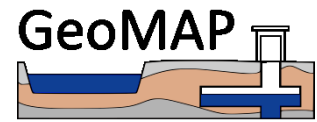




Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



2. Fachkonferenz des Projektes GeoMAP

„Geothermisches Potenzial von Grubenwässern und Herausforderungen der Anlagentechnik“

„Geotermický po-tenciál důlních vod a technologické výzvy“

Freiberg, 26. November 2019



technische
THERMO
DYNAMIK

Veranstalter

Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik

TU Bergakademie Freiberg

Gustav-Zeuner-Straße 7

09599 Freiberg

Kontakt

Dr.-Ing. Thomas Grab

+49 3731 39-3004

Thomas.Grab@ttd.tu-freiberg.de



geothermie.iwtt.
tu-freiberg.de

Grubenwassergeothermieanlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf

Lukas Oppelt; Sebastian Pose; Thomas Grab; Tobias Fieback

TU Bergakademie Freiberg

lukas.oppelt@ttd.tu-freiberg.de; sebastian.pose@ttd.tu-freiberg.de; thomas.grab@ttd.tu-freiberg.de;
tobias.fieback@ttd.tu-freiberg.de

Zusammenfassung

Aktuell werden insgesamt fünf Grubenwassergeothermieanlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf durch ein Monitoring des Lehrstuhls für Technischer Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg betreut. Bei allen fünf Anlagen besteht die Möglichkeit, das Grubenwasser zum Heizen einzusetzen, bei zwei Anlagen ist auch Kühlen mit Grubenwasser möglich. Für die Anlage an der Oberschule Ehrenfriedersdorf ergeben sich für die Heizperiode solide Arbeitszahlen ($\approx 1,3$ bei einer Gaswärmepumpe). Für die Anlage an der Reiche Zeche in Freiberg sind Arbeitszahlen >5 erreichbar. Der Vorteil liegt dabei darin, dass das Grubenwasser parallel zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden kann.

1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes VODAMIN II (SAB-Antragsnummer: 100304269) erfolgt durch den Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg ein Monitoring von fünf Grubenwasseranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf. Als regenerative Energiequelle sorgt eine energetische Nutzung von Grubenwasser für eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes (Jessop et al. 1995). Außerdem ist es in den Gruben über das gesamte Jahr nahezu unerschöpflich vorhanden (Grab et al. 2018). Die Wässer, die durch die fünf Anlagen genutzt werden weisen Temperaturen zwischen 10 und 19 °C auf. Damit bestehen verschiedene Nutzungsmöglichkeiten: mittels Wärmepumpen wird ein Temperaturniveau zur Beheizung einer Schule oder eines Krankenhauses bereitgestellt. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit das Wasser direkt zum Kühlen einzusetzen.

2. Bestehende Anlagen

Zwei Anlagen befinden sich in der Stadt Ehrenfriedersdorf im Erzgebirge, drei in Freiberg. Tab. 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Kenngrößen der einzelnen Anlagen:

Tab. 1: Wesentliche Kennwerte der Grubenwasseranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf

Anlage	Inbetriebnahme	Grubenwassertemperatur in °C	Leistung Heizen in kW	Leistung Kühlen in kW
Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf	1992, 1998 ¹	10	120	--
Oberschule Ehrenfriedersdorf	1994	10	95	--
Schloss Freudenstein Freiberg	2009	10	126	120
Kreiskrankenhaus Freiberg	2014	10	860	--

¹ Erweiterung der Anlage von 16 auf 120 kW (Rottluff 1998)

Anlage	Inbetriebnahme	Grubenwassertemperatur in °C	Leistung Heizen in kW	Leistung Kühlen in kW
Reiche Zeche Freiberg	2013	19/14	175	100

Wie die Tabelle zeigt, werden drei Anlagen nur zum Heizen eingesetzt, bei zwei besteht auch die Möglichkeit zur Kühlung. Die Besonderheiten der einzelnen Anlagen werden nachfolgend erläutert.

Das Prinzip einer Grubenwassergeothermieanlage zur Bereitstellung von Wärme ist beispielhaft am Anlagenschema des Besucherbergwerks Ehrenfriedersdorf zu erkennen (siehe Abb. 1). Dort wird das Wasser durch Pumpen im Bereich der 2. Sohle entnommen und einem Wärmeübertrager zugeführt, der sich ebenfalls auf der 2. Sohle befindet. Im Wärmeübertrager wird thermische Energie vom Grubenwasser auf einen Zwischenkreislauf übertragen. Dieses Fluid wird an die Oberfläche gepumpt und anschließend das Temperaturniveau durch eine Wärmepumpe erhöht. Nur so ist eine Nutzung zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung möglich. Das Grubenwasser wird nach dem Wärmeübertrager wieder zurückgeführt.

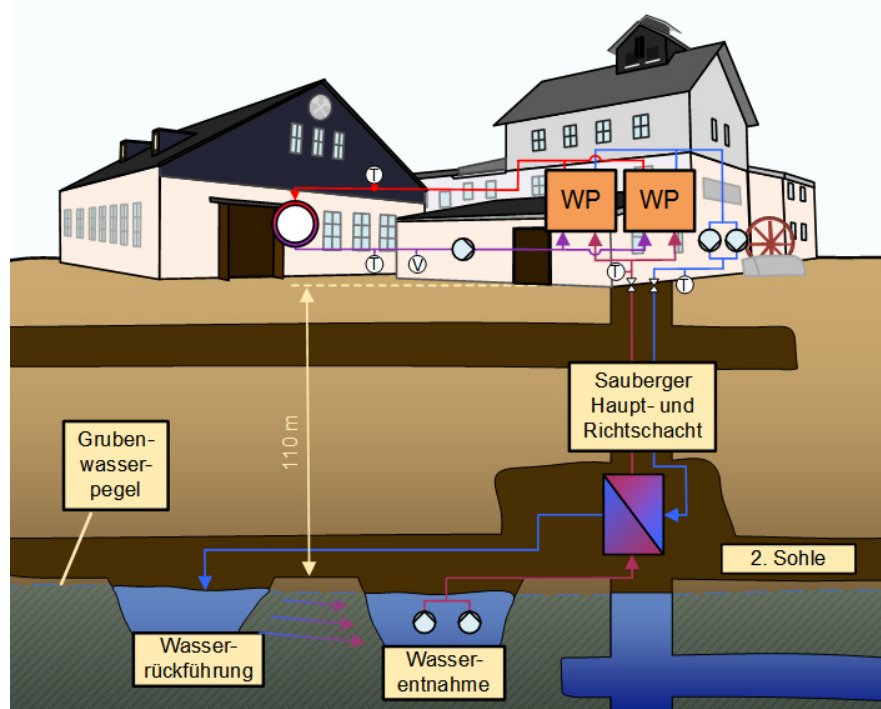


Abb. 1: Anlagenschema der Grubenwassergeothermieanlage des Besucherbergwerks Ehrenfriedersdorf

Die anderen Anlagen haben einen ähnlichen Aufbau. Bei der Oberschule Ehrenfriedersdorf gibt es die Besonderheit, dass keine aktive Hebung des Grubenwassers mit Pumpen notwendig ist. Durch die Flutung der stillgelegten Bergwerke steht das Grubenwasser inzwischen höher als die Förderbohrung. Dadurch war es auch möglich den Wärmeübertrager im Keller des Schulgebäudes zu positionieren, wodurch der Zugang erleichtert wird.

Für die Anlage von Schloss Freudenstein wurde der Alte Tiefe Fürstenstollen angestaut, um so das notwendige Grubenwasser entnehmen zu können. Auch hier wird das zum Heizen notwendige Temperaturniveau über eine Wärmepumpe erreicht. Im Kühlfall wird die Wärmepumpe ausgekoppelt.

Im Freiburger Kreiskrankenhaus und bei der Anlage der Reichen Zeche wird Grubenwasser aus dem Rothschönberger Stolln genutzt. Bei der Reichen Zeche (Anlagenschema in Abb. 2) besteht aber auch die Möglichkeit aufsteigende Tiefenwässer aus dem Schacht Reiche Zeche zu nutzen. Diese haben mit rund 19 °C höhere Temperaturen als das Grubenwasser im Rothschönberger Stolln (an der Reichen Zeche 14 °C, am Krankenhaus etwa 10 °C).

Die unterschiedlichen Entnahmemöglichkeiten an der Anlage der Reichen Zeche bieten verschiedene Möglichkeiten beim Betrieb der Anlage. Wie im Anlagenschema zu erkennen, gibt es einen getrennten Heiz- und Kühlkreislauf. Es kann so also gleichzeitig geheizt und gekühlt werden. Für die Wahl der Wasserquelle ist der größere Bedarf entscheidend. Bei überwiegendem Kühlbedarf soll das kältere Wasser aus dem Rothschönberger Stolln, bei überwiegendem Heizbedarf das wärmere Wasser aus dem Schacht Reiche Zeche genutzt werden. Neben diesen beiden Varianten existiert auch noch die Möglichkeit, nur den Zwischenkreislauf zu nutzen, was in temporärer zur Deckung des Heiz- und Kühlbedarfs ausreicht.

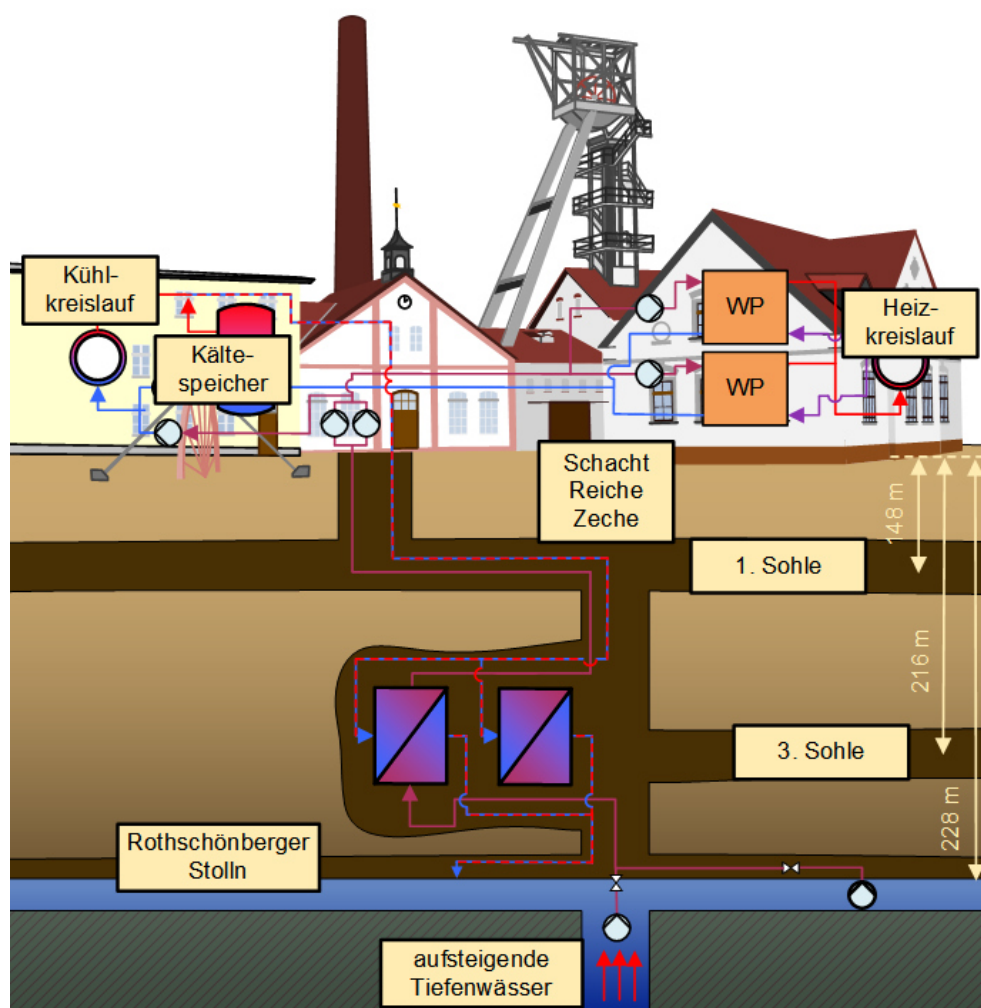


Abb. 2: Anlagenschema der Grubenwassergeothermieanlage an der Reiche Zeche Freiberg

3. Ergebnisse des Monitorings

In ist die monatliche Arbeitszahl der Grubenwassergeothermieanlage an der Ehrenfriedersdorfer Oberschule dargestellt. Prinzipiell gibt die Arbeitszahl den Quotienten aus dem Nutzen der Anlage (Wärme, Kälte) und dem Aufwand (zugeführte elektrische Energie, Gas) an. Wie ersichtlich, liegt die Arbeitszahl der Anlage von September bis Mai zwischen 1,2 und 1,4. Das bedeutet, dass mit einer Kilowattstunde zugeführter Energie 1,2 bis 1,4 Kilowattstunden thermische Energie zum

Heizen bereitgestellt werden können. Da die konkrete Anlage nur zum Heizen genutzt wird, sind die Ergebnisse der Sommermonate hinsichtlich der Effizienz nicht aussagekräftig.

In den kalten Monaten von Oktober bis März wird durchgehend eine Wärmemenge von rund 40 MWh pro Monat bereitgestellt. In diesem Zeitraum werden auch die höchsten Arbeitszahlen berechnet.

Ein wesentlicher Punkt bei der Analyse der Anlage sind die Gaswärmepumpen. Die Arbeitszahlen sind nicht mit denen einer elektrischen Wärmepumpe vergleichbar. Der Hersteller der Gaswärmepumpen in Ehrenfriedersdorf gibt einen Umrechnungsfaktor von 2,5 an (ROBUR 2019). Eine Arbeitszahl der Anlage von 1,3 entspricht also in etwa der Arbeitszahl von 3,3 bei einer elektrischen Wärmepumpe. Da die Anlage bereits seit den 90iger Jahren in Betrieb ist dies einem soliden Wert.

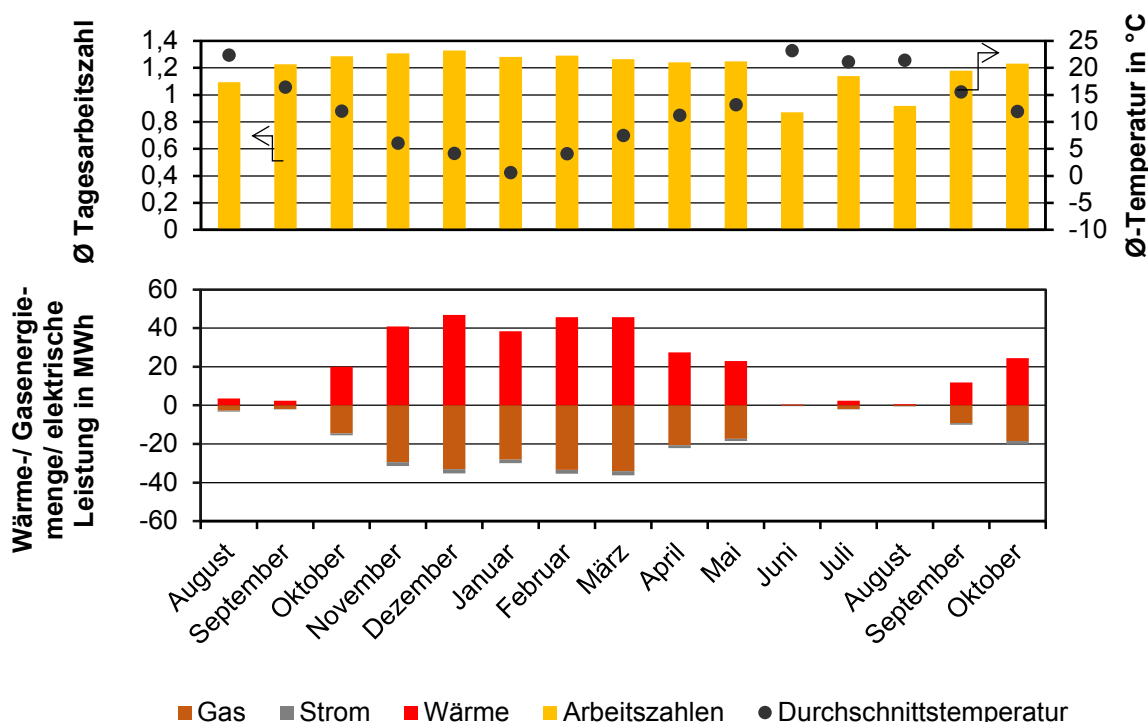


Abb. 3: Monatliche Arbeitszahl und durchschnittliche Außentemperatur, sowie Bestandteile der Jahresarbeitszahl für die Grubenwassergeothermieanlage der Oberschule Ehrenfriedersdorf (08/2018–10/2019)

Für die Anlage der Reichen Zeche ist in Abb. 4 der Verlauf von Tagesarbeitszahl (durchschnittliche Arbeitszahl der letzten 24 h) und Außentemperatur (ebenfalls über die letzten 24 h gemittelt) für eine Woche im Oktober 2018 dargestellt.

Diese Betrachtung zeigt, dass an der Reichen Zeche Arbeitszahlen >5 regelmäßig erreicht werden. Der wesentliche Grund ist hier in der Kombination aus Heizen und Kühlen zu sehen. Da das Gesamtsystem betrachtet wird, besteht für die Bereitstellung der Wärme der Strombedarf der Wärmepumpe und der Grubenwasserpumpen sowie der Pumpen im Zwischenkreislauf als Aufwand. Die Nutzung zum Kühlen ist damit vorwiegend ein zusätzlicher Nutzen bei geringem gestiegenem Aufwand. Da zum Kühlen keine Wärmepumpen benötigt werden, steigt nur der Strombedarf der Grubenwasser- und Zwischenkreislaufpumpen geringfügig an. Somit ergeben sich durch die Kombination aus Heizen und Kühlen die vergleichsweise hohen Arbeitszahlen. Wie auch dem Analgschema in Abb. 2 zu entnehmen ist, wird das abgekühlte Wasser nach dem Heizkreislauf an einen Kältespeicher abgegeben und damit dann noch dem Kühlkreislauf zugeführt. Somit ergibt sich ohne zusätzlichen Aufwand ein weiterer Benefit.

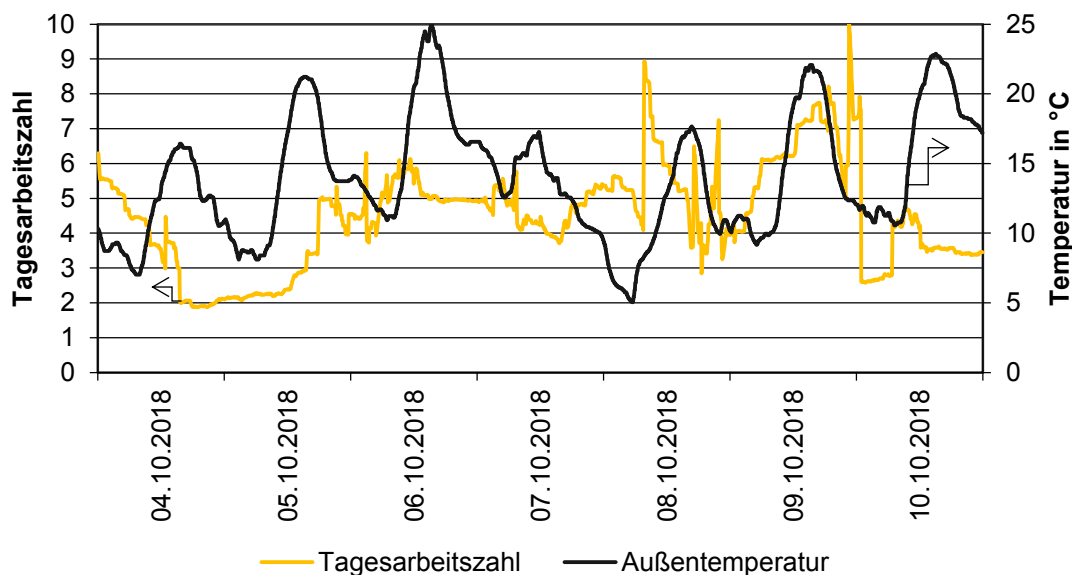


Abb. 4: Tagesarbeitszahl und durchschnittliche Außentemperatur an der Anlage der Reichen Zeche (04.10.2018–10.10.2018)

Wie bereits beschrieben existieren zwei Orte um Grubenwasser zu entnehmen (Rotschönberger Stolln und Schacht Reiche Zeche) und die Möglichkeit nur den Zwischenkreislauf zu nutzen. Für die drei Varianten gibt es jeweils die Möglichkeiten nur zu Heizen, nur zu Kühlen und zu Heizen und zu Kühlen. In Summe ergeben sich damit neun verschiedene Betriebsmodi. In Abb. 5 sind diese vereinfacht dargestellt, es sind die Anteile für nur Heizen, nur Kühlen und der Kombination für den Zeitraum Januar 2016 bis Dezember 2018 dargestellt. Zeiträume mit fehlerhaften Messungen, beispielsweise bedingt durch Defekte einzelner Anlagenteile, bilden den Bereich „Sonstiges“. Wie die Grafik zeigt, wird über den Großteil der Zeit sowohl geheizt, als auch gekühlt. In etwa einem Viertel des betrachteten Zeitraumes wird nur gekühlt.

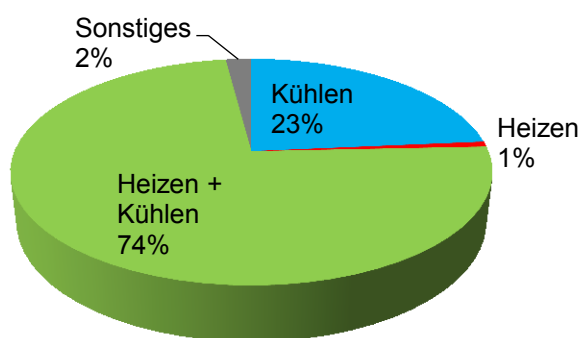


Abb. 5: Anteile der Betriebsmodi Heizen, Kühlen, Heizen + Kühlen und Sonstiges an der Anlage Reiche Zeche Freiberg (01/2016–12/2018)

Die Betriebsmodi, bei denen nur gekühlt wird, liegen dabei vorwiegend in den warmen Monaten (Mai-September) vor. Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass die Kühlung von Serverräumen, wie es bei der Anlage der Reichen Zeche der Fall ist, eine nahezu durchgehende Nutzung der Anlage zum Kühlen hervorruft. Somit werden Stillstandszeiten minimiert.

4. Fazit

Problematisch sind bei den Anlagen technische Probleme und daraus resultierende Stillstandszeiten. Dadurch, dass sich ein Großteil der Anlagenkomponenten unter Tage befindet, wird die Zugänglichkeit und damit der Reparaturaufwand erschwert. Dennoch zeigt sich, dass die Anlagen, wenn sie laufen, solide bis sehr gute Ergebnisse liefern. Insbesondere die Kombination aus Heizen und Kühlen sorgt für eine hohe Effizienz der Anlage. Zudem ist zu beachten, dass es sich um eine Arbeitszahl der gesamten Anlagen handelt. Dies inkludiert beispielsweise auch den elektrischen Aufwand für Grubenwasserpumpen, die Kennzahl bezieht sich nicht allein auf die Wärmepumpe. Zukünftig gilt es die Messwerte der Anlagen weiter zu analysieren und beispielsweise Rückschlüsse auf die Fahrweise und den Betrieb ziehen zu können.

5. Literatur

- [1] Jessop, A. M., MacDonald, J. K., Spence, H.: Clean Energy from Abandoned Mines at Springhill, Nova Scotia. *Energy Sources*. 17(1), 93–106 (1995)
- [2] Grab et al.: Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken. *Handbuch Oberflächennahe Geothermie*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. 523-586 (2018)
- [3] Rottluff: Neue Wärmepumpenanlage im Besucherbergwerk Zinngrube Ehrenfriedersdorf. *Geothermische Energie - Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e. V.* 6(21) (1998)
- [4] ROBUR 2019 – GAHP WS: Gasbetriebene Brennwert-Absorptionswärmepumpe + Wasser als Erneuerbare Energiequelle. https://www.robushk.de/waermepumpe/gas_absorptions_wasser_wasser_waermepumpe_gahp_ws. Zugegriffen: November 2019