

Dipl.-Geol. Jörg Schmidt, JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH, Jena

Prof. Dr.-Ing. Norbert Krah, Fachhochschule Schmalkalden

Dr. rer. nat. Dieter Achilles, IET - Institut für Energietechnologie und -anwendung Thüringen GbR, Jena

Biogeothermie - Wärmenutzung aus natürlichen exothermen Reaktionen im Grundwasser

Im April 2009 übergab Thüringens Wirtschaftsstaatssekretär Prof. Dr. Christian C. Juckenack in Jena die Zuwendungsbescheide aus Mitteln der Verbundförderung für das Forschungsprojekt „Biogeothermie - Wärmenutzung aus natürlichen exothermen Reaktionen im Grundwasser“¹, das aus Landesmitteln des Freistaates Thüringen und der Europäischen Union gefördert wird², an die vier Forschungspartner

- JENA-GEOS®- Ingenieurbüro GmbH
- Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Fachhochschule Schmalkalden
- BOG Bohr- und Umwelt GmbH, Caaschwitz.

Die **Biogeothermie** ist ein relativ junger Forschungsbereich der oberflächennahen Geothermie.

Ziel des Verbundprojektes „BIOGEOthermie“ ist es, Nutzungsmöglichkeiten von bislang noch nicht berücksichtigten Wärmeenergie-Potenzialen aus Grundwasservorkommen zu erforschen. Untersuchungsgegenstand sind Grundwässer im Abstrom kontaminierter Böden mit organischen Schadstoffen, die aufgrund mikrobieller Aktivitäten eine erhöhte Temperatur aufweisen. Solche Temperaturerhöhungen können nach durchgeführten Voruntersuchungen bis über + 10 Kelvin gegenüber der normalen Grundwassertemperatur betragen. Mit dem Forschungsprojekt soll außerdem auch ein Beitrag zur Brachflächenrevitalisierung geleistet werden.

Bei diesen mikrobiellen Prozessen handelt es sich um den Abbau von organischen Schadstoffen wie Mineralölen, Phenol, Benzol, PAK's³ von ehemaligen Deponien und / oder karbochemischen Industriestandorten, die zum Teil vor Jahrzehnten in den Boden eingedrungen sind. Die zu errichtende Biogeothermie-Anlage entzieht mit Hilfe von Erdwärmesonden einen Teil der beim mikrobiellen Abbau der Schadstoffe entstehenden Wärme und leitet sie zur Nutzung an der Erdoberfläche weiter. Die Erdwärmesonden werden vom Zentrum des mit Schadstoffen kontaminierten Bereiches im Abstrom der Fließrichtung des Grundwassers versetzt positioniert (siehe Bild).

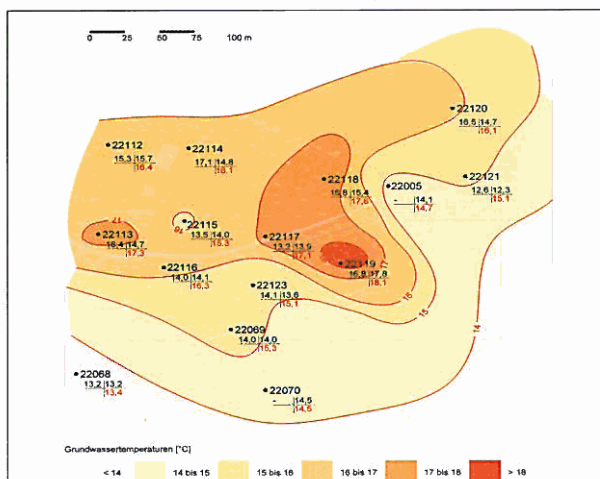


Bild 1: Beispiel einer Temperaturanomalie im Grundwasser, hervorgerufen durch natürlichen mikrobiellen Abbau

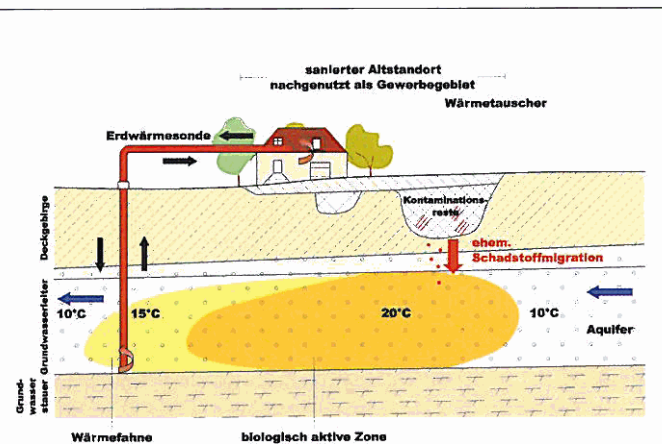


Bild 2: Prinzipskizze für die thermische Nutzung von Wärmepotenzialen, die durch natürliche exotherme Reaktionen im Grundwasser entstehen

¹ **Exotherme Reaktionen** sind chemische Reaktionen, bei denen zunächst Aktivierungsenergie aufgewandt werden muss, um die Reaktion zu starten. Ist die Reaktion erst einmal in Gang gesetzt, so läuft sie von allein weiter, und es wird sehr viel mehr Reaktionsenthalpie (Energieumsatz bei konstantem Druck) freigesetzt, als vorher in Form von Aktivierungsenergie hineingesteckt wurde. In den Zellen von Lebewesen laufen ständig exotherme Reaktionen ab, die die erforderliche Energie liefern, damit diese den entropiearmen Zustand aufrecht halten können.

² Die Gesamtkosten des Vorhabens belaufen sich auf 950.897 Euro, davon werden 758.168 Euro als Zuschuss aus Landesmitteln des Freistaates Thüringen und der Europäischen Union, des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE - OP 2007-2013 unter dem Förderkennzeichen N 331/2007) entsprechend der Richtlinie zur Förderung von innovativen, technologieorientierten Verbundprojekten, Netzwerken und Clustern (Verbundförderung) gefördert.

³ **PAK** - Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Die Energiebilanz stellt sich vereinfacht wie folgt dar:

Grundlage:

Volumenstrom $\dot{V} = k_f \cdot h_M \cdot b \cdot i$
 Wärmemenge $Q = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T$

Berechnung:

Volumenstrom $\dot{V} = k_f \cdot h_M \cdot b \cdot i$
 $\dot{V} = 0,0001 \frac{m}{s} \cdot 15m \cdot 200m \cdot 0,002$
 $\dot{V} = 18.922 \frac{m^3}{a}$

Ansatz:

Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 0,0001 \frac{m}{s}$
 Mächtigkeit des GWL $h_M = 15m$
 Abstrombreite $b = 200m$
 hydraulischer Gradient $i = 0,002$
 Wärmekapazität Wasser $c_{H_2O} = 4,186 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
 Temperaturdifferenz $\Delta T = 5K$

Wärmemenge: $Q = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T$

$Q = 4,186 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 18.922.000 \frac{kg}{a} \cdot 5K$
 $Q = 396.029.088 \text{ kJ/a} \Rightarrow Q = 110.008 \text{ kWh/a}$

Die berechnete Wärmemenge von 110.000 kWh/a steht zusätzlich zu der bei normaler Grundwassertemperatur gewinnbaren Wärmemenge zur Verfügung. Diese 110.000 kWh/a entsprechen dem jährlichen Wärmebedarf von ca. 5 Einfamilienhäusern (EFH).

Ein Vergleich zwischen Geothermie und Biogeothermie weist auf die Vorteile der Biogeothermie hin.

Tafel 1: Vergleich Geothermie – Biogeothermie

	Geothermie	Biogeothermie
Mittlere Untergrundtemperatur	9° C	14° C am vorgesehenen Standort
Erforderliche Gesamtlänge der Sonden zur Versorgung eines EFH	100 m	60 m
Erforderliche Tiefe der einzelnen Bohrungen	in der Regel > 50 m (Probleme in Bereichen mit Stockwerkgliederung)	< 50 m (Anomalien befinden sich 10 m bis 50 m unter dem Gelände)
Sondenanordnung	vertikal	vertikal / horizontal
Direkte Wärmenutzung	nicht möglich	z.B. Gewächshausbeheizung

Fazit:

Vorteile der Biogeothermie

- geringere Investitionskosten (Bohrkosten 40 % niedriger)
- geringere Betriebskosten (höhere Vorlauftemperatur)
- Möglichkeit der direkten Wärmenutzung
- geringe Bohrtiefe, Einsatz von Horizontalbohrungen ist möglich

Nachteil der Biogeothermie

- Standortbeschränkung auf Bereiche mit relevanten Temperaturanomalien

Für die Projektteilnehmer ergeben sich folgende zentrale Fragen bei diesem Forschungsgegenstand:

- Wie reagieren im Umfeld des Standortes Mikrobiologie und Hydrochemie auf einen Wärmeentzug?
- Welche Selbstregulationsmechanismen steuern solche Bio-Hot-Spots?
- Welche Wärmemenge kann einem Standort kontinuierlich entzogen werden, ohne das System nachhaltig zu beeinflussen?

- Erwachsen Gefährdungen durch den Entzug von Wärmeenergie, z.B. hinsichtlich einer Vergrößerung der Schadstofffahne oder des Zusammenbrechens natürlicher Schadstoffminderungsprozesse?
- Welcher Anteil des vorhandenen Schadstoffinventars ist über den „Umweg“ BIOGEOOTHERMIE energetisch nutzbar?

Vorgesehen ist, eine erste Biogeothermie-Anlage auf einem sanierten Altlastenstandort in Thüringen zu errichten, der dann als Gewerbegebiet nachgenutzt wird.

Nachfolgend sind die zwischen den Projektpartnern vereinbarten Ablaufschritte zur Bearbeitung des Verbundprojektes in vereinfachter Form aufgeführt:

- interdisziplinäre Analyse der Möglichkeiten der Wärmeengewinnung aus mikrobiellen Schadstoffabbauprozessen im oberflächennahen Grundwasser
- Umsetzung der gewonnenen Ergebnisse der Analyse in die Standortwahl für zwei Testfelder in Thüringen und deren Instrumentierung mit geeigneter Messtechnik
- Durchführung von Messungen an den Testfeldern zur Gewinnung von Daten für eine Erschließung des Testfeldes mit oberflächennaher Geothermie
- dynamische Modellierung des geothermischen Prozesses und Computersimulation zur Gewinnung von Erkenntnissen zur Nutzung der thermischen Energie
- Planung des Einsatzes geeigneter wärmetechnischer Anlagen von Wärmeübertragungseinrichtungen (Wärmepumpe) zu potenziellen Nutzern, Wirkungsgradermittlung, energetische Bilanzierung, Emissionsbilanzen
- Auswertung der Ergebnisse und Ableitung von verallgemeinernden Aussagen zu möglichen Nachnutzungen an ähnlichen Standorten
- Publikation der Ergebnisse, Patentierung von Entwicklungen im Rahmen des Verbundprojektes.

Die Forschungsgruppe des Verbundprojektes „BIOGEOOTHERMIE“ setzt sich wie folgt zusammen:

JENA-GEOS®- Ingenieurbüro GmbH, Jena

Geschäftsführer Dr. rer. nat. Kersten Roselt, Dipl.-Geol. Jörg Schmidt (Gesamtkoordination des Projektes),
Dr. rer. nat. Andreas Rißke

Friedrich Schiller Universität Jena, Institut für Geowissenschaften

Prof. Dr. rer. nat. habil. Georg Büchel, Prof. Dr. rer. nat. habil. Kai Uwe Totsche

Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Maschinenbau

Prof. Dr.-Ing. Norbert Krah, Dipl.-Ing. Susan Weisheit in Zusammenarbeit mit dem IET - Institut für Energietechnologie und -anwendung Thüringen GbR, Jena, Dr. rer. nat. Dieter Achilles und dem Ingenieurbüro für Energieberatung - Energiewirtschaft Dr.-Ing. Manfred Strugalla, Erfurt

BOG Bohr- und Umwelt GmbH, Caaschwitz

Dipl.-Ing. Peter Wölk



Übergabe der Zuwendungsbescheide durch den Thüringer Wirtschaftsstaatssekretär Prof. Dr. Christian C. Juckenack für das Forschungsprojekt „Biogeothermie“ an die vier Forschungspartner (Prof. Dr. N. Krah, Dr. K. Roselt, Prof. Dr. Ch. Juckenack, Dipl.-Geol. A. Schaubs, Dipl.-Ing. P. Wölk, Dipl.-Geol. J. Schmidt, Prof. Dr. Georg Büchel, Prof. Dr. K. U. Totsche, v.l.n.r.)

ANHANG

Mit den im Anhang verfassten und zusammengestellten Anlagen als Ergänzung zum Hauptteil des Buches soll dem interessierten Leser ein Überblick zu allgemeinen theoretischen, technischen und ökologischen Grundlagen zum Energieträgereinsatz gegeben werden.

Anlage 1 : Erklärungen zu den SI-Einheiten und zu den davon abgeleiteten Größen

Die SI-Einheiten haben ihren Ursprung in der 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht in Paris (1960). SI steht für *Systeme International d'Unites* (Internationales Einheitensystem). Durch die Verwendung der SI-Einheiten wird die internationale Zusammenarbeit besonders im Bereich der Wissenschaft erleichtert und vereinheitlicht.

Grundgrößen und abgeleitete Größen			
Größe	Kurzzeichen	Gesetzliche Einheiten	Einheitenzeichen
Weg	s	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg
Temperatur	T	Kelvin	K
Stromstärke	I	Ampere	A
Lichtstärke	I _v	Candela	cd
Arbeit	W	Joule, Wattsekunde	J, Ws
Leistung	P	Joule je Sekunde, Watt	J/s, W
Druck	p	Pascal, Bar	Pa, bar

Vorsatzgrößen			
Wort	Potenz	Vorsatzzeichen	Wort
Hundert	10 ² fache	h	Hekto
Tausend	10 ³ fache	k	Kilo
Million	10 ⁶ fache	M	Mega
Milliarde	10 ⁹ fache	G	Giga
Billion	10 ¹² fache	T	Tera
Billiarde	10 ¹⁵ fache	P	Peta
Trillion	10 ¹⁸ fache	E	Exa

Die **Temperatur** wird nach den SI-Einheiten in Kelvin (K) oder in Grad Celsius (°C) gemessen. Der absolute Nullpunkt (0 K) liegt bei -273,15 °C. 0 °C entspricht also 273,15 K. Der **Druck** wird in Pascal (Pa) oder Bar (bar) angegeben. Es gilt: 1Pa = 1N / m² = 1kg / (m s²); 1bar = 10⁵ Pa.

Normzustand eines Gases: Zwei Größen kennzeichnen den Normzustand: Eine Temperatur von 0 °C und der barometrische Druck von 1.013,25 mbar.

Arbeit, Energie und Wärmemenge sind physikalische Größen gleicher Art und werden in Joule (J), Kilojoule (kJ), Megajoule (MJ) oder Kilowattstunde (kWh) angegeben. Die SI-Einheit ist das Joule (J).

Leistung, Energie- und Wärmestrom werden in der SI-Einheit Joule pro Sekunde (J/s) bzw. Watt (W) gemessen. Es gilt folgende Beziehung:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule pro Sekunde (J/s)}$$

Vergleich der Energieeinheiten untereinander				
Größe	kWh	Wh	kJ	MJ
1 kWh	1	1.000	3.600	3,6
1 Wh	0,001	1	3,6	0,0036
1 J = 1Ws	0,000000278	0,000278	0,001	0,000001
1 kJ	0,000278	0,278	1	0,001
1 MJ	0,278	278	1.000	1

Vergleich der Leistungseinheiten untereinander				
Größe	kW	W	kJ / h	J / s
1 kW	1	1.000	3.600	1.000
1 W	0,001	1	3,6	1
1 kJ / h	0,000278	0,278	1	0,278

Die Maßeinheit SKE ist die Abkürzung für Steinkohleneinheit. Diese dient als Grundlage für Vergleiche und Bemessungen von verschiedenen Energiemengen und -vorräten. Die Berechnungsbasis bildet die Steinkohle mit einem mittleren Heizwert von 8,14 kWh/kg.