungsschema weitere Auskühlung Geothermiewasser

Eine weitere Einbindungsmöglichkeit wäre durch eine weitere Abkühlung des Fernwärmerücklaufs gegeben, siehe Abb. 5. Diese Schaltung hat den Vorteil, dass der Wärmetransformator nicht mit dem potentiell aggressiven Geothermiewasser in Berührung kommt und auch keine Veränderungen am meist sensiblen Geothermiewasserkreislauf notwendig sind. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Einbindung räumlich unabhängig ist. Der Wärmetransformator muss nicht zwangsläufig direkt

vor dem Geothermiewärmetauscher eingebunden werden, sondern auch an anderen Stellen im Fernwärmenetz. Hierdurch können z. B. auch auf lokale Platzverhältnisse wie auch andere lokale Gegebenheiten oder einzelne Großkunden mit speziellen Anforderungen, wie z. B. prozessbedingter erhöhter Rücklauftemperatur Rücksicht genommen werden.

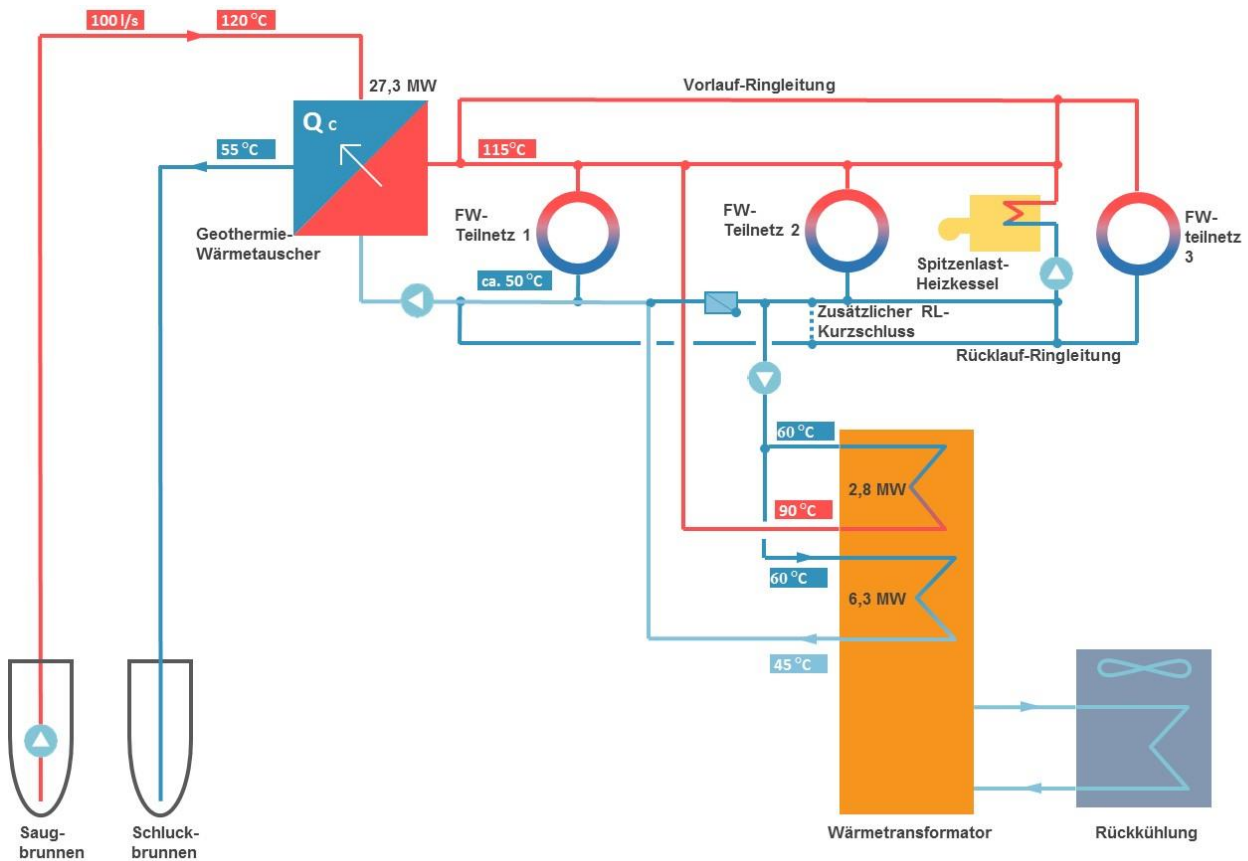


Abb. 5: Beispielhafte Einbindung zur weiteren Auskühlung des Fernwärmerücklaufs

Bei dieser Einbindung ist jedoch darauf zu achten, dass der übliche Spitzenlastkessel im Rücklauf nicht zwischen der Einbindung des Wärmetransformators und des Geothermiewärmetauchers liegt, sondern in Fließrichtung dahinter. Da der Wärmetransformator maximal 50 % seiner aufgenommenen Antriebswärme auf hohem Temperaturniveau wieder als Nutzwärme zur Verfügung stellen kann, ist darauf zu achten, dass die aus dem Fernwärmenetz entzogene Wärme tatsächlich auch durch zusätzliche Geothermiewärme ausgeglichen wird und nicht im Winter durch einen Spitzenlastkessel ausgeglichen werden muss. Bei der Einbindung des Wärmetransformators mitten in einem verzweigten Netz, müsste zum Beispiel durch eine Jahressimulation mit Berücksichtigung der Netzstruktur ermittelt werden, bis zu welchem Anteil der Geothermiedeckung das vom Wärmetransformator weiter ausgekühlte Rücklaufwasser in Richtung des Geothermiewärmetauchers oder in Richtung des Spitzenlastkessels strömt. Eventuell ist es sinnvoller, den Wärmetransformator zeitweise nicht zu betreiben. Je nach lokaler Netzstruktur könnte durch hydraulische Anpassungen, z. B. über einen Kurzschluss in der Rücklauf-Ringleitung ermöglicht werden, dass die zusätzliche Auskühlung des Rücklaufs durch den Geothermiewärmetauscher anstatt durch den Spitzenlastkessel ausgeglichen wird.

Da der Wärmetransformator nur einen Temperaturhub von max. 50 K schafft, erreicht sie unter Umständen nicht die übliche Netzvorlauftemperatur in Spitzenlastzeiten. Durch die zusätzlich bereitgestellte Leistung sinkt somit unter Umständen etwas die Vorlauftemperatur, zumindest in Teilbereichen des Netzes. Alternativ wäre es natürlich auch möglich mit dem Wärmetransformator gezielt ein Teilnetz zu versorgen, das generell mit einer etwas niedrigeren Vorlauftemperatur auskommt.

3.2 Versorgung eines Hochtemperaturkunden durch Geothermie mittlerer Temperatur

Abhängig vom Verhältnis zwischen Wärmepreis, Strompreis und Gaspreis gibt es Konstellationen, bei denen es aus ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten interessant ist, Wärmekunden mit einem Wärmebedarf oberhalb der Temperatur des Geothermiewassers über einen Wärmetransformator anstatt einer Kompressionswärmepumpe, Absorptionswärmepumpe Typ1 oder einem konventionellen Gaskessel zu versorgen. Dies wäre insbesondere in Gebieten mit einer etwas niedrigeren Temperatur des Geothermiewassers von z. B. 50°C bis 80°C der Fall.

Die Einbindung in das Fernwärmenetz könnte dann entsprechend Abb. 6 erfolgen.

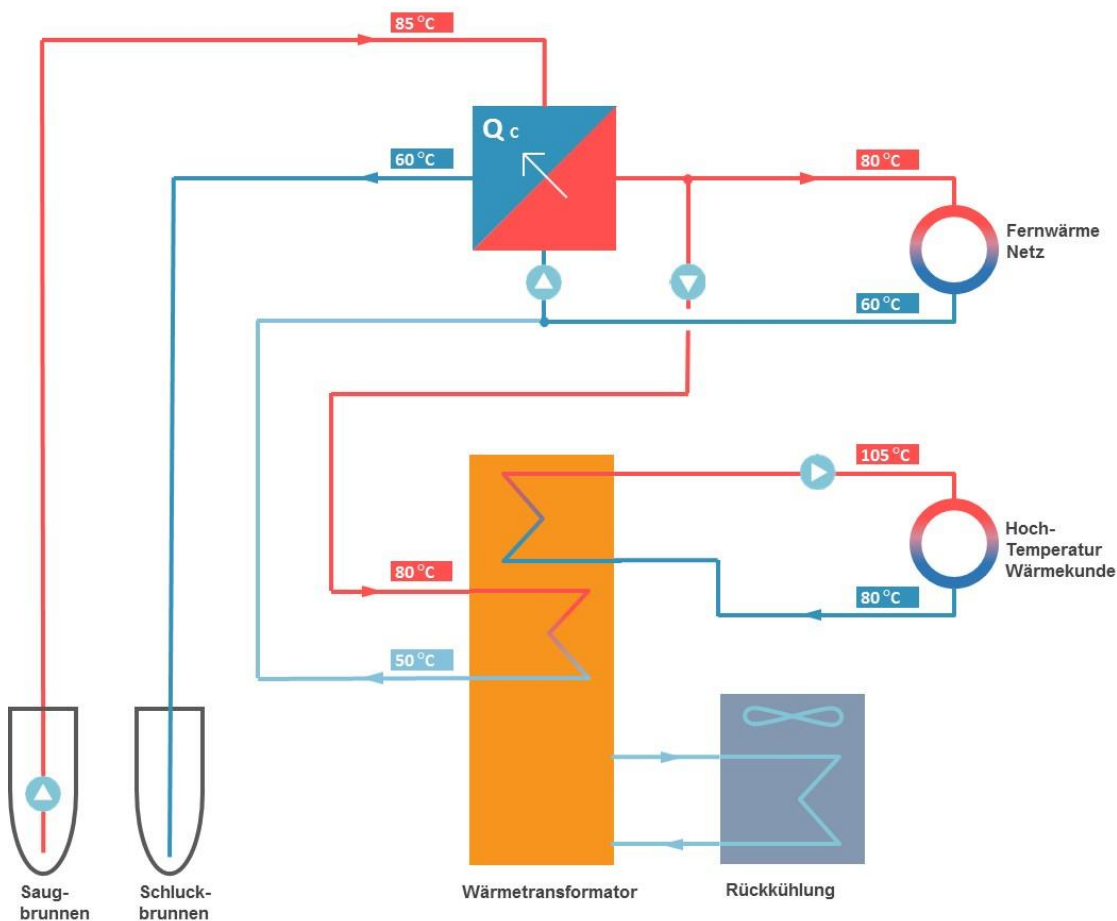


Abb. 6: Beispielhafte Einbindung zur Versorgung eines Hochtemperaturkunden

4. Wirtschaftlichkeit eines Wärmetransformators

Da für den Betrieb eines Wärmetransformators keine werthaltige Antriebsenergie benötigt wird, sind die Betriebskosten sehr gering, was dazu führt, dass die Nutzwärme zu einem verhältnismäßig niedrigen Preis zur Verfügung gestellt werden kann. In der nachfolgenden Tabelle (Abb.7) wird für eine beispielhafte Anlage der Wärmepreis inkl. aller Betriebs- und Finanzierungskosten ermittelt. Unter den Annahmen eines Strompreises von 0,20 €/kWh, einem Wasserpreis von 2 €/m³ und einem Zinssatz von 3 % bei einer Finanzierung über 10 Jahre ergibt sich bei einer Laufzeit von 7.000 Bh pro Jahr ein Wärmepreis von 0,0165 €/kWh. Dieser Wärmepreis ist deutlich niedriger im Vergleich zu fossil erzeugter Wärme und zudem auch noch erneuerbar. Im Vergleich zu einer gasbefeuerten Kesselanlage würde so eine Wärmetransformatoranlage 4.900 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen.

<u>Rahmenbedingungen</u>		
Strompreis Bezug	€/MWh	200,00
Trinkwasserpreis	€/m ³	2,00
<u>Energiemengen</u>		
Abwärmenutzung	kW	6.800
Betriebsstunden pro Jahr	Bh	7.000
Nutzwärmeleistung	kW	3.127
Rückkühlleistung	kW	3.583
el. Leistung Wärmetransformator	kW	52
el. Leistung Rückkühler + Kühlwasserpumpen	kW	59
Erzeugte jährliche Heizwärme	MWh	21.887
Jahresstrombedarf Wärmepumpe	MWh	361
Jahresstrombedarf Rückkühler + Pumpen	MWh	411
Wasserverbrauch Kühlturm	m ³ /a	11.469
<u>Investition</u>		
Wärmetransformator	€	790.000
Rückkühlkreis	€	430.000
Einbindung in Bestand	€	200.000
Wärmepumpen-Anlage komplett	€	1.420.000
Tilgungszuschuss durch öffentliche Förderprogramme	€	426.000
Investitionssumme gesamt:	€	994.000
<u>Ergebnisse:</u>		
Wartung und Instandhaltung	€/a	21.300
Stromkosten Wärmetransformator	€/a	72.231
Stromkosten Rückkühler + Pumpen	€/a	82.260
Wasserkosten Rückkühler	€/a	22.938
Versicherungen	€/a	10.000
Personalkosten	€/a	17.000
Nebenkosten	€/a	18.058
Finanzierung (Zins + Tilgung)	€/a	116.527
Jahreskosten gesamt	€/a	360.314
Wärmepreis	€/MWh	16,5
CO₂-Einsparung pro Jahr gegenüber Erdgas-Wärmeerzeugung	to/a	4.919,0

Abb. 7: Beispielhafte Wärmepreisberechnung Wärmetransformatoranlage

5. Fazit

Wärmetransformatoren ermöglichen es, geothermische Wärme niedriger Temperatur wieder auf ein höheres und damit für Kunden nutzbares Temperaturniveau zu heben. Hierdurch kann die nutzbare geothermische Leistung erhöht werden oder auch Kunden versorgt werden, deren Wärmebedarf bei einem Temperaturniveau oberhalb des Geothermievorlaufs liegt.

Die Antriebsenergie für die Wärmetransformatoren ist die Geothermiewärme selbst. Wird diese Wärme durch weiteres Auskühlen des Geothermierücklaufs gewonnen, steht diese Antriebsenergie nahezu kostenfrei zur Verfügung. Die Betriebskosten für den Wärmetransformator und dadurch auch der Wärmepreis für die zusätzlich gewonnene bzw. auf höherem Temperaturniveau verfügbare Nutzwärme ist somit sehr gering. Unter Berücksichtigung sämtlicher Finanzierungs- und Betriebskosten ist bei günstigen Einbindungsvoraussetzungen in die bestehende Anlagentechnik ein Wärmebereitstellungspreis von unter 2,0 ct/kWh möglich.

Wärmetransformatoren können daher dazu beitragen, das Potenzial einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Wärmeversorgung auf Basis von geothermischer Wärme weiter zu erhöhen.

AGO AG Energie + Anlagen, Am Goldenen Feld 23, 95326 Kulmbach
klaus.ramming@ago.ag