

# Wertschöpfung auf Basis geothermischer Energie im Umfeld der Bergbauindustrie

**Rolf Schiffer, Lisa Wagner, Florian Wintersberg, Stefan Wohnlich**

Ruhr-Universität Bochum | Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik

Kontakt: Dr. R. Schiffer | Universitätsstraße 150 | Tel. +49 234 32-25454 | [rolf.schiffer@rub.de](mailto:rolf.schiffer@rub.de)

**Keywords:** geothermisches Potential, warmes Grubenwasser, Wertschöpfung

## Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag soll auf Basis eines Systemkonzeptes Anregungen für die nachhaltige Nutzung des geothermischen Potentials der Hebungswässer des Steinkohle-Tiefbergbaus sowie der zugehörigen bergbaulichen Infrastruktur geben. Hierzu werden eingangs das theoretische energetische Nutzungspotential aufgezeigt und Konzepte für eine mögliche Nutzung des vorhandenen Energiepotentials skizziert. Diese reichen von Möglichkeiten zur Speicherung oder Aufbereitung und Wiederverwendung der gehobenen Wässer über die Stromerzeugung im Niedrigtemperaturbereich bis hin zur Gewinnung von Mineralstoffen aus den Hebungswässern. Das vorgestellte System soll unter dem Aspekt von Synergieeffekten durch die Anwendung verschiedener innovativer Technologien eine optimierte Nutzung des Potentials vorhandener Bergbauinfrastruktur betrachtet und zur Diskussion gestellt werden.

## Abstract

Based on a system concept, this contribution is intended to provide suggestions for the sustainable use of the geothermal potential of the uplift waters of hard coal deep mining and the associated mining infrastructure. To this end, the theoretical energetic utilisation potential is shown at the beginning and concepts for a possible utilisation of the existing energy potential are sketched out. These range from possibilities for the storage or treatment and reuse of the uplifted water to the generation of electricity at low temperatures and the extraction of minerals from the uplift water. The presented system is to be considered and discussed under the aspect of synergy effects by the application of different innovative technologies an optimized use of the potential as existing mining infrastructure.

## **1 Einführung**

Der vorliegende Beitrag gibt Anregungen zu einer nachhaltigen Nutzung des in den Hebungswässern des ehemaligen Steinkohlebergbaus enthaltenen energetischen Potentials sowie aus der Nutzung vorhandener Bergbauinfrastruktur. Dabei soll auf Basis der geothermischen Ressource eine Wertschöpfung bisher ungenutzter energetischer Potentiale abgeleitet werden.

Hierzu zählt unter anderem Nutzung des gewinnbaren geothermischen Potentials, die als basislastfähiger Energieträger bereits einen Beitrag zur Grundsicherung der Energieversorgung im Wärmesektor liefert. Darüber hinaus können innovative Anwendungen weiterentwickelt und erprobt werden, um dann nach Marktreifmachung zur Anwendung zu kommen. Zu diesen Anwendungen gehören die Forschung zur Stromerzeugung im Niedrigtemperaturbereich sowie im Bereich der Energiespeicherung und der Aufbereitung/Reinigung von Grubenwässern.

Da die Energie- und Ressourcensicherheit, ein schonender Umgang mit der Umwelt sowie die Versorgung mit sauberem Wasser als Herausforderungen gelten, die es langfristig zu bewältigen bzw. sicher zu stellen gilt, wird in diesem Beitrag ein Konzept zur synergetischen Kombination verschiedener Anwendungsfelder skizziert.

Die oben genannten Themenfelder bilden eine Basis für eine Reihe von nachhaltigen Nutzungs- und Anwendungsmöglichkeiten, die für mögliche weiterführende Forschungsansätze von Relevanz sind, daher sollen sie erprobt und eingesetzt um später ausgebaut bzw. wirtschaftlich genutzt werden zu können.

## **2 Ausgangssituation**

Im Hinblick auf die deutschen Kohlebergbaureviere kann ein (wertvoller) Ansatz zur Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten einer Umgestaltung in Richtung eines künftigen Energiebergbaus abgeleitet werden, der auf einer Um- oder Nachnutzung der vorhandenen Bergbauinfrastruktur gründet.

So wurden in den vergangenen rund 10 Jahren mehrere Projekte realisiert, die sich i. W. mit der Wärmeversorgung beschäftigen.

Zu nennen sind in diesem Kontext insbesondere die Projekte auf der ehem. Schachanlage Zollverein in Essen (Sanaa-Gebäude, 2006), die Wärmeversorgung durch die Hebungswässer der Wasserhaltung Robert Müser in Bochum (2012) sowie die Wärmeversorgung durch einen Schacht der ehemaligen Zeche Auguste Victoria in Marl (2012) und die Nutzung des Eduard Schachtes der ehemaligen Schachanlage Anna in Alsdorf (ENERGETICON, 2018).

Ein weiteres Projekt, das als erstes CO<sub>2</sub>-neutrales Stadtquartier Deutschlands geplante „Kreativ.Quartier“, das am Standort der ehemaligen Zeche Lohberg in Dinslaken entstehen soll, befindet sich in der Umsetzung. Weiterhin darf davon ausgegangen werden, dass weitere Projektentwicklungen folgen werden, die sich aus den „Grubenwasser-Ruhr“ Aktivitäten ableiten lassen. Namentlich sind das die Erweiterung der Wärmeversorgung am Standort Robert Müser (Bochum), die Wärmeversorgung der Wasserstadt Aden in Bergkamen (Standort Haus Aden, Unna/Bergkamen) und das Stadtquartier Essen 51 am Standort der ehemaligen Zeche Amalie (Essen), bei dem ein sogenannter Sicherheitsstandort zur Energiegewinnung genutzt werden soll.

Diese Projekte basieren i. W. auf der Nutzung von Erdwärme aus dem Wasser des Grubengebäudes bzw. aus den Hebungswässern.

Dem geothermischen Nutzungspotential wird im Rahmen der Energiewende, insbesondere vor

dem Hintergrund der Deckung des Wärmebedarfs, der mit rd. 5.040 PJ etwa 56 % des Energieverbrauchs in Deutschland ausmacht, zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt. Vor diesem Hintergrund erschließt sich für die vorhandene Infrastruktur des ehemaligen Steinkohlenbergbaus in NRW eine neue Bedeutung, da – soweit der Transport der Wärmeenergie zur Erdoberfläche nicht durch natürlichen Austritt erfolgt – eine Nutzung geothermischer Energie erst durch technische Eingriffe und Maßnahmen ermöglicht wird. Denn durch die Aktivitäten des Steinkohlebergbaus wurden über weite Teile der genutzten Lagerstätte Hohlräume und Verbindungen geschaffen, die bis in Tiefen von rund 1.500 m reichen und durch die eine Erschließung des auf geothermischer Energie beruhenden Energiepotentials begünstigt wird. Hierbei stellt allem voran das im Zuge der Ewigkeitsaufgaben der RAG dauerhaft zur Oberfläche zu fördernde Hebungswasser eine attraktive Energiebasis zu Verfügung, die es gilt, verstärkt nutzbar zu machen.

Aber auch außerhalb von Wärmeanwendungen können und sollten Ansätze zur Nutzung des aus bergbaulicher Infrastruktur ableitbaren Energiepotentials betrachtet und in der Entwicklung voran gebracht werden.

### **3 Anwendungsskizze**

Im Folgenden wird ein Konzept skizziert, in dem die klassische Wärmenutzung mit neuen innovativen Technologien kombiniert wird, um eine möglichst effiziente Nutzung des Potentials vorhandener Bergbauinfrastruktur zu erreichen.

In der nachfolgenden Prinzipskizze (Abb. 1) wird eine generelle Übersicht möglicher Anwendungen im Niedrigtemperaturbereich gegeben.

Diese sind nicht als finale Konfiguration eines Systems zu verstehen, sondern bilden ein Beispiel einer möglichen Umsetzung. Diese individuell an den Standort angepasst und abgewandelt werden.

Ausgehend von nutzbarem Wasser, z. B. warmem Wasser aus bergbaulichen Aktivitäten, werden hier fünf Anwendungslinien vier Nutzungslinien und eine Rest-/Abfallstofflinie dargestellt. Im Einzelnen sind dies die Nutzungslinien zur

- (klassischen) Versorgung mit Wärme und/oder Kälte,
  - Erzeugung von elektrischer Energie (Elektrizität),
  - Speicherung von Energie
- und
- Nutzung von Grubenwasser (Ressource anstatt Umweltbelastung)

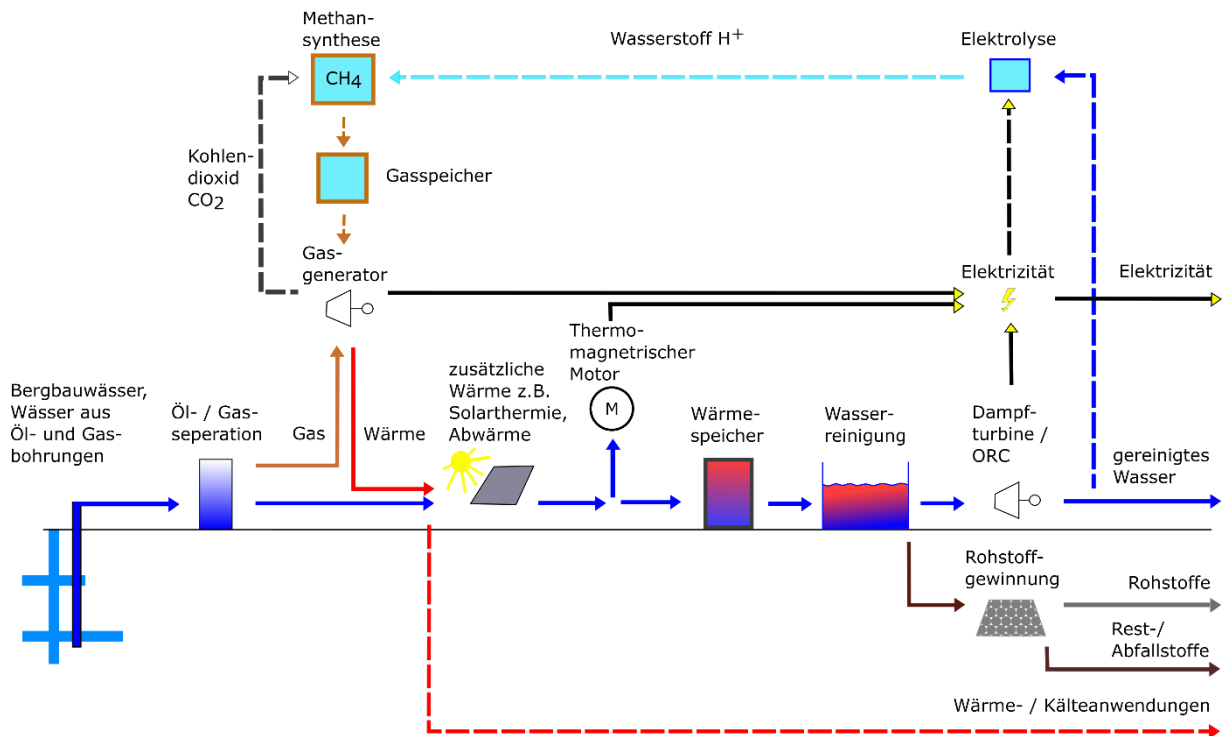


Abb.1: Niedrigtemperaturanwendungen im Bergbaumfeld – Prinzipskizze (Schiffer et al. 2019)

Nachfolgend wird i. W. auf die Nutzungslinien Energie, Speicherung und Nutzung von Grubenwasser eingegangen, zwischen denen in Abhängigkeit der konkreten Nutzung und der ggf. eingesetzten Speichertechnologie eine mehr oder weniger starke Interaktion erfolgt.

Der einfachste Zugang zum energetischen Potential der Bergbauinfrastruktur bildet das gehobene Grubenwasser. Es hat zu diesem Zeitpunkt ein für die direkte Nutzung i. d. R. zu niedriges Energieniveau, um hohe Wirkungsgrade zu erreichen, jedoch enthält es auf die Gesamtmenge bezogen ein enormes Potential. Um dieses Potential mit herkömmlichen Technologien nutzbar zu machen, kann durch Zufuhr von zusätzlicher Wärme z.B. aus Abwärme und Solarenergie das Energieniveau gesteigert werden. Das energetisch aufgewertete Grubenwasser bildet die Basis für alle weiteren Anwendungsmöglichkeiten, die im Folgenden beschrieben werden.

Eine Nutzungslinie basiert auf der Stromerzeugung mittels Niedrigtemperatursystemen. Als Beispiel dazu dient der thermoelektrische Motor in der Skizze. Eine alternative Nutzung besteht in der Wärmespeicherung, die zur Gewinnung von Rohstoffen aus dem Grubenwasser weitergenutzt werden kann. Dabei wird aus dem Grubenwasser neben rohstoffreichen Solen auch sauberes Wasser gewonnen. Sollte dabei eine Verdampfungstechnik eingesetzt werden, könnte mit dem generierten Dampf gleichzeitig auch Elektrizität erzeugt werden. Die aus den Prozessen gewonnene elektrische Energie kann bei Bedarf auch gespeichert werden. Beispiele einer Zwischenspeicherung können dabei die Elektrolyse und Methansynthese darstellen. Die genannten Beispiele können gegen andere Zwischenspeicher ausgetauscht werden.

Das Ruhrgebiet mit seiner hohen Bevölkerungsdichte und der vorhandenen Bergbauinfrastruktur ist während der letzten Jahre als bevorzugte Region für die Entwicklung und Umsetzung solcher Konzepte bekannt geworden. Das durch das gehobene Grubenwasser nutzbare Potential wurde in einer Studie an Hand des Wärmeenergiepotentials abgeschätzt (LANUV-Fachbericht 90).

### 3.1 Energetisches Potential und Wärmeenergiepotential

Die Potentialstudie „Warmes Grubenwasser“ des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV-Fachbericht 90) stellt als Ergebnis signifikante Potenziale des warmen Grubenwassers und der Bergbauinfrastruktur besonders im Ruhrrevier fest. – Auf Basis dieses Potentials stellt die Studie im Rahmen ihrer Hot-Spot-Analyse für die künftigen Wasserhaltungsstandorte des ehemaligen Steinkohlenbergbaus die nachfolgend skizzierte Situation wie in Tab. 1 zusammengefasst dar.

Im Hinblick auf das verfügbare Energiepotential kann dabei für die sechs zukünftigen Wasserprovinzen im Bereich des Ruhrgebiets festgehalten werden, dass an den Standorten der zukünftigen zentralen Wasserhaltung – und hier aufgrund der recht attraktiven Temperaturen (ca. 30°C bis 35°C) und der großen Fördervolumina insbesondere in Walsum (Fördermenge ab 2020 ca. 8 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr) und in Lohberg (Fördermenge ab ca. 2035 rd. 43,8 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr) – attraktive Nutzungen erfolgen können.

Tabelle 1 gibt auf Basis der Daten der Studie des LANUV NRW die thermischen Nutzungspotentiale, sowie eine daraus abgeleitete Abschätzung eines maximalen gewinnbaren elektrischen Energiepotentials für Wasserhaltungen mit erwarteten Hebungswassertemperaturen > 25°C<sup>1</sup> an.

Die maximale thermische Leistung  $P_{thW}$  aus dem Grubenwasser berechnet sich aus:

$$(1) \quad P_{thW} = \rho_w * c_w * \Delta(T_{mittel} - T_{min}) * V_w \quad [W_{th}]$$

mit

$\rho_w$  = Dichte des Grubenwassers in kg/dm<sup>3</sup>

$c_w$  = Wärmekapazität des Grubenwassers in kJ/(kg K)

$T_{mittel}$  = mittlere Ausgangstemperatur des Grubenwassers in °C

$T_{min}$  = minimale Rücklaufstemperatur in °C

$V_w$  = Volumenstrom in l/s (ermittelt aus dem jährlichen Grubenwasservolumenstrom)

Das maximale theoretische Wärmeenergiepotential  $E_{thW}$  berechnet sich auf Basis eines Volllastbetriebes mit jährlich 8760 Betriebsstunden:

$$(2) \quad E_{thW} = P_{thW} * 8760 \frac{h}{a} \quad [Wh/a]$$

Die theoretische Betrachtung der maximal verfügbaren elektrischen Leistung ergibt sich aus der thermischen Leistung unter Annahme eines Carnot-Wirkungsgrades von 2,88%, bei einer durchschnittlichen Eingangstemperatur von 30°C und einer Ausgangstemperatur von 10°C sowie einem Verlust von 10%, wie folgt:

---

<sup>1</sup> ZWH Standorte Walsum und Lohberg

Tab. 1: Zentrale Wasserhaltungen (ZWH) Ruhrgebiet – Theoretische energetische Potentiale und Leistungen

Standort	Jahr	Volumenstrom [l / s]	max. $\Delta T$ [K]	Dichte [kg / m <sup>3</sup> ]	Wärme- kapazität [kJ / (kg*K)]	max. therm. Leistung [MW <sub>th</sub> ]	theor. Wärmeenergiepotenzial [GWh/a]	max. elektrische Leistung [kW <sub>el</sub> ]
Haus Aden	2020	406	18	1.006,3	4,1	30,3	265,1	872,6
	2035 - 2050	306	23	1.007,2	4,1	23,6	206,7	679,7
Walsum	2020 - 2050	254	23	1.034,3	3,9	23,7	207,6	682,6
	Lohberg	2035 - 2050	1.104	29	1.048,4	3,8	128,5	1.126,1
Friedlicher Nachbar	2020 - 2050	270	14	999,2	4,2	15,7	137,9	452,2
Heinrich	2020 - 2050	634	12	999,2	4,1	31,4	274,6	904,3
Robert Müser	2020 - 2050	336	14	1.000,2	4,2	19,6	171,7	564,5

(Quelle LANUV NRW (2018) ergänzt durch berechnetes theoretisches elektrisches Leistungspotential (Schiffer et al. 2019 überarbeitet))

Die Zentralwasserhaltung (ZWH) am Standort Lohberg liefert, aufgrund der hohen geplanten Fördertrate von 1.104 l/s und des vergleichsweise hohen Grubenwassertemperaturniveaus von 35°C, ca. 50 % des theoretischen thermischen Gesamtleistungspotentials der Wasserhaltungsstandorte des ehemaligen Steinkohlebergbaus in NRW. Dies entspricht nach der vorstehenden Tabelle (Tab. 1) einer theoretischen elektrischen Leistung von bis zu 3,7 MW<sub>el</sub>.

In der Realität sprechen unterschiedliche Gründe dagegen, die vorliegenden Potenziale gesamt oder im prognostizierten Umfang nutzen zu können. In diesem Kontext sind unter anderem wirtschaftliche Gründe, Gründe der Effizienz, fehlende Abnehmer für Anwendungen auf einem geeigneten Temperaturniveau oder konkurrierendes Wärmeangebot als Ursachen oder Risiken.

Laut der Studie könnte an 6 der 7 künftigen Standorte der Zentralwasserhaltungen (ZWH) in NRW das thermische Energiepotential in einem Umkreis von max. 7 km Umkreis komplett abgenommen werden. In wie weit an den betrachteten Standorten die zur Verfügung stehende Energiemenge genutzt werden kann, hängt auch von der Versorgung von Sondernutzungen, wie Schwimmbädern, Gewächshäusern oder Stadtentwicklungsgebieten, ab. – Daher ist es erforderlich, nach technischen Alternativen zur Nutzung des vorhandenen respektive ungenutzten überschüssigen Energiepotentials zu suchen.

Dies betrifft insbesondere den Bereich der ZWH Lohberg. Aufgrund der hohen Fördermengen ab 2035 kann nach Aussage der LANUV-Studie nicht die gesamte im Hebungswasser enthaltene Wärmemenge im Nahbereich abgenommen werden, so dass aus Sicht einer vollständigen Nutzung hier weitere Abnehmer oder alternative Anwendungen installiert werden müssten.

Die nicht einsetzbare „überschüssige“ Energie könnte also an anderer Stelle eingesetzt oder gespeichert werden. In Frage kämen hier bei Vorhandensein geeigneter Technologien beispielsweise eine Verstromung oder Anwendungen zur Reinigung von Wasser, die aus Umweltsicht ebenfalls eine Wertschöpfung (Inwertsetzung des Potentials) bewirken.

### 3.2 Stromerzeugung im Niedrigtemperaturbereich

Aufgrund der berechneten maximalen elektrischen Leistung ist eine kommerzielle Nutzung der Ressource denkbar. Dafür wäre eine Weiterentwicklung von bestehenden, oder Marktreifmachung experimenteller Systeme zur Stromerzeugung notwendig. Im Folgenden wird auf Methoden und Systeme zur Stromerzeugung eingegangen.

Üblicherweise werden zur Gewinnung von elektrischem Strom in Niedrigtemperaturbereich (T < 350°C) Verfahren zur Stromerzeugung mit einer mechanischen Zwischenstufe eingesetzt.

Die bekanntesten dieser Verfahren sind der Dampf-Prozess (Clausius Rankine-Kreisprozess), der ORC<sup>2</sup>-Prozess oder der in seiner Art diesem verwandte und aufgrund seiner Anpassungsfähigkeit effizientere Kalina-Prozess oder der Stirling-Prozess eingesetzt.

Daneben existieren Prozesse zur Stromerzeugung ohne mechanische Zwischenstufe, durch die auch eine elektrische Stromgewinnung bei niedrigeren Temperaturen möglich wird. Nachfolgend werden einige dieser Möglichkeiten kurz beschrieben. Allen Gemeinsam ist ihr weitgehend noch konzeptioneller Charakter, weshalb im Folgenden von Stromgewinnungskonzepten gesprochen wird.

#### Thermoelektrisches Stromgewinnungskonzept

Die Umwandlung thermischer Energie in elektrischen Strom bei Einsatz des thermoelektrischen Prozesses beruht auf dem sog. Seebeck-Effekt. Dabei werden Elektronen zwischen zwei Halbleiterplatten verschoben, die eine Temperaturdifferenz aufweisen. Es resultiert eine elektrische Spannung, die zur Erzeugung eines Gleichstroms genutzt werden kann.

Der Wirkungsgrad ( $\eta$ ) von thermoelektrischen Stromgeneratoren wird mit etwa 2 % bis 5 % angegeben. HENDRICKS et al. (2006) hält längerfristig eine Effizienzsteigerung auf > 15 % für realisierbar.

Thermoelektrische Stromgewinnung wird z. B. im Rahmen von Pipeline-Projekten in Kanada oder Russland zur Versorgung des eingesetzten Überwachungs- und Kommunikationsnetzes verwendet.

#### Thermomagnetisches Konzept

Den derzeit vermutlich vielversprechendsten Ansatz zur Niedrigtemperatur-Stromerzeugung liefert der thermomagnetische Stromgewinnungsprozess.

Das Verfahren nutzt die Differenz zweier relativ niedriger Temperaturen zur Erzeugung eines elektrischen Stroms. Es beruht auf einer von Pierre Curie Ende des 19. Jahrhunderts entdeckten Eigenschaft, dass ferromagnetisches Material bei Erreichen einer für das jeweilige Material spezifischen Temperatur (sogenannte Curie-Temperatur) seine magnetische Eigenschaft verliert. Bei der Abkühlung stellen sich die ursprünglich vorhandenen Eigenschaften wieder ein.

Eine Nutzung dieses Phänomens wurde bereits an der Wende der 1880er zu den 1890er Jahren durch die Physiker Nikola Tesla und Thomas Alva Edison unter dem Namen thermomagnetischer Motor oder Tesla-Motor beschrieben.

Das Konzept einer thermomagnetischen Stromgewinnung wird seit einigen Jahren von einer in der Schweiz ansässigen Firma vorangetrieben. In einem Demonstrationsprojekt gelang eine (geringe) Stromerzeugung bei Temperaturen von 36°C bzw. 18°C für den kühleren Teil. Der maximale Wirkungsgrad (Carnot-Wirkungsgrad) dieser Anlage liegt bei 5,8 %. Ein erstes Projekt im technischen Maßstab, das 2015 realisiert wurde, nutzt mit einem Volumenstrom von 10 m<sup>3</sup>/h ein 53°C warmes Abwasser. Der Wasserstrom (4 m<sup>3</sup>/h) des im unteren Temperaturbereich eingesetzten Oberflächenwassers verfügt über eine Temperatur von rd. 14°C. Die Anlage liefert eine elektrische Leistung von 1-1,4 KW.

Die Entwicklungsfirma des Tesla Motors beabsichtigt, innerhalb der nächsten Jahre „ein marktfähiges Produkt mit einer Leistung im Megawatt-Bereich“ zu entwickeln.

---

<sup>2</sup> Organic Rancine Cicle

### Piezoelektrisches Stromgewinnungskonzept

Beim piezoelektrischen Stromerzeugungsprozess erfolgt eine oszillierende Expansion einer Flüssigkeit und eines Gases innerhalb eines Arbeitsraumes. Dabei wird eine Membran in Schwingung versetzt und so die Spannung erzeugt. Die höchste Effizienz erreicht der Prozess im Temperaturbereich zwischen 100°C und 150°C. Aufgrund seines geringen Wirkungsgrades (1 %) und der vergleichsweise hohen Investitionskosten wird das Verfahren allerdings als wirtschaftlich unattraktiv bewertet.

### Thermophotovoltaisches Stromgewinnungskonzept

Bei der thermophotovoltaischen Gewinnung von elektrischem Strom wird – ähnlich wie bei der Photovoltaik – die Möglichkeit der Umwandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie genutzt. Ein Einsatz des der Vollständigkeit halber hier erwähnten Verfahrens wird i.W. im Hochtemperaturbereich (> 1.000°C) gesehen (UTLU et al. 2013).

## **3.3 Speichersysteme**

Erneuerbare Energien bergen die Herausforderung nur fluktuierend verfügbar zu sein. Langfristig sollte eine Zwischenspeicherung angestrebt werden. Die Bergbauinfrastruktur könnte dabei eine Rolle spielen. Im nachfolgenden werden verschiedenen Speichersysteme dargestellt.

Bei der Wärmespeicherung lassen sich drei Anwendungen unterscheiden, die im Folgenden aufgeführt werden:

### **3.3.1 Wärmespeicher**

#### Latentwärmespeicher

Bei der Änderung des Aggregatzustands nimmt das Speichermedium Wärme auf bzw. gibt Wärme ab. Dadurch wird zusätzlich zur Einspeicherung durch Temperaturerhöhung weitere Wärmeenergie ohne Temperaturerhöhung eingespeichert. Die am meisten verbreiteten Speichermedien sind Wasser, Salze oder Metalle. Derzeit arbeitet das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) an einem Konzept Kohlekraftwerke zu Speicherkraftwerken umzubauen und damit die bestehende Kraftwerkinfrastruktur weiter zu nutzen. Als Speichermedium dient dabei Flüssigsalz. Die dabei verwendeten Prozesse könnten mit geothermischer Energie aus Schächten ergänzt werden.

Ein Beispiel für kleinere mobile Anlagen ist ein mobiler Latentwärmespeicher in einem Überseecontainer. Bei diesem Projekt der KTG Gruppe wird Wärme aus der Kokerei Prosper zu einem nahe gelegenen Schwimmbad in Duisburg Reinhausen geliefert. Mit dem verwendeten Speichersystem auf Natriumbasis ist eine Kapazität von 2.000 kWh verfügbar.

Die Energiedichte erreicht max. 120 kWh/m<sup>3</sup> und die Effizienz liegt im Bereich von 0,75-0,9.

#### Sensible Wärmespeicher

In diesem System wird durch die Zufuhr von außen und der daraus folgenden Erwärmung des Speichermediums Energie gespeichert. Wegen der Temperaturdifferenz zwischen dem Speichermedium und dessen Umgebung treten während der Speicherung Verluste auf. Die Technologie besitzt einen hohen Temperatureinsatzbereich und kann im Hochtemperaturbereich verwendet werden. Die Effizienz liegt im Bereich von 0,5 bis 0,9 während die Energiedichte bei maximal 60 kWh/m<sup>3</sup> liegt.



### Thermochemischer Wärmespeicher

Mithilfe von endo-/exothermen Reaktionen wird Wärme gespeichert. Eine mögliche Technologie ist der Sorptionsspeicher mit Granulat aus Silicagel, das eine große innere Oberfläche besitzt. An der Oberfläche wird Wasserdampf adsorbiert, wobei Wärme freigesetzt wird. Zum Trocknen, dem Einspeicherungsprozess, muss Wärme aufgewendet werden. Der thermochemische Wärmespeicher hat eine hohe Energiedichte mit 120-250 kWh/m<sup>3</sup> und mit 0,8-1 ebenfalls eine hohe Effizienz.

### Stromspeicher

#### Elektrochemische Speicher / Akkumulatoren

Zur Speicherung der elektrischen Energie werden Elektroden (bzw. Elektrolyte) reduziert bzw. oxidiert. Die am häufigsten verwendeten Systeme sind der Blei-Säure-Akkumulator und der Lithium-Ionen-Akkumulator. Der Blei-Säure-Akkumulator hat die Vorteile, dass er kostengünstig und recycelbar ist. Dem gegenüber stehen die Nachteile der geringen Energiedichte (70 kWh/m<sup>3</sup>; 31 Wh/kg) und der geringen Zyklenfestigkeit. Der Lithium-Ionen-Akkumulator ist teurer, aber besitzt eine deutlich höhere Energiedichte (bis zu 500 kWh/m<sup>3</sup>; 180 Wh/kg) und eine höhere Zyklenfestigkeit.

#### Supercaps (Kondensatoren)

Die Speicherung elektrischer Energie mithilfe von Supercaps ist für Anwendungsfälle mit einem hohen Leistungs- aber eher geringen Energiebedarf sinnvoll. Die Energiedichte liegt nur bei 0,1-4 Wh/kg. Die Leistungsdichte kann bis zu 1.000 W/kg betragen. Die Kondensatoren werden dementsprechend vor allem zum einen zur Bremsrückgewinnung von Fahrzeugen und zum anderen zur Notfalleistungsbereitstellung verwendet.

#### Schwungradmassenspeicher

Der Schwungradmassenspeicher ist ein mechanischer Speicher. Die elektrische Energie wird mithilfe eines Elektromotors in mechanische Energie (Rotation einer Scheibe mit großer Masse) umgewandelt und in diesem Energiezustand gespeichert. Ein Generator wandelt bei der Ausspeicherung die mechanische Energie wieder in elektrische Energie um. Die Wirkungsgrade der Ein- und Ausspeicherung sind hoch. Jedoch sind bei der Speicherung durch Reibung an der Luft die Verluste hoch. Die Selbstentladung beträgt 3-20 % pro Stunde. Dementsprechend ist der Schwungradmassenspeicher für hohe Leistungen und als Kurzzeitspeicher sehr gut geeignet.

### Wasserstoff-Speicher

Elektrolyse trennt Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff auf. Der Wasserstoff kann anschließend in Drucktanks gespeichert werden, bevor eine Rückverstromung mittels Brennstoffzelle oder klassischer Kraftwerkstechnik (BHKW, Gasturbine, GuD-Kraftwerk) stattfindet. Um die problematischen Eigenschaften von Wasserstoff (Diffusion und Entzündlichkeit) bei der Speicherung zu umgehen, kann der Wasserstoff per Katalysator mit einem Trägermaterial (LOHC) verbunden werden. Das Gemisch ist flüssig und es ist nicht mehr die Lagerung in Drucktanks nötig. Zur Wiederverwendung des Wasserstoffs wird ein Katalysator benötigt.

## **3.4 Nutzung des Grubenwassers**

Eine bisher weitgehend ungenutzte Ressource stellt das Grubenwasser dar. Es wird in der Öffentlichkeit meist sehr negativ assoziiert und wird als Umweltbelastung angesehen. Besonders kritisch wird dabei die hohe Mineralisation bewertet. Für die mögliche Nutzung des Grubenwassers

stellt diese jedoch eine wertvolle Ressource dar. Enthaltene Salze oder Mineralstoffe könnten stark aufkonzentriert und als Sohlen an Industriepartner abgegeben oder verkauft werden.

Denkbar wären dafür Membranverfahren und Niedrigtemperaturverdampfung. Bei dem erstgenannten Membranverfahren wird die Flüssigkeit durch den Einsatz einer semipermeable Membran gepresst und so Stofffrachten abgetrennt. Durch Umkehrosmose ist auch eine Trennung von gelösten Mineralstoffen möglich. Um eine ausreichende Reinigung und Abtrennung zu gewährleisten sind jedoch sehr hoher Druck notwendig. Daher wäre auch eine Niedrigtemperaturverdampfung denkbar, bei dem das Grubenwasser auch unter Druck gesetzt würde, jedoch gleichzeitig erhitzt und so zum Verdampfen gebracht würde. Zurück blieben die Mineralfracht und destilliertes Wasser. Das Wasser könnte je nach Bedarf bis auf Trinkwasser- oder Nutzwasserqualität remineralisiert (designed), in Flüsse eingeleitet oder auch als destilliertes Wasser verkauft werden.

Die Rückstände könnten getrennt oder in geeigneter Qualität gewonnen und als Mineralstoffe verkauft werden.

#### **4      **Ausblick****

Die vorgestellten Konzepte zur weiteren Inwertsetzung des energetischen Potentials von Grubenwässern sowie im Umfeld der vorhandenen Bergbauinfrastruktur ableitbaren Möglichkeiten zur Aufwertung dieses Basisenergiepotentials können einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zum Strukturwandel in Bergbauregionen leisten. Daneben könnte aufbereitetes Grubenwasser oder die Rohstoffgewinnung einen positiven Beitrag zur nachhaltigen Renaturierung von bisher beeinflussten Flusssystemen leisten. Für eine praktische Anwendung im technischen Maßstab sind die häufig noch im Entwicklungsstadium befindlichen Technologien zu erproben, ggf. weiter zu entwickeln und marktfähig zu machen. Im Mittelpunkt sollten dabei systemische Lösungen stehen, die eine nachhaltige Nutzung des gesamten Potentials anstreben.

#### **Quellen**

HENDRICKS, T. & CHOATE, W. T. (2006): Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator Systems for Industrial Waste Heat Recovery. U.S. Department of Energy (U.S. DOE), Washington DC.

LANUV NRW (2018): Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW: Potentialstudie Warmes Grubenwasser. Fachbericht 90, Recklinghausen.

SCHIFFER et al. (2019): Energiebergbau – Möglichkeiten der Um- und Nachnutzung bergbaulicher Infrastruktur durch energetische Nutzung des Grubenwassers. Tagungsband Bergbau, Energie und Rohstoffe 2019. Übergang zu neuen Zeiten, 11.-13. September 2019. Hrsg.: THGA/FZN und DMV. TH Georg Agricola, 1 Abb., S. 308-317, Bochum.

UTLU, Z. & PARALI, U. (2013): Investigation of the potential of thermophotovoltaic heat recovery for the Turkish industrial sector. Energy Conversion and Management, 74, S. 308–322, Amsterdam.

Ruhr-Universität Bochum | Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik  
Kontakt: Dr. R. Schiffer | Universitätsstraße 150 | Tel. +49 234 32-25454

[rolf.schiffer@rub.de](mailto:rolf.schiffer@rub.de)