

Aquiferspeicher – Beitrag zur alternativen Wärmeversorgung

von Marcus Meisel, Annelie Papsdorf und Dr. Kersten Roselt (JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH)



Neue Technologien Richtung Zukunft

Die bewusste Abkehr von der fossilen Energieerzeugung und der Klimanotstand von Städten wie Leipzig befeuern nicht erst seit heute die Diskussion um nachhaltigere Energiesysteme. Nach den Initiativen zur Energiewende durch die neue Bundesregierung und nun mit dem Krieg in der Ukraine ist eine beschleunigte Dekarbonisierung unabdingbar.

Der Ausbau erneuerbarer Energien liegt im Wärmesektor mit einem Anteil von nur 16,5 % im Jahr 2021 deutlich hinter dem Stromsektor (41 %) zurück. Dabei birgt der energieintensive Wärmesektor große Potentiale in der Transformation seiner fossil dominierten Energieversorgung hin zu regenerativen und

klimaneutralen Alternativen. Bezüglich der Wärmeversorgung gilt als Langfristziel zur Energiewende die Anpassung der Heizsysteme an sogenannte ‚kalte‘ Medien (verlustarme Bereitstellung der Wärmemengen durch große Volumina), die effizient aus regenerativen bzw. sekundären Quellen und Speichern gespeist werden.

Hier spielt die innovative Nutzung lokaler Ressourcen eine herausragende Rolle. Jede alternative Wärmequelle kann heute von Bedeutung sein. Daher wird es von großer Wichtigkeit für eine solche Transition sein, gerade die in den Strukturwandelregionen ausgeprägten Potentiale für eine lokale und regionale energetische Wertschöpfung zu erschließen. Solche lokaltypischen Potentiale sind beispielsweise die zahlreichen Tagebaurestseen, deren Gewässer

thermisch genutzt werden können, und die Verbreitung von Grundwasservorkommen für eine geogene saisonale Wärmespeicherung.

Bereits Mitte 2021 konnte ein mitteldeutsches Expertenteam eine Studie zur Nutzung von Seethermie am Zwenkauer See [1] vorlegen. Neben alternativen Energiequellen ist die Wärmeversorgung aber auch durch innovative Speichersysteme abzudecken, mit denen saisonale Angebots- und Nachfrageunterschiede ausgeglichen werden können. Oberflächennahe und tiefe Aquifere – grundwasserführende Schichten – gelten als geeignete Strukturen, in denen Wärme oder Kälte eingespeichert werden können.

Aquiferspeicher – nachhaltige geogene thermische Speicherung

Der wassergefüllte Teil von Grundwasserleitern eignet sich sehr gut zur Speicherung von Wärme- und Kälteenergie. Dafür wird das Grundwasser in den natürlichen und unverändert belassenen Gesteinsschichten direkt als Wärmeträgermedium genutzt. Die Speicherung der Energie erfolgt im Grundwasser und zu wesentlichen Teilen auch in der Gesteinmatrix. Bezüglich dieser handelt es sich in der Praxis der Aquiferspeicher meist um weitflächig verbreitete Sand-, Kies-, Sandstein- oder Kalksteinschichten. Die Speicherung thermischer Energie kann in



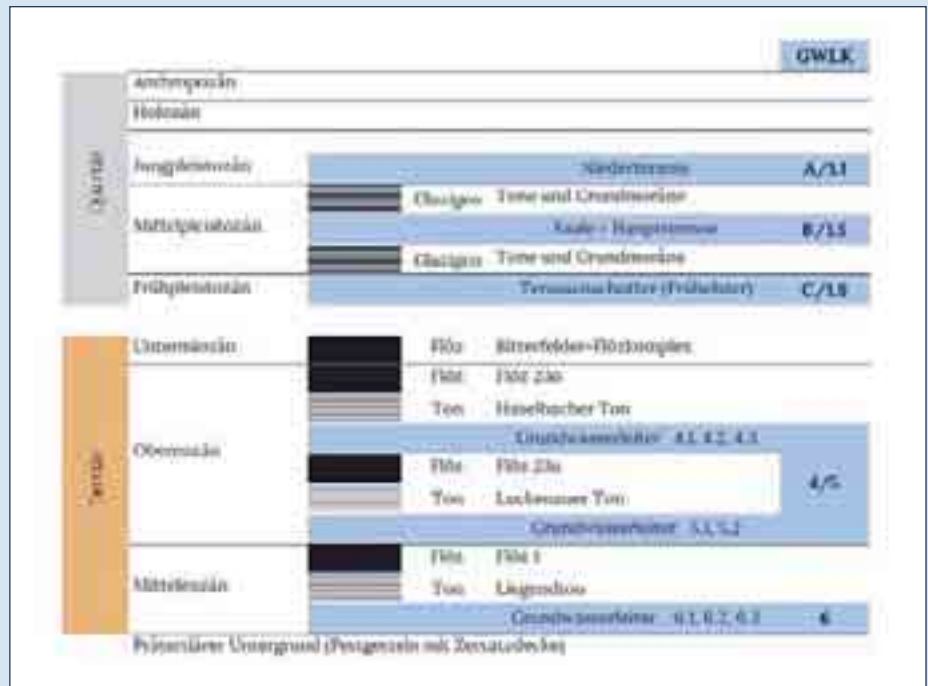
Vereinfachte Darstellung des Aquiferspeicher-Prinzips, Archiv JENA-GEOS®

unterschiedlich tiefen Schichten erfolgen. In Fachkreisen bezeichnet man diese thermische Nutzung als Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) oder einfach als Aquiferspeicher. Sie sieht einen Sommer- und Winterbetrieb im Wechselprinzip vor. Der Speicher wird durch Bohrungen erschlossen, die als Förder- oder Injektionsbrunnen oder für beide Funktionen ausgebaut werden. Im Sommer wird über den „kalten Brunnen“ Grundwasser zur Kühlung gefördert. Anschließend wird das erwärmte Wasser über den „warmen Brunnen“ dem Aquifer wieder zugeführt. Im Winter wird die Pumprichtung umgekehrt, Grundwasser zur Heizung gefördert und über den „kalten Brunnen“ wieder in den Aquifer eingespeist.

Die ursprüngliche, ungestörte Temperatur im Speicher ist abhängig von der Tiefe und liegt für Niedertemperaturspeicher zwischen 10 – 30 °C, für Mitteltemperaturspeicher zwischen 30 – 60 °C und für Hochtemperaturspeicher zwischen 60 – 90 °C.

Das geförderte Grundwasser wird in der Regel in vollem Umfang wieder in den Aquifer eingeleitet, aus dem es entnommen worden ist. ATES folgen dem open-loop-Prinzip (kein in sich geschlossenes System mit künstlichen Barrieren) und weisen dadurch neben hohen Speichereffizienzen vor allem hohe Speicherkapazitäten auf. Die einzelnen Brunnen oder Brunnengruppen müssen derart angeordnet werden, dass eine gegenseitige thermische oder hydraulische Beeinflussung der warmen und der kalten Systemseite den Speicherprozess nicht negativ beeinflusst.

Generell sind Aquiferspeicher gut skalierbar und können sowohl für kleinere Anlagen in Bereichen von wenigen 100 kWth bis mehrerer MWth eingesetzt werden. Beispiele für die erfolgreiche Anwendung von Aquiferspeichern sind Projekte wie das Richard Stockton College of New Jersey (6 Brunnen, 400 kWth), der Stockholmer Flughafen (11 Brunnen, 6 – 10 MWth) oder die Eindhoven University (32 Brunnen, 17 MWth). Die Bauzeit bewegt sich je nach Größe des geplanten Aquiferspeichers und der vorhandenen Datengrundlage zwischen 2 und 4 Jahren. Weltweit führend sind die Niederlande mit etwa 2.500 genutzten Aquiferspeichern. In Deutschland sind aktuell nur drei kommerziell genutzte ATES-Anlagen in Betrieb, unter anderem am Bonner Bogen.



Stratigraphische Gliederung der Schichten des Tertiärs und Quartärs mit Festlegung der für die Speicherung von thermischer Energie grundsätzlich geeigneten Grundwasserleiterkomplexe (GWLK) A, B, C sowie 4/5 und 6 ([2])

Damit ein Aquiferspeicher im Lockersediment ökonomisch und ökologisch sinnvoll genutzt werden kann, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- ausreichende Mächtigkeit der wasserführenden Schicht (< 5 m)
- geeignete Tiefenlage (< 150 m)
- geringe Grundwasser-Strömungsgeschwindigkeit (< 100 m/Jahr)
- ausreichende Permeabilität ($> 3 \cdot 10^{-5}$ m/s)
- natürliche Begrenzung des Systems durch gering oder nicht durchlässige Schichten vor allem an der Basis

Projekt aqstore [2]

aqstore ist eine im Auftrag der Innovationsregion Mitteldeutschland durchgeführte Studie zur Erschließung von Aquiferen für eine saisonale Wärmespeicherung. Sie klärt die grundsätzlichen Fragen der Adaption internationaler und nationaler Technologien auf die Verhältnisse innerhalb der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland im Länderdreieck Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Die Studie enthält die Darstellung der regionalen Verbreitung von Aquiferspeichern, betrachtet die Auswirkungen der Speicherung auf die Umwelt, die technische Anbindung an Wärmeversorgungsanlagen in den Netzen bzw. Gebäuden, die Wirtschaftlichkeit sowie die Genehmigungsfähig-

keit. Unter der Leitung der JENA-GEOS[®]-Ingenieurbüro GmbH wurde die Studie mit den Partnern der Friedrich-Schiller-Universität Jena (Institut für Mikrobiologie), der e7 UG Leipzig sowie der Energieberatung Bernd Felgentreff, Leipzig, erstellt.

Speicherpotential innerhalb der Metropolregion Mitteldeutschland

Das wichtigste Ergebnis des Projektes ist zunächst ein Aquifer-Atlas, in dem die geologische Aufarbeitung großer Datenmengen (Karten, Berichte, Bohrergebnisse), deren Digitalisierung und Verarbeitung mittels eines geographischen Informationssystems erfolgte. Darin sind die fünf wichtigsten Grundwasserleiterkomplexe (Aquifere) des Quartärs und Tertiärs ab einer für die Speicherung geeigneten Mindestmächtigkeit von 5 m dargestellt.

Neben theoretisch nutzbaren Flächen wurden auch die restriktiv wirkenden Raumwiderstände wie Abbaugelände, Trinkwasserschutzgebiete und Heilquellen ausgehalten. Auf diesen Flächen ist die Nutzung des Grundwassers für die Speicherung nicht möglich. Einschränkungen gelten auch für Flächen mit Altlasten oder Grundwasserkontaminationen, zu denen lokale Informationen eingeholt werden müssen.

Der Aquifer-Atlas zeigt, dass theoretisch 40 % der Fläche der Metropolregion für eine saisonale Einspeicherung von Wärme oder Kälte geeignet sind. Die Aquifere sind dabei ungleich innerhalb der Metropolregion verteilt. Die Stadt Leipzig weist auf ca. 90 % ihrer Fläche Grundwasserleiter im Untergrund auf. Über ein ähnlich hohes Potential verfügt der Landkreis Nordsachsen mit 76 %, im Gegensatz zum Landkreis Mansfeld-Südharz mit 7 %.

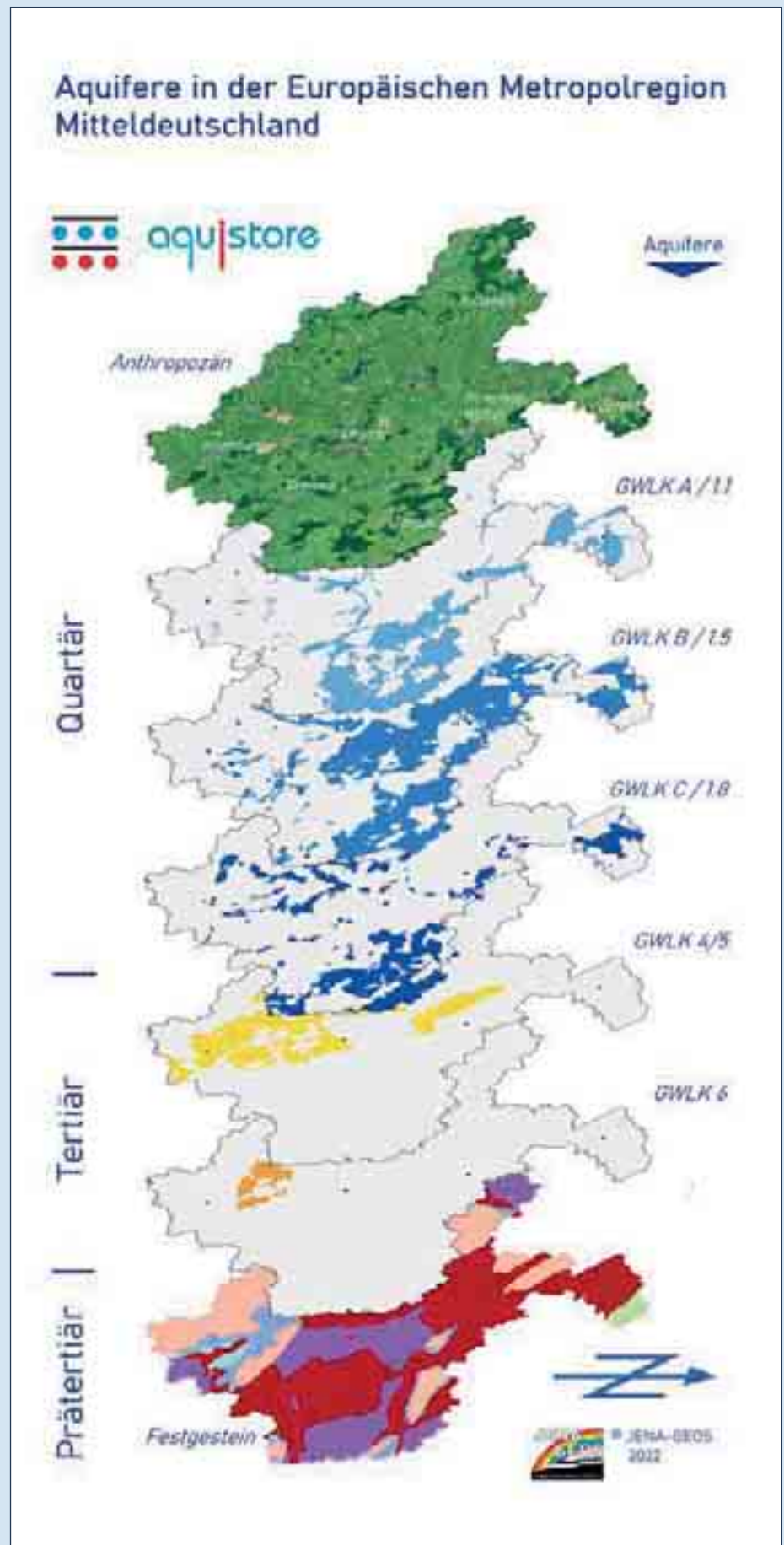
In einigen Teilgebieten existieren sogar mehrere Grundwasserleiterkomplexe übereinander, was eine Einspeicherung unterschiedlicher Temperaturen in verschiedenen Stockwerken erlaubt. Die Ergebnisse bestätigen ein enorm hohes Potential für die saisonale Speicherung zukunftsfähiger alternativer Wärmeversorgungssysteme.



Synoptische Darstellung der Verbreitung aller für die thermische Speicherung nutzbarer Aquifere (GWLK) in der Metropolregion (JENA-GEOS®, [2])

Umweltauswirkungen und Genehmigungsfähigkeit

Es wurden stichprobenhaft mikrobiologische Untersuchungen an Grundwässern sowie an den Braunkohleflözen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Temperaturerhöhung



Stockwerks-Darstellung der Verbreitung aller für die thermische Speicherung nutzbarer Aquifere (GWLK) in der Metropolregion (JENA-GEOS®, [2])



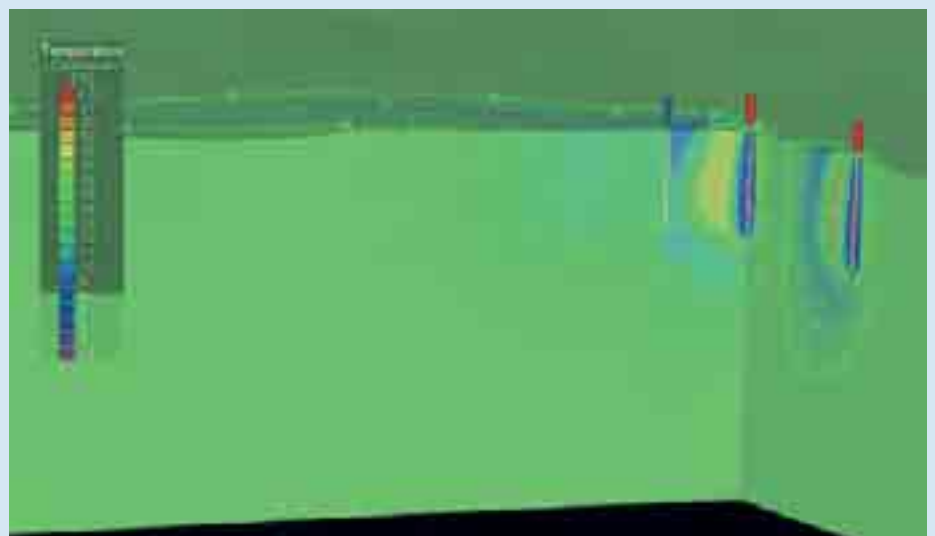
Probenahme am Flöz 1 im Tagebau Scherzau vor aktuellem Flözabbau (Foto: JENA-GEOS®)

Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Mikrobiome im Grundwasser haben, hier aber keine relevanten Verschiebungen der Funktionen der mikrobiellen Stoffumsätze und damit ihrer Ökosystemfunktion zu erwarten sind. Potentielle Auswirkungen auf systemare Eigenschaften und funktionale Verschiebungen können durch das Einhalten technischer Standards reduziert bzw. ausgeschlossen werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen der EU und in Deutschland beziehen sich auf geothermische Energie und Anlagen im Allgemeinen ohne Unterscheidung verschiedener geothermischer Nutzungsformen. Somit existieren keine speziell auf Aquiferspeicher zugeschnittenen Rechtsvorschriften. Da in Deutschland die Einteilung geothermischer Systeme nach der Tiefe üblich ist, fallen die weitaus meisten Aquiferspeicher mit Tiefen von bis zu 100 m unter das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Technische Aspekte sind in der VDI-Richtlinie 4640 zusammengestellt. Bei Anlagen mit einer Größe von über 30 kW Kapazität sind in Deutschland im Voraus Berechnungen und/oder numerische Simulationen erforderlich. In bestimmten Fällen können UVP gefordert werden. Für die Zukunft bedarf es einheitlicher gesetzlicher Regelungen, um Rechtssicherheit für Anlagenbetreiber und andere Interessengruppen zu gewährleisten.

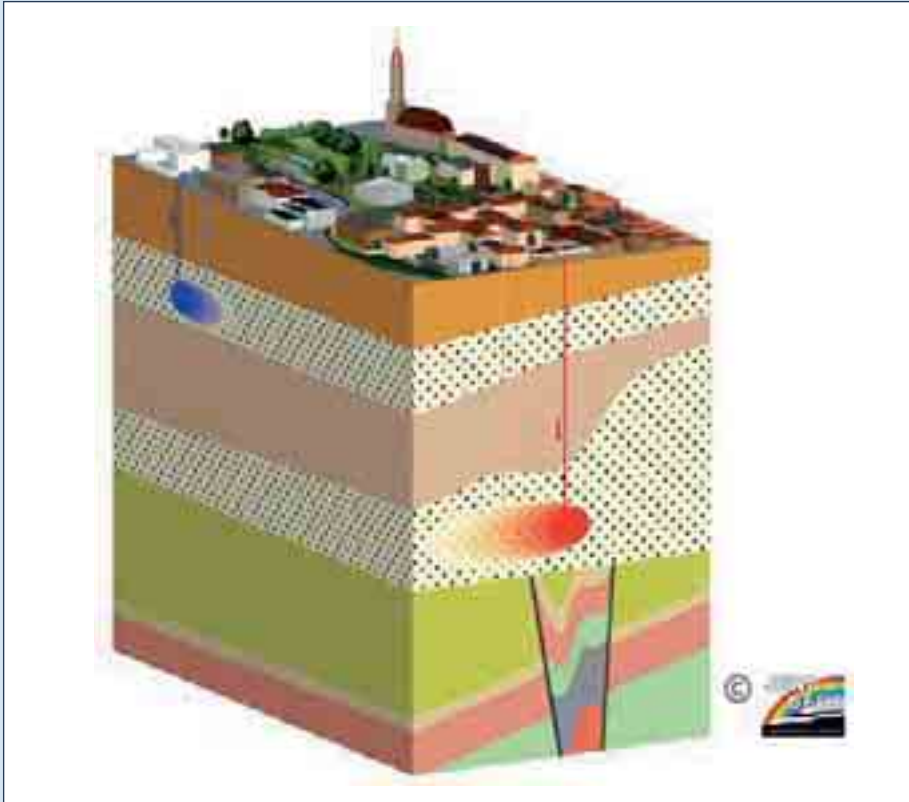
Wirtschaftlichkeit: Aquiferspeicher vs. Gas

Aquiferspeicher lassen sich meist günstiger als Sondenfelder erschließen und brauchen nur wenig Erschließungsraum. Damit wir sie sinnvoll nutzen können, müssen die Vorlauftemperaturen von Heizanlagen deutlich gesenkt werden. Daher sind künftig signifikant mehr Flächentemperierungen zur Gebäudeheizung einzubauen. Ein bedeutendes und bislang viel zu wenig

genutztes Potential ist die niedertemperaturige Industrieabwärme, auch als Anergie bezeichnet. Durch die zeitliche und räumliche Entkopplung von Aquiferen in Verbindung mit kalten, intelligenten Wärmenetzen bekommt diese Anergie große Bedeutung im Hinblick auf die Versorgung von Wohnquartieren und der Transformation des Wärmeversorgungssystems für Gebäude mit hohem, ganzjährig konstantem Energiebedarf wie Bürogebäude, Flughäfen, Universitäten, Einkaufszentren und v. a. Krankenhäuser.



Beispiel einer numerischen Simulation: Ausbreitung der Wärmefahne im Untergrund bei Betrieb eines Aquiferspeichers im Durchlaufprinzip mit zwei Brunnenpaaren nach rund 20 Jahren Betriebszeit. Blauer Pfeil – Extraktionsbrunnen. Rote Pfeile – Injektionsbrunnen (JENA-GEOS®)
Quelle Aquistore-Bericht



Blockbild eines Mischquartiers mit der Nutzung von 2 Aquifer-Stockwerken für die Einspeicherung von Wärme und Kälte (JENA-GEOS®)

Nach Berechnungen von Hopf [5] betragen die Wärmegestehungskosten für die Speicherung von Wärme in kleineren Standard-ATES mit rund 2 MWh jährlich produzierter Wärmemenge etwa 11 ct/kWh, für größere (5 MWh) nur noch 7 ct/kWh. Vor dem Krieg in der Ukraine lag der Gaspreis bei 14,15 ct/kWh, die Prognosen überschlagen sich augenblicklich.

Integration in die Praxis: Hürden erkennen und überwinden

Die Ingenieur:innen der JENA-GEOS® arbeiten weiter an Lösungen zur Nutzung der Aquiferspeicher. Im Großprojekt smood® - smart neighborhood' [3] wird u. a. ein spezieller Aquiferspeicher als bauliche Anlage unter Bestandsgebäuden entwickelt. GAIA [4] vermittelt Ansätze für ein Systemverständnis zum erfolgreichen Betrieb eines Aquiferspeichers und für die saisonale Unterspeicherung von anthropogener Abwärme in Thüringen. Die Arbeit von Hopf [5] befasst sich u. a. dezidiert mit der Wirtschaftlichkeit, Voigt [6] modelliert und diskutiert die Auswirkungen der geogenen saisonalen Wärmespeicherung auf die Temperatur der Bodenoberfläche. Aktuell erarbeitet die JENA-GEOS® gemeinsam mit der I pro K aus

Leipzig die Machbarkeit für einen großen Aquiferspeicher in Karlsruhe. Die Überführung der Aquiferspeicherung in die Praxis ist aktuell der wichtigste Schritt. Jedermann kann sich im Aquifer-Atlas [2] grundsätzlich darüber informieren, ob sich sein Standort im Bereich von geeigneten Speicherstrukturen im Untergrund befindet. Die Studie aqstore hat zum Interesse zahlreicher Gewerbetreibenden geführt, die beispielsweise ihre Prozesswärme saisonal einspeichern und nutzen, oder auch die Aquiferspeicherung für Kühlzwecke nutzen wollen. Die Investor:innen sind hinsichtlich För-

derung und Genehmigung zu unterstützen; bei Vorplanungen zu Aquiferspeichern sind die Fachbehörden frühzeitig einzubeziehen. Als außerordentlich wichtig erachten die Autor:innen von aqstore darüber hinaus die frühzeitige und fortlaufende Einbindung aller Interessengruppen und eine positive Kommunikation der Nutzung dieser natürlichen Potentiale als einen Schatz der Region.

Quellen:

- [1] Schmidt, J., K. Roselt, G. Hesse, S. Böttger, B. Felgentreff, M.-J. Hloulac, D. Leßmann, S. Mix, M. Safarik, C. Steffan., W. Uhlmann (2021): Seethermie – innovative Wärmeversorgung aus Tagebauseen. – Studie im Auftrag der Innovationsregion Mitteldeutschland. – Jena, Leipzig und Dresden
- [2] Roselt, K. & A. Papsdorf (Redaktion), B. Felgentreff, J. Hopf, E. Kothe, D. Landgraf, M. Meisel, J. Schmidt, M. Voigt (2021): aqstore – Adaption von Technologien saisonaler geogener Wärmespeicher auf die Aquifere der Innovationsregion Mitteldeutschland. – Band 1 (Studie), Band 2 (Atlas) – Jena & Leipzig
- [3] „smood® - smart neighborhood“ Webseite www.smood-energy.de des Regionalen Wachstumskerns
- [4] Meisel, M., Klapperer, S., Haase, D., Eckardt, S. (2022): GAIA: Erschließung Geogener Strukturen zur Abspeicherung von Induzierter Anthropogener Wärme – JENA-GEOS® / Ansys, Jena & Weimar
- [5] Hopf, Julia (2022): Potentialanalyse von Aquiferspeichern als Beitrag zur Umsetzung der Wärmewende in Thüringen - Masterarbeit, EAHS Jena
- [6] Voigt, Martin (2022): Untersuchung der Auswirkung eines oberflächennahen Aquifer-Wärmespeichers auf die Temperatur der Bodenoberfläche. - Bachelorarbeit, EAHS Jena

Alle aufgeführten Quellen stehen zum Download bereit unter www.jena-geos.de/fachbeitraege



ist ein Projekt der



Autoren und Kontakt:



Marcus Meisel



Annelie Papsdorf



Dr. Kersten Roselt

**JENA-GEOS®-
Ingenieurbüro GmbH**

**Saalbahnhofstraße 25 c
07743 Jena**

**www.jena-geos.de
info@jena-geos.de**

Fotos: Archiv JENA-GEOS®