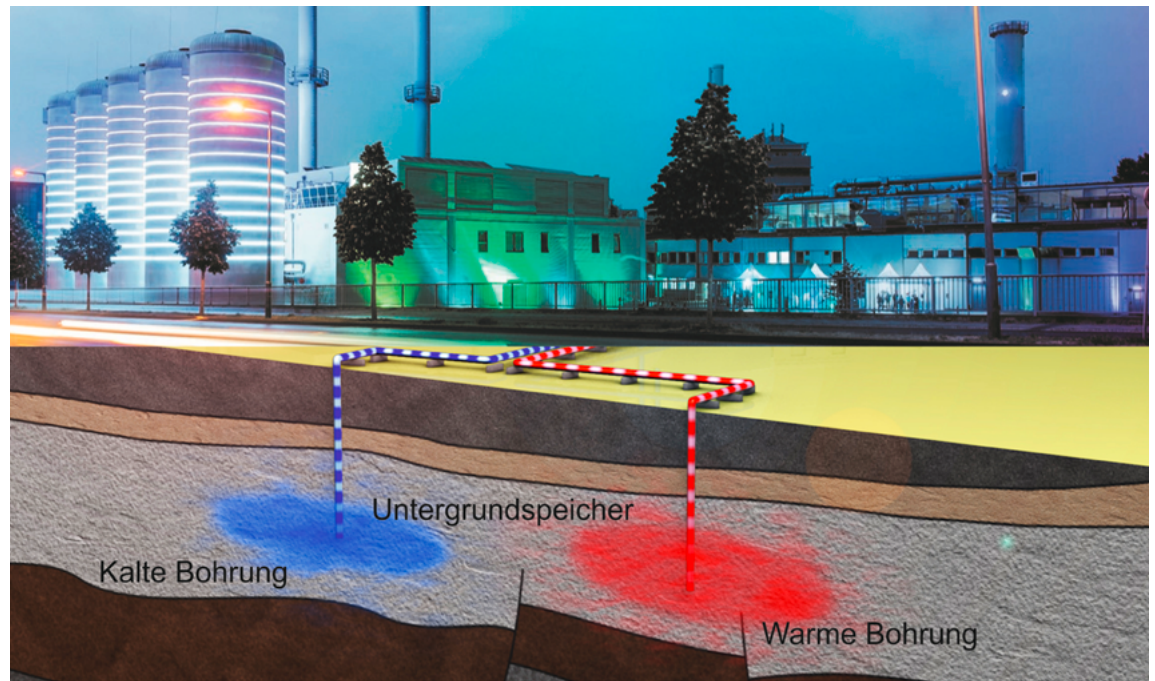


► Abb. 1: Prinzip der saisonalen Wärmespeicherung im natürlich durchlässigen Untergrund. Einspeicherung der Wärme im Sommer und Entnahme aus dem Untergrundspeicher und Bereitstellung als Heizwärme im Herbst bzw. Winter
(Quelle: BTB, GFZ)



Reallabor: GeoSpeicherBerlin

TEXT: Ali Saadat, Stefan Kranz, Ben Norden, Guido Blöcher, Simona Regenspurg, Katrin Kieling und Stefanie Dedejne

Im Rahmen des Reallabors »GeoSpeicherBerlin« soll ein Hochtemperatur-Aquiferwärmespeicher (HT-ATES) realisiert und in das bestehende Fernwärmenetz der Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin (BTB GmbH) durch ein großtechnisches Wärmepumpensystem integriert werden. Diese Pilotanlage wird wichtige Erkenntnisse zur Machbarkeit einer klimaneutralen Quartierswärmeversorgung in Deutschland liefern.



Dr.-Ing. Ali Saadat

Leiter Geothermie,

Innovative Systeme und

Fördermittel

BTB Blockheizkraftwerks-

Träger- und Betreibergesell-

schaft mbH Berlin

Kontakt:

ali.saadat@btb-berlin.de

www.btb-berlin.de

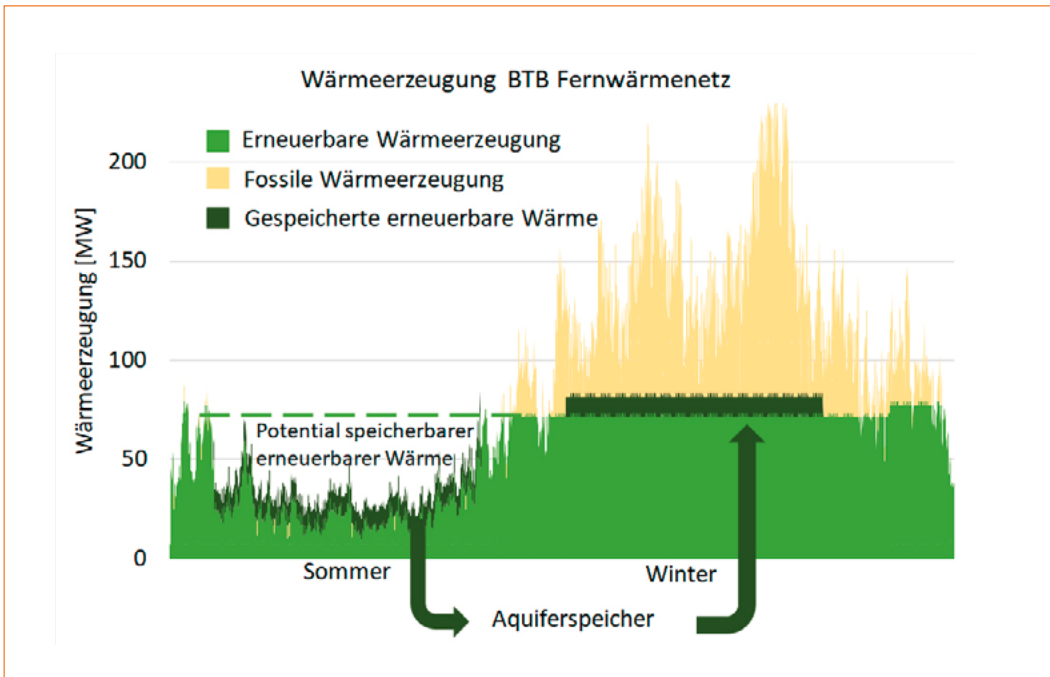
Die effiziente Kombination von geothermischer saisonaler Wärmespeicherung mit regenerativer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung erhöht den Anteil erneuerbarer Energiequellen in der städtischen Wärmeversorgung und trägt so wesentlich zum Erreichen der Klimaziele bei. Eine besondere Herausforderung dabei ist die Implementierung eines solchen Systems in bestehende Fernwärmestrukturen.

Im Rahmen des Reallabors »GeoSpeicherBerlin« (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, FKZ: 03EWR022 A-D) soll ein HT-ATES realisiert und durch ein großtechnisches Wärmepumpensystem in das bestehende Fernwärmenetz der BTB GmbH integriert werden. Diese Pilotanlage wird wichtige Erkenntnisse zur Machbarkeit einer klimaneutralen Wärmeversorgung von Stadtquartieren in Deutschland liefern (s. Abb. 1).

Bisher wurden die natürlich vorhandenen Speichermöglichkeiten des Untergrunds kaum in städtischen Wärmeversorgungskonzepten ge-

nutzt, obwohl sie sowohl als Wärmespeicher als auch als Kältespeicher dienen können. Thermische Aquiferspeicher für hohe Temperaturen > 60 °C (High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage, HT-ATES) überzeugen durch hohe Speicherkapazitäten und hohe Wärmehöhenrückgewinnungsgrade, besonders für den saisonalen Betrieb.

Für den Einsatz eines Aquiferspeichers ist eine hydraulisch gut durchlässige geologische Formation mit ausreichender Mächtigkeit (Dicke) erforderlich, die von gering- oder undurchlässigen geologischen Einheiten über- bzw. unterlagert wird und somit hydraulisch begrenzt ist. Ein ATES-System umfasst zudem technische Komponenten wie Bohrungen zum Ein- und Ausspeichern sowie Anlagenkomponenten zur Integration des Speichers in Versorgungsstrukturen. Eine effiziente technische Realisierung erfordert ein Nutzungskonzept, bei dem alle Teilsysteme integrativ betrachtet, aufeinander abgestimmt und im Kontext einer sicheren Versorgung bewertet werden.



◀ Abb. 2: Saisonale Wärmespeicherung im Fernwärmeverbundnetz von BTB (Quelle: S. Dedeyne, BTB)

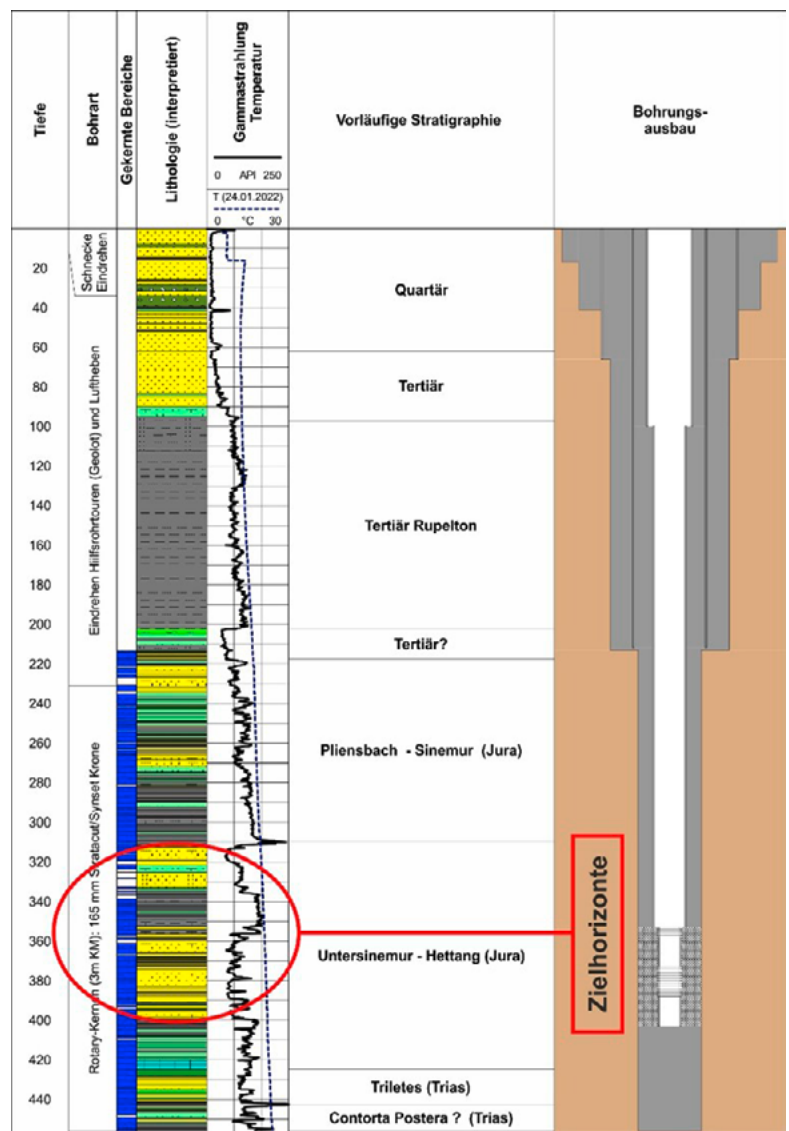
▼ Abb. 3: Die Forschungsbohrung Gt BTrKoe 1/2021. Erbohrtes Bohrprofil mit Darstellung der Stratigraphie, gekerkerten Bereiche (Dunkelblau), der Hauptgesteinsfarbe und der Haupt-Lithologie (grau - tonige Gesteine, gelb - sandige Gesteine, grün - siltige Gesteine, helblau - kalkige Gesteine). (Quelle: B. Norden, GFZ)

Herausforderungen bei der Realisierung von ATEs-Systemen bestehen u. a. im Auffinden geeigneter Speicherhorizonte im Untergrund, der Sicherstellung eines zuverlässigen Betriebs bei hohen Speichertemperaturen, der effizienten Integration in (bestehende) Versorgungsstrukturen und in genehmigungsrechtlichen Aspekten. Demonstrationsprojekte im vorwettbewerblichen Bereich können dazu beitragen, diese Hindernisse zu überwinden und die Marktreife vorzubereiten.

Forschungsvorhaben: GeoFern
»Erkundungsbohrung in Berlin-Adlershof«

Seit Jahren verfolgt die BTB GmbH das Ziel, einen geothermischen, saisonalen Hochtemperatur-Aquiferspeicher als Einstieg in die saisonale Wärmespeicherung zu errichten (s. Abb. 2). Für eine ATEs-Anwendung mit höheren Speichertemperaturen (> 60 °C) kommen in Berlin aus Genehmigungssicht nur Gesteinsschichten in Frage, die unterhalb der Aquifere liegen, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden. Dabei handelt es sich überwiegend um Ablagerungen des Mesozoikums, wobei die genaue Tiefenlage von den lokal vorherrschenden geologischen Bedingungen abhängt.

Im Rahmen des inzwischen abgeschlossenen Forschungsprojektes »GeoFern« (FKZ: O3EE4007), das vom Deutschen GeoForschungszentrum (GFZ Potsdam) koordiniert wurde, erfolgte das Abteufen einer Erkundungsbohrung in Kombination mit neuen passiv-seismischen Verfahren, wodurch die Bewertung des Untergrundes als potenzieller Speicher am Standort des Heizkraftwerks der BTB GmbH in Berlin Adlershof möglich wurde. Die Forschungsbohrung Gt BTrKoe 1/2021 (Abb. 3)





Dipl.-Ing. Stefan Kranz

Arbeitsgruppenleiter in der
Sektion 4.8 Geoenergie
des Helmholtz Zentrums
Potsdam - Deutsches Geo-
Forschungszentrum

Kontakt:

kranz@gfz-potsdam.de
www.gfz-potsdam.de

Weitere Autor*innen:

Dr. rer. nat. Ben Norden

Dr. Ben Norden

Dr.-Ing. Guido Blöcher

Dr. Simona Regenspurg

Dr. Katrin Kieling

Helmholtz Zentrum Potsdam -
Deutsches GeoForschungs-
Zentrum

Stefanie Dedeyne

BTB Blockheizkraftwerks,
Träger- und Betreiber-
gesellschaft mbH Berlin

wurde unterhalb des Känozoikums als vollständig gekernte Bohrung abgeteuft, wodurch ein umfangreiches Untersuchungsprogramm an den gewonnenen Bohrkernproben möglich war. In einem Feldlabor wurden dabei u. a. die Gesteinsdichte, die natürliche Gammastrahlung und die thermische Wärmeleitfähigkeit der Gesteine kontinuierlich gemessen und eine erste geologische Charakterisierung vorgenommen, um Aussagen zur Variabilität der Gesteinszusammensetzung und zur Porositätsverteilung machen zu können. Weiterführende Arbeiten betreffen z. B. die Auswertung von Dünnschliffen, Laboranalysen zur chemischen Zusammensetzung und zum Mineralbestand sowie palynologischen Untersuchungen zur erdgeschichtlichen Einordnung der kontinuierlich gekernten 200 m langen Bohrstrecke (Norden et al., 2023). Die geologisch-petrophysikalischen und hydrogeologisch-geochemischen Untersuchungen des gewonnenen Kernmaterials erlauben eine detaillierte Charakterisierung und Erstbewertung des Speicherpotenzials des Untergrundes.

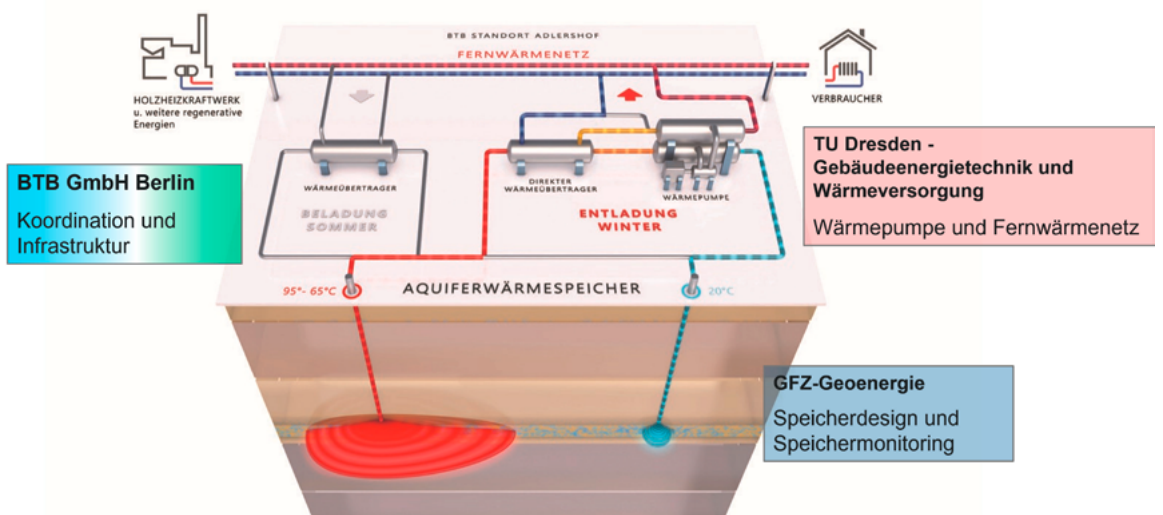
Am Standort Berlin-Adlershof wurden unterhalb des Rupeltons mehrere jurassische Aquifere mit jeweils über 5 m Mächtigkeit angetroffen, die fast durchgängig gute hydraulische Eigenschaften aufweisen. Als möglicher Hauptspeicher kommt ein von Sandsteinen dominierter Bereich in 359-400 m Tiefe in Frage, welcher eine Netto-Mächtigkeit von über 30 m hat. Diese Sandsteinabfolge weist eine nutzbare Porosität von 25-30 % und eine Durchlässigkeit von über 1 Darcy ($> 10-12 \text{ m}^2$) auf. Aus den Untergrunddaten wurde ein numerisches Modell zur Simulation des Speicherbetriebs entwickelt, das etwa 30 GWh speicherbare Wärme berücksichtigt. Diese Wärme steht im Sommer als freie Erzeugungskapazität in einem Holzheizkraftwerk zur Verfügung. Während des Ein- und Ausspeicherns wurde ein

Volumenstrom von $150 \text{ m}^3/\text{h}$ angenommen. Der Ein- und Ausspeicherzeitraum wurde auf jeweils vier Monate im Sommer bzw. Winter angenommen, unterbrochen von einer Stillstandpause von jeweils zwei Monaten. Die Einspeichertemperatur beträgt $90 \text{ }^\circ\text{C}$ und es wurde eine Abkühlung während des Wärmeentzugs auf die natürliche Aquifertemperatur von $24 \text{ }^\circ\text{C}$ berücksichtigt. Innerhalb der ersten Speicherperioden erreicht der ATES noch nicht sein volles Potenzial, was bei der Planung für die ersten Betriebsjahre berücksichtigt werden muss. Bis zur fünften Speicherperiode steigt der Rückgewinnungsgrad jährlich deutlich an, danach nimmt er bis zum Erreichen eines konstanten Betriebszustands nur noch langsam zu (Norden et al., 2022).

Auf Grundlage dieser Arbeiten konnten die ersten Untersuchungen zu einer Einbindung eines Aquiferspeichers in das lokale Berliner Fernwärmenetz beginnen, welche eine effiziente Systemintegration unter Berücksichtigung der lokalen Standortbedingungen (ober- wie untertage) zum Ziel und zum Forschungsvorhaben Reallabor »GeoSpeicherBerlin« geführt hat. Zur Bestimmung der standortbezogenen Untergrundbedingungen und geowissenschaftlichen Voraussetzungen für eine Nutzung als HT-ATES wird nun ein umfassendes Feldtestprogramm zur thermisch-hydraulischen Charakterisierung (analog zu Blöcher et al., 2024) inklusive eines chemischen und mikrobiologischen Monitorings (analog zu Regenspurg et al., 2020) in 2024 durchgeführt.

Das Reallabor »GeoSpeicherBerlin«

Mit dem Reallabor »GeospeicherBerlin« soll die tatsächliche Umsetzung des HT-ATES Konzeptes erfolgen. Hierfür soll im angetroffenen Speicherhorizont eine Bohrungsdublette installiert werden, d. h. es werden zwei Bohrungen abgeteuft und jeweils mit einer Tiefenpumpe für



► Abb. 4: Saisonale Speicherung erneuerbarer Wärme in einem Hochtemperatur-Aquiferwärmespeicher und dessen Integration in ein bestehendes Fernwärmenetz mit einem Wärmepumpensystem. (Quelle: BTB)

die Förderung bzw. Injektion ausgestattet. Dabei sollen Wechselwirkungen im Untergrund, die möglicherweise durch den Speicherbetrieb entstehen, untersucht werden. Das untertägige HT-ATES-System wird durch ein übertägiges Wärmepumpensystem ergänzt, um die Leistungsfähigkeit des gesamten Speichersystems entscheidend erhöhen zu können (Abb. 4). Im Folgenden sind die besonderen Aspekte dieses Pilotprojektes, welche bislang in anderen Aquifer- und Geothermiespeicherprojekten noch nicht vergleichbar untersucht worden sind, aufgeführt:

Maximierung der Speicherkapazität: Lade- und Entladeleistungen, und damit verbunden auch die Speicherkapazität von Aquiferspeichern werden auch durch die max. möglichen Volumenströme der Bohrungen sowie der Temperaturänderungen bestimmt. Durch die vollständige Abkühlung des Speicherwassers bei der Entladung auf die natürliche Speichergesteinstemperatur von ca. 24 °C mittels einer Hochtemperatur-Groß-Wärmepumpenanlage kann das Potenzial des Speichers bezüglich Lade- und Entladeleistung sowie der Speicherkapazität voll ausgeschöpft werden.

Leistungsverfügbarkeit über die gesamte Heizperiode: Aquiferwärmespeicher haben einen charakteristischen Temperaturverlauf während des Ausspeicherns. Zu Beginn der Ausspeicherung liegt die Temperatur im Bereich der vorhergehenden Einspeichertemperatur und sinkt dann im Laufe des Ausspeicherns ab. Dies hat dann zur Folge, dass auch die Ausspeicherleistung, die ins Fernwärmenetz eingekoppelt werden kann, sinkt. Mit dem Wärmepumpensystem wird das Temperaturniveau der ausgespeicherten Wärme auf die Nutztemperatur des Netzes angehoben und somit die Temperaturcharakteristik des untertägigen Speichers kompensiert und die Leistungsverfügbarkeit bis zum Ende der Heizperiode sichergestellt.

Erhöhung des Wärmerückgewinnungsfaktors: Hochtemperatur-Aquiferspeicher haben aufgrund systembedingter Wärmeströme im Erdreich Betriebswärmeverluste. Wenn beide Speicherbohrungen mit Temperaturen oberhalb der natürlichen Untergrundtemperatur betrieben werden, dann bestehen die Verluste auch auf beiden Speicherseiten. Durch die Einbindung der Wärmepumpe wird die kalte Seite des Speichers auf dem natürlichen Temperaturniveau betrieben und somit bestehen die Verluste auch nur auf den warmen Seiten des Speichers. Hierdurch kann der Wärmerückgewinnungsfaktor verbessert werden. Das Ziel ist es, die Wärmeverluste auf unter 10 % zu reduzieren und den Wärmerückgewinnungsfaktor auf 90 % zu steigern. ♦

Literatur

Blöcher, G. et al., »Best practices for characterization of High Temperature-Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES) potential using well tests in Berlin (Germany) as an example,« *Geothermics*, vol. 116, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102830>.

Norden, B., Saadat, A., Kranz, S., Blöcher, G., Francke, H. (2022): Geothermische Fernwärmeversorgung im urbanen Raum. - *BWK - Energie-Fachmagazin*, 74, 9-10, 50-53.

Norden, B., Virchow, L., Fuchs, S., Mitzscherling, J., Gravendyck, J., Zimmer, M., Saadat, A., Section Geomorphology, Sediment Lab (2023): The explorational drilling Gt BTrKoe 1/2021 in Berlin Adlershof, Germany - Field Data and Measurements. <https://doi.org/10.5880/GFZ.4.8.2023.006>

Komplexe geothermische Lösungen aus einer Hand

Geologie, Bohrtechnik, Energiekonzepte, Anlagenplanung



GTN a COWI company
ENGINEERS & GEOLOGISTS

www.gtn-online.de