

Factsheet

Ergebnisse des Vorhabens „Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher - Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser“ (UBA-Texte 113/2022, FKZ 3717 43 249)

1 Hintergrund

Zur Erreichung der deutschen Klimaschutzziele wird künftig im größeren Umfang die Nutzung des Untergrunds erforderlich sein. Insbesondere die Wärmespeicherung in geeigneten geologischen Schichten kann einen wesentlichen Beitrag für Gebäudeheizung und -kühlung, saisonale Puffersysteme und die Nutzung von Überschussstrom (Power to Heat) leisten. Wärmeeinträge in Grundwasserleiter führen dort zu physiko-chemischen und biologischen Veränderungen. Deshalb muss sichergestellt werden, dass die geothermische Nutzung des Untergrunds keine nachteilige Veränderung des Grundwassers und keine Risiken für die Trinkwassergewinnung darstellt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die bekannten und potenziellen Auswirkungen thermischer Beeinflussung des Grundwassers recherchiert und bewertet. Dabei stellt sich zunächst die Frage, ab welchen Temperaturveränderungen im Aquifer es zu Änderungen physikalischer, chemischer, geotechnischer und ökologischer Prozesse und Kennwerte kommt, die nicht mehr als geringfügig zu bewerten sind und im Sinne der deutschen Wassergesetzgebung (Wasserhaushaltsgesetz-WHG, und Grundwasserverordnung-GrwV,) zu nachteiligen Veränderungen im Grundwasserkörper und damit verbundener Nutzungsoptionen führen.

2 Methodisches Vorgehen

Diese Studie beschäftigt sich mit einer umweltverträglichen Nutzung oberflächennaher **unterirdischer thermischer Energiespeicher (UTES)** in Grundwasserleitern im Lockergestein. In Fachkreisen bezieht sich „oberflächennahe Nutzung“ auf eine Erschließungstiefe von bis zu 400 Meter unter Geländeoberkante. Zur Beurteilung der thermischen Auswirkungen unterirdischer Wärmespeicherung auf das Grundwasser werden folgende Begrifflichkeiten vorgeschlagen:

Begriffe zur Beurteilung der thermischen Auswirkungen

► **Konzeptioneller Nutzungsraum:** Der konzeptionelle Nutzungsraum ist der unterirdische Raum, der baulich von den technischen Einrichtungen des unterirdischen Speichers (UTES) eingegrenzt wird. Dieser umfasst auch den Raum im nahen Umfeld eines UTES. Innerhalb des konzeptionellen Nutzungsraums ist die Beeinflussung des Grundwassers für den Speicherprozess in aller Regel nicht geringfügig.

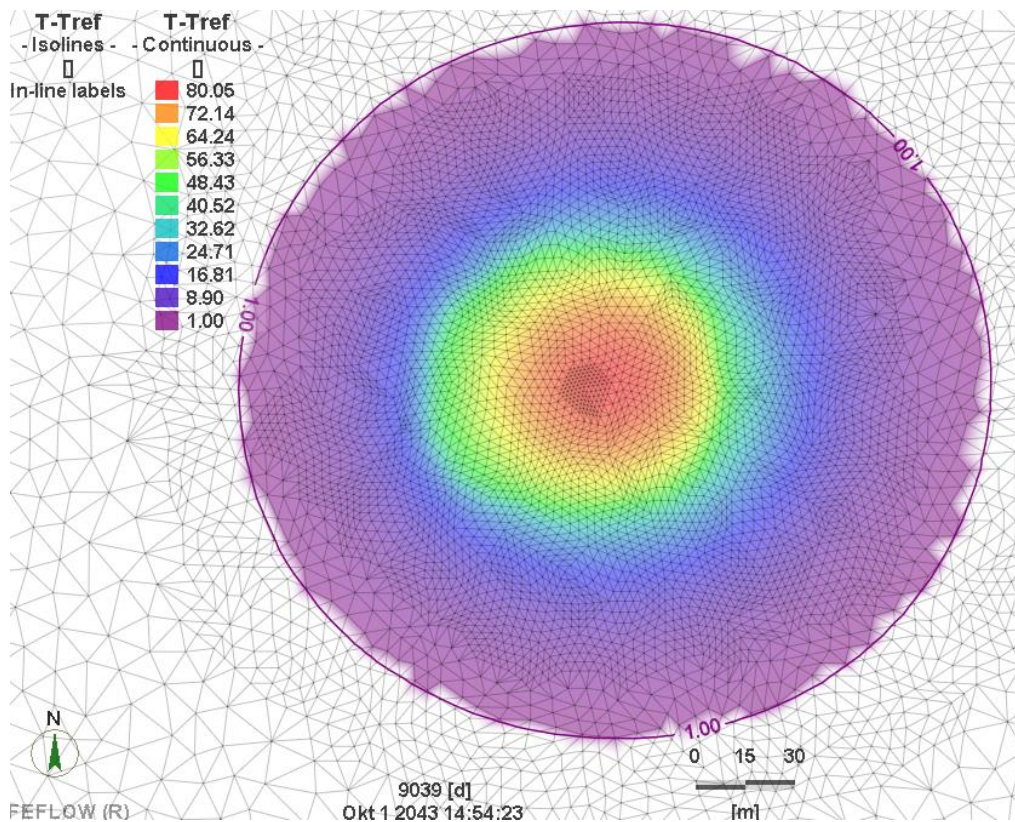
► **Thermischer Auswirkungsraum:** Als thermischer Auswirkungsraum (Thermally Impacted Volume (TIV)) wird die Umgebung eines geothermischen Speichers bezeichnet, in der sich die Temperaturschwankung im Grundwasser um mehr als ± 1 Kelvin (K) vom (natürlichen) Referenzzustand unterscheidet. Der thermische Auswirkungsraum kann sich, je nach Randbedingungen, über verschiedene geologische und hydrogeologische Formationen erstrecken.

► **Thermische Geringfügigkeitsschwelle:** Die thermische Geringfügigkeitsschwelle (T-GFS) wird in Analogie zu den Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) als ein Maßstab zur qualitativen räumlichen Bewertung des thermischen Einflusses empfohlen. Durch die T-GFS wird beschrieben, bis zu welchen Temperaturveränderungen ($\pm \Delta T$) bzw. bis zu welchen Minimal- und Maximaltemperaturen die temperaturinduzierten Veränderungen der physiko-chemischen Beschaffenheit und Besiedelung des Grundwassers noch als geringfügig einzustufen sind.

► **Thermischer Einfluss:** Der thermische Einfluss (Thermal Impact (TI)) beschreibt im Rahmen dieser Studie die mittlere Energiedichte im thermischen Auswirkungsraum TIV. Je höher der Thermal Impact ist, desto mehr Energie wird gespeichert. Der Thermal Impact ist das Verhältnis der im UTES gegenüber dem natürlichen Zustand gespeicherten Energie, bezogen auf das Volumen des thermischen Auswirkungsraums (TIV).

Um die thermischen Auswirkungen von unterirdischen thermischen Energiespeichern abzuschätzen, wurde eine Vielzahl von Grundwasserströmungs- und numerischen Wärmetransportmodellierungen durchgeführt. Dabei wurde untersucht, welchen Einfluss die geothermische Energiespeicherung in Bezug auf die räumliche und zeitliche Komponente hat. Die Modellierungen erfolgten mit instationären Modellansätzen über einen Zeitraum von 25 Jahren bei unterschiedlichen Speicherleistungen. Darüber hinaus wurde das Abklingverhalten von geothermischen Speichern über 125 Jahre modelliert.

Abbildung 1: Exemplarischer horizontaler thermischer Auswirkungsraum TIV mit einer Temperaturdifferenz $\Delta T > 1$ K im Vergleich zur ungestörten Temperaturverteilung nach simulierten 25 Jahren Speicherbetrieb



Quelle: FEFLOW-Modellierung der Forschungsgemeinschaft reconsite-AKVO-BGD ECOSAX

Auf der Grundlage der Wärmetransportmodellierungen wurden die thermischen Auswirkungen von UTES in ihrer räumlichen und zeitlichen Dimension kategorisiert und mit den Lebensraumansprüchen von Grundwasserbiomen in Beziehung gesetzt. Nach umfangreicher Auswertung internationaler Publikationen wurde eine detaillierte Matrix zur Bewertung (nachteiliger) Veränderungen im Grundwasser entwickelt. Durch die Differenzierung von süßwasserführenden Grundwasserkörpern in oxische und anoxische Aquifere und die Berücksichtigung der Temperaturpräferenzen von Indikatorarten und -konsortien wurden in Anlehnung an die bestehenden Geringfügigkeitsschwellenwerte für anorganische und organische Stoffe im Grundwasser der Bund-Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2017) unterschiedliche lebensraumbezogene T-GFS abgeleitet. Daraus wurde ein fünfstufiges Prüfschema erstellt.

Ferner wurde untersucht, ob sich Temperaturschwellen ableiten lassen, innerhalb derer hydrogeochemische Reaktionen nur geringe Auswirkungen auf die Grundwasserqualität haben.

3 Zentrale Ergebnisse

3.1 Modellierungen

Die Wärmetransport-Modellierungen zeigen, dass eine Ermittlung und Bewertung der thermischen Auswirkungen im Grundwasser möglich ist. Die Auswertung der thermischen Beeinflussung erfolgte jeweils für den Zeitpunkt zum Ende der Beladungsphase des 25. Betriebsjahres, da aufgrund des Eintrages thermischer Energie zu diesem Zeitpunkt die höchsten Temperaturen und die größte Beeinflussung berechnet wurden. Der thermische Auswirkungsraum wurde bestimmt und bildlich dargestellt. Bei der Auswertung wurden sowohl Höchsttemperaturen als auch Mindesttemperaturen innerhalb des Wärmespeichers ausgewiesen. Die räumliche Auswertung erfolgte anhand von 2D-Ansichten der horizontalen Temperaturverteilung. Neben der 2-dimensionalen Auswertung erfolgte eine 3-dimensionale Berechnung der thermisch beeinflussten Volumina. Mit den numerischen Simulationen wurden systematische Parameterstudien an den abgebildeten geothermischen Speichern durchgeführt. Hierbei wurden Randbedingungen variiert (Wärmeparameter und hydrogeologische Parameter, Form und Tiefe des Speichers) und aus den Ergebnissen verallgemeinerbare Aussagen abgeleitet.

Die Untersuchung zum Einfluss des hydraulischen Gradienten, also des Grundwassergefälles mit dem das Fließen des Wassers im Untergrund beschrieben wird, auf die thermischen Auswirkungen zeigt: Hydraulische Gradienten haben einen wesentlichen Einfluss auf den thermischen Auswirkungsraum, d.h. bei geringen hydraulischen Gradienten kommt es zu einer großen vertikalen thermischen Ausdehnung ins Hangende, das heißt in die überlagernden Gesteinsschichten des Speichers, bei hohen hydraulischen Gradienten, also einer hohen Grundwasserströmung zu einer großen lateralen Ausdehnung in Grundwasserströmungsrichtung. Das thermisch beeinflusste Volumen selbst ist allerdings primär vom Energieeintrag abhängig. Das heißt, der volumenbezogene thermische Einfluss (TI) hängt primär von der Anlagenleistung des UTES ab und der hydraulische Gradient ist nur untergeordnet von Relevanz.

Als eine der wichtigsten Erkenntnisse der Modellierungen stellte sich allerdings die Relevanz der 3-dimensionalen Auswertung der thermischen Auswirkungen heraus. Eine Vereinfachung des dreidimensionalen komplexen Systems „Grundwasser“ auf nur eine projizierte Fläche an der Geländeoberfläche ist daher für Aufgabenstellungen bei der Planung von UTES und zur Bewertung des Einflusses unterirdischer geothermischer Speicher auf die Grundwasserqualität schlecht geeignet.

3.2 Auswirkungen von Temperaturveränderungen auf das Ökosystem Grundwasser

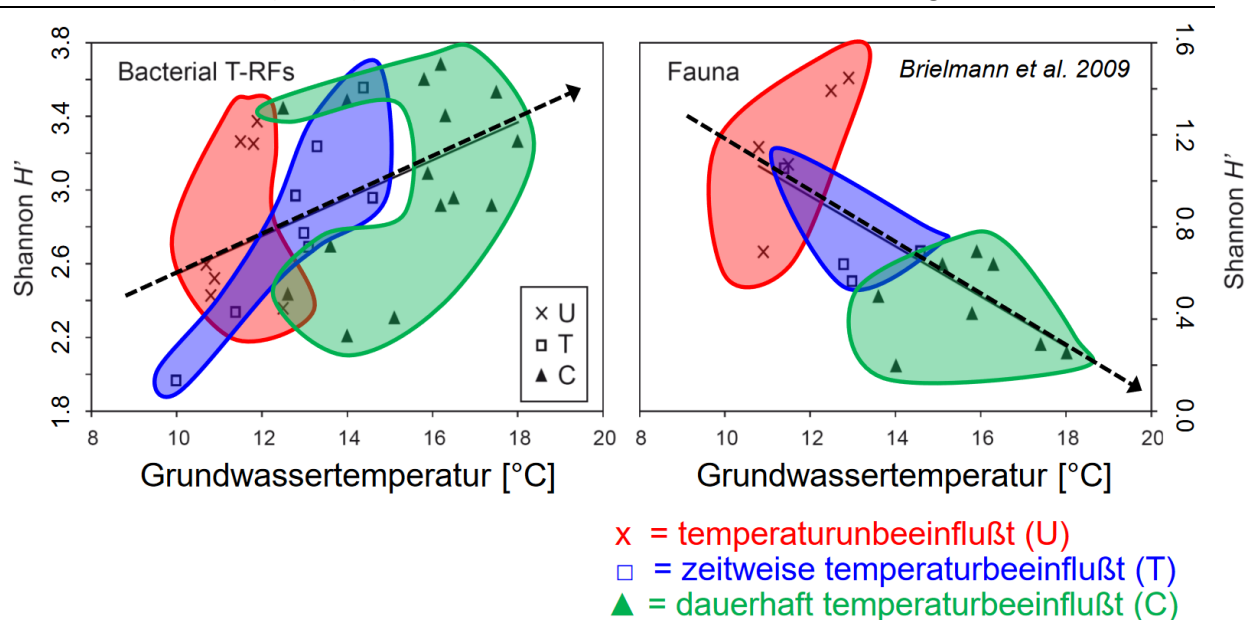
Ein wesentliches Ziel des Vorhabens ist die Ableitung von Grenzkriterien (Thermische Geringfügigkeitsschwellen, T-GFS), bei denen eine thermische Veränderung noch keine nachteilige Veränderung im Grundwasser bewirkt. Dies bedeutet auch, dass die Ökosysteme in der gesättigten und ungesättigten Zone intakt bleiben müssen. Die Gesellschaft der Grundwasser-Organismen (GW-Biozönose) besteht in der Regel mindestens aus einer Vergesellschaftung von Mikroorganismen (Bakterien, Viren, evtl. Pilze). In Gegenwart von Sauerstoff können einzellige Tiere und wirbellose, vielzellige Tiere stabile Lebensgemeinschaften bilden, in ihrer Gesamtheit als Fauna bezeichnet.

3.2.1 Sauerstoffreiche (oxische) Süßwasseraquifere

Da echte Grundwasserfauna nicht dauerhaft bei Sauerstoffkonzentrationen unterhalb von 1 Milligramm Sauerstoff pro Liter Wasser ($< 1 \text{ mg/l O}_2$) überlebensfähig ist, nimmt auch die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins einer solchen mit der Tiefe des Grundwasserkörpers ab. Als Kriterium für das wahrscheinliche Auftreten von GW-Fauna gilt ein Schwellenwert von 1 mg/l O_2 . Damit lassen sich praxistauglich oxische und anoxische Aquifere differenzieren. In den quasi sauerstofffreien (anoxischen) Aquiferen kann GW-Fauna nicht dauerhaft überleben. Als wichtiger Indikator für das Vorhandensein einer echten Grundwasserfauna gelten neben der Sauerstoffkonzentration auch die Porosität (Lückenraum), die Wassertemperatur und das Nährstoffangebot. Des Weiteren unterscheidet sich die Vergesellschaftung der Grundwasserarten signifikant in Bezug auf die geographische Lage. So sind oberflächennahe Grundwasserkörper in Norddeutschland eher sauerstoffarm im Vergleich zum süddeutschen Raum. Die letzten Eiszeiten und die damit einhergehende Vergletscherung des norddeutschen Raums haben zu einer großflächigen Auslöschung der Grundwasserfauna geführt, die bis dato nicht überwunden ist, obgleich lokale Anzeichen für eine Wiederbesiedelung existieren.

Untersuchungen zeigen, dass sich einzelne Tierarten bei Grundwassertemperaturen von 8°C bis 16°C aufhalten, bei einer mittleren Aufenthaltstemperatur von $11,4^\circ\text{C}$. Diese Arten scheinen niedrigere Temperaturen besser zu vertragen als hohe, da sie bei Temperaturen unter 5°C in eine Kältestarre verfallen, aus welcher sie wieder aktiv werden. Bei zu hohen Temperaturen fallen diese Tiere in eine Art Wärmestarre, welche aber zum Tod führt.

Abbildung 2: Einfluss von Erwärmung auf die Diversität von Bakterien (links) und Grundwasser-tieren (rechts) in der Wärmefahne einer offenen Brunnenanlage



Quelle: Griebler & Avramov (2017), nach (Briellmann, et al., 2009)

3.2.2 Sauerstoffarme (anoxische) Süßwasseraquifere

Tiere können nicht dauerhaft ohne Sauerstoffversorgung existieren. Unter den Mikroorganismen gibt es Spezialisten für fast alle Milieubedingungen. Bezüglich der Wassertemperatur gibt es eine breite Spanne vom Eis bis nahe ans Kochen (unter Druck bis ca. 110°C), entlang welcher Mikroorganismen bzw. deren Gesellschaften in der Natur anzutreffen

sind. Je nach Temperaturpräferenzbereich unterscheidet man psychrophile, psychrotolerante, mesophile, thermophile und hyperthermophile Gesellschaften. Entscheidend ist dabei nicht die messbare genetische Vielfalt, sondern die Leistungsfähigkeit (Umsatzraten, stoffliche Quantität) und interagierende Vielfalt von Stoffwechselwegen (Metabolismen). Nach wie vor besteht ein erhebliches Wissensdefizit zu der Frage, ob und wann Verschiebungen etablierter Stoffwechselprozesse und Veränderungen der Mikrobiomzusammensetzung im Grundwasser und im tiefen Untergrund als geringfügig anzusehen sind. Im Hinblick auf den Schutz des nicht salzhaltigen Grundwassers als Trinkwasserressource und damit die Aufrechterhaltung der Ökosystemleistungen für die natürliche Selbstreinigung eines Grundwasserkörpers sind nach Ansicht der Autoren der Studie folgende Aussagen zu den *unteren Temperaturschwellen* auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes vertretbar:

Eine weitgehende oder vollständige Einstellung der Stoffwechselaktivitäten durch Einfrieren des Grundwasserleiters sollte vermieden werden, auch wenn die Stoffwechselaktivitäten nach dem Auftauen wieder vollständig herstellbar sein sollten. Die Autoren gehen davon aus, dass es neben mikrobiologischen Schutzaspekten weitere stichhaltige physikalische Gründe für die Vermeidung des Einfrierens des konzeptionellen Nutzungsraumes gibt. Dazu gehören auch geotechnische und hydraulische Aspekte, z.B. die Vermeidung von Hebungen und Setzungen oder thermohydraulische Effekte im Nahfeld der UTES-Sonden. Diese können durch eine Volumenänderung beim Gefrieren von Wasser und dem Wiederauftauen von Eis auftreten.

Aus Sicht der Autoren sollte ein abrupter Wechsel der dominierenden Mikrobiomzusammensetzung und damit von Stoffwechselwegen präventiv vermieden werden, insbesondere wenn die Freisetzung von Schwefelwasserstoff, Methan, Wasserstoff und Kohlendioxid nicht ausgeschlossen werden kann. Eine unkontrollierte Freisetzung von Gärgasen an die Erdoberfläche durch Erwärmung des Untergrundes muss aus Gründen des Klimaschutzes im Allgemeinen und in besiedelten Gebieten aus Gründen des Gesundheitsschutzes ausgeschlossen werden. Obwohl es auch mesophile methanogene Bakterien gibt, nimmt die Bedeutung der schwer zu kontrollierenden gasproduzierenden Stoffwechselwege mit steigender Temperatur ab ungefähr 45 °C durch die zunehmende Beteiligung thermophiler Mikroorganismen deutlich zu (Griebler et al. 2015, Griebler und Avramov 2017). Für anoxische Süßwasseraquifere mit $O_2 < 1 \text{ mg/l}$ schlagen die Autoren einen größeren Spreizungsbereich der Wassertemperatur vor, der auf dem (natürlichen) Hintergrundniveau von 10 bis 12 °C basiert.

3.3 Temperaturabhängigkeit hydrochemischer Reaktionen

Die Temperaturabhängigkeit hydrochemischer Reaktionen wie Mineralauflösung und -ausfällung und deren Einfluss auf die Mobilität von Ionen (z.B. As, Cd) hat sich im Projekt als fallspezifisch herausgestellt und kann ohne detaillierte Systemkenntnis am konkreten Zielstandort nicht allgemein vorhergesagt werden. Die temperaturabhängigen Auswirkungen der hochkomplexen geochemischen Prozesse auf das betroffene Grundwasser lassen sich nicht pauschal auf andere Standorte übertragen und müssen daher fall- und standortspezifisch ermittelt werden.

Eine quantitative Aussage über die tatsächliche Mobilität, d.h. über Aufnahme (Retardierung) oder Abgabe (Desorption, Ionenaustausch) von (Spuren-) Metallen wie Cadmium und Halbmetallen wie Arsen erfordert zunächst Laborversuche (Batch- oder Säulenversuche) unter Simulation der relevanten Umweltbedingungen. In solchen Versuchen können die dominanten Prozesse identifiziert und charakteristische thermodynamische Daten erzeugt werden, die für

die jeweiligen Versuchsbedingungen gültig sind. Solche Daten können - wie in dieser Studie - in chemische Speziierungsprogramme (z.B. PHREEQC) eingespeist werden, um Simulationsrechnungen durchzuführen und Prozesshypothesen zu verifizieren oder zu falsifizieren.

Für die vorliegende Studie ergibt sich daraus die Schlussfolgerung, dass eine allgemeingültige Aussage zu Temperaturschwellen, innerhalb derer Veränderungen der geochemischen Prozesse als geringfügig anzusehen sind, nicht getroffen werden kann. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass temperaturabhängige Auswirkungen auf geochemische Prozesse immer von Fall zu Fall für die Standorte der Bewertung ermittelt werden müssen. Dies kann in einem ersten Schritt durch Variation der Wassertemperatur in Laborversuchen mit Standortsubstraten (Batch- oder Säulenversuche) geschehen. In einem zweiten Schritt werden Feldversuche empfohlen.

3.4 Bewertung des thermischen Einflusses und Ableitung lebensraumbezogener thermischer Geringfügigkeitsschwellen

Bei der Planung eines geothermischen Speichers sind sein Einfluss auf die Temperatur und die Temperaturänderung im Grundwasser (Thermal Impact (TI)) sowie den hierfür beanspruchten Raum (Thermally Impacted Volume (TIV)) zu ermitteln. Aus diesem Temperatureinfluss lassen sich Folgen für das Ökosystem Grundwasser und seine Organismen abschätzen. Für den "thermischen Auswirkungsraum" (ΔT von $\pm 1K$ zur Hintergrundtemperatur) wurden im Vorhaben „thermische Geringfügigkeitsschwellen“ abgeleitet, die eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers auch mit geothermischen Wärmespeichern ermöglichen sollen.

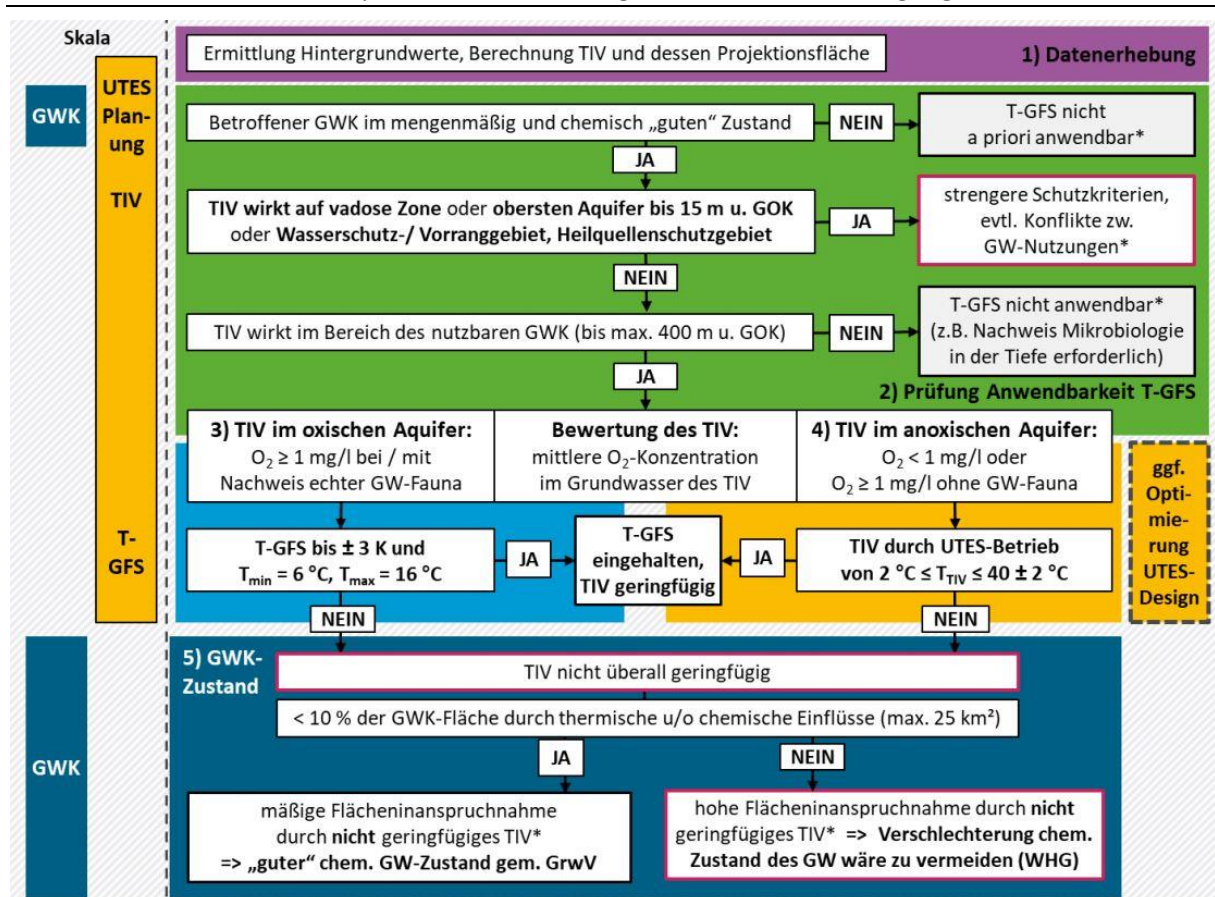
Oxische (sauerstoffreiche) Aquifere mit einer dauerhaften Grundwasserfauna mit Wirbellosen bedürfen eines besonderen Schutzes. Auf Grund der hohen Vulnerabilität im Hinblick auf hohe Temperaturen stellt sich die Frage nach dem Potenzial der oberflächennahen, oxischen Aquifere als Kältespeicher. In sauerstoffreichen Süßwasser-Aquifern erfordert die hohe Temperaturempfindlichkeit der Grundwasserfauna zu ihrem Schutz und zur Aufrechterhaltung ihrer Ökosystemleistungen enge Temperaturschwellen. Bei Anwesenheit einer Grundwasserfauna werden in der Studie Temperaturgrenzen zwischen 6 °C und 16 °C als noch geringfügig abgeleitet.

Für anoxische (sauerstoffarme) Aquifere, welche per Definition weniger als 1 mg/l O₂ aufweisen und deshalb keine dauerhafte Grundwasserfauna beherbergen können, dürfen aus Sicht der Autoren weniger strenge Temperaturschwellenwerte für die Geringfügigkeit angesetzt werden. In diesen Bereichen ist zu erwarten, dass ausschließlich Mikroorganismen-Gesellschaften anzutreffen sind. Größere Temperaturänderungen führen in aller Regel nicht zum vollständigen Aussterben von Mikroorganismen, sondern bewirken eine Verschiebung in der Zusammensetzung der Biozönose. Bei sauerstoffarmen (anoxischen) Verhältnissen und damit Abwesenheit einer Grundwasserfauna stellt nach Ansicht der Autoren ein Temperaturbereich von 2 bis 40 °C eine geringfügige Veränderung dar, da Mikroorganismen anpassungsfähig sind, bzw. durch andere ersetzt werden und damit eine Abnahme der Ökosystemleistungen nicht erwartet wird.

3.5 Ablaufschema zur Prüfung und Bewertung der thermischen Geringfügigkeit

Das Ablaufschema zur Prüfung und Bewertung der T-GFS gliedert sich in fünf Handlungsblöcke (siehe Abbildung 3). Im Rahmen der Datenerhebung bei der UTES-Planung wird zunächst der Grundwasserkörper im potentiellen Auswirkungsraum mit seinen Grundwasserstockwerken (Aquifere) identifiziert sowie die erforderlichen Daten erhoben (Stufe 1 - Datenerhebung). Im nächsten Schritt, der Vorprüfung, wird die Übertragbarkeit der T-GFS auf das zu bewertende Grundwasser geprüft (Stufe 2 – Prüfung Anwendbarkeit der T-GFS). Die abgeleiteten T-GFS beziehen sich ausschließlich auf Süßwasser-GWK, die sich im mengenmäßig und chemisch „guten Zustand“ befinden. Für die Prüfung zur Einhaltung der T-GFS ist es unerheblich, in welchem Grundwasserstockwerk der UTES installiert und betrieben werden soll. Relevant für die Bewertung ist vielmehr, ob der thermische Auswirkungsraum des UTES den zu bewertenden Süßwasser-Aquifer mit seinem „guten Zustand“ erreicht.

Abbildung 3: Ablaufschema in fünf Stufen für die Prüfung zur Einhaltung der thermischen Geringfügigkeitsschwelle T-GFS von unterirdischen thermischen Energiespeichern (UTES) in Süßwasser-Aquifern bei Beachtung relevanter Randbedingungen



Datengrundlage:

Brielmann et al. (2011), Griebler et al., UBA-Texte 54/2015, Spengler & Hahn (2018), Bin-Hudari et al. (2020), GrwV (2010), WHG (2009)

*) weitere Prüfung von Umweltauswirkungen notwendig

Quelle: Forschungsgemeinschaft reconstite - AKVO - BGD ECOSAX

Wird als Ergebnis festgestellt, dass sich der betroffene Grundwasserkörper nicht im mengenmäßig und chemisch „guten Zustand“ befindet, ist das Konzept der in dieser Studie abgeleiteten T-GFS nicht a priori anwendbar. In solchen Fällen wären weitere Prüfungen von Umweltauswirkungen notwendig.

Strengere Anforderungen an die Schutzwürdigkeit der Ressource Grundwasser gelten, wenn das thermisch beeinflusste Volumen (TIV) in die vadose Zone, also den Bereich zwischen Erdoberfläche und Grundwasserspiegel oder z.B. in die obersten 15 m u. GOK, in den obersten Grundwasserleiter oder in ein Wasserschutzgebiet, Wasservorranggebiet oder Heilquellenschutzgebiet eindringt. Dabei handelt es sich um Bereiche des oberflächennahen Untergrundes, in denen die natürlichen Selbstreinigungsprozesse nach heutigem Kenntnisstand von erheblicher Bedeutung sind.

Entscheidendes Kriterium für die nächsten Stufen ist die Sauerstoffkonzentration im Grundwasser des TIV. Bei einer Sauerstoffkonzentration über 1 mg/l folgt Stufe 3 „TIV im oxischen Aquifer“, wo das Vorkommen der echten Grundwasser-Fauna geprüft wird. Ist eine Grundwasserfauna etabliert oder deren Existenz aufgrund der Kenntnisse zur biogeografischen Verbreitung erwartbar, werden folgende thermische Geringfügigkeitsschwelle abgeleitet:

Stufe 3 - TIV im oxischen Aquifer

- ▶ maximale Temperaturspreizung von $\Delta T \pm 3$ K gegenüber dem Hintergrundwert im TIV und zusätzlich **und** gleichzeitig
- ▶ darf der untere T-GFS von +6 °C nicht unterschritten **und**
- ▶ darf der obere T-GFS von +16 °C im TIV nicht überschritten werden.

Bei einer Sauerstoffkonzentration unter 1 mg/l oder einer Konzentration über 1mg/l aber ohne echte Grundwasser-Fauna ist Stufe 4 „**TIV im anoxischen Aquifer**“ anzuwenden.

Stufe 4 - TIV im anoxischen Aquifer

- ▶ unterer Temperaturschwellenwert von +2 °C darf nicht dauerhaft unterschritten **und**
- ▶ oberer Temperaturschwellenwert von $+40 \pm 2$ °C (Unschärfebereich im Ermessen des Entscheidungsträgers) darf nicht dauerhaft überschritten werden.

Sind in den Stufen 3 und 4 die Kriterien nicht erfüllt, ist der thermische Einfluss des unterirdischen Wärmespeichers im TIV nicht überall geringfügig. Die Autoren des Berichts schlagen in diesem Fall einen Wechsel der Bewertungsskala vor: in Anlehnung an die Grundwasserverordnung (§ 7 Abs. 3 Nr. 1 lit. b) GrwV) zum chemischen Zustand eines Grundwasserkörpers (GWK) ist nun der Zustand des gesamten GWK zu bewerten. Unterschreitet die nicht geringfügige thermische Beeinträchtigung 10 % der Gesamt-GWK-Fläche (maximal jedoch 25 km² je GWK), wird der Zustand des GWK weiterhin als „gut“ eingestuft (Stufe 5 – GWK Zustand). Wird dieser 10 % Flächenanteil des betroffenen GWK überschritten, wäre gemäß § 47 Abs. 1 Nr. 1 WHG eine Verschlechterung des chemischen Zustandes zu vermeiden. Entsprechend ergibt sich für die Planung, dass der thermische Auswirkungsraum eines UTES zu reduzieren ist.

4 Einordnung der Ergebnisse

Für die thermische Grundwassernutzung existieren auf Bundesebene bislang keine konkreten gesetzlichen Vorgaben, z.B. in Form von Schwellenwerten. Die in dieser Studie abgeleiteten thermischen Geringfügigkeitsschwellen stellen eine erste Empfehlung für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers auch mit geothermischen Wärmespeichern dar.

Die genannten Werte orientieren sich an Temperaturen und Temperaturspannen, bei denen bekannt ist, dass außerhalb dieser Grenzen einzelne Spezies erste Beeinträchtigungen erfahren. Inwieweit sich hierdurch eine Änderung der Ökosystemleistung ergibt, ist bislang kaum quantifiziert. Ebenso ist wenig darüber bekannt, wie sich eine punktuelle Änderung der Grundwasserfauna auf die Ökosystemleistung in Gänze im zu betrachtenden Grundwasserkörper auswirkt.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind in einer „Entscheidungsmatrix zur Genehmigungsfähigkeit“ geothermischer Wärmespeicher kompakt zusammengefasst. In Verbindung mit Anwendungsbeispielen soll damit bei der Planung und Genehmigung unterirdischer Wärmespeicher eine Abschätzung der thermischen Geringfügigkeit ermöglicht werden. Inwieweit die von den Autoren der Studie vorgeschlagene Prüfstufe 5 in der Entscheidungsmatrix, also bei Verfehlen der thermischen Geringfügigkeitsschwellen bis zu 10% der Fläche des Grundwasserkörpers dennoch für die unterirdische Wärmespeicherung nutzen zu können, dem Verschlechterungsverbot (§ 47 WHG) und dem Besorgnisgrundsatz (§ 48 WHG) des Wasserhaushaltsgesetzes gerecht wird, erscheint diskussionsbedürftig.

Aus hydrogeologischer Sicht ist eine tiefendifferenzierte und auf die Volumina konkreter Grundwasserstockwerke bezogene Bewertung fachlich geboten und für eine umweltverträgliche Bewirtschaftung des Grundwassers unabdingbar.

Behörden und Anwendern erlaubt der „Thermische Impact“ (TI) eines unterirdischen Wärmespeichers in Verbindung mit thermischen Geringfügigkeitsschwellenwerten (T-GFS) gleichermaßen festzustellen, ab welcher Grenze hinsichtlich Zeit, absoluter und relativer Temperaturen und betroffenem Volumen thermische Veränderungen im Grundwasser noch als geringfügig oder schon als nachteilig anzusehen sind.

Die Empfehlungen des Gutachtens stellen somit eine gute Orientierungsgrundlage für die Beurteilung von thermischen Belastungen des Grundwassers dar, die nach Diskussion vom Verordnungsgeber Bund (GrwV) und von den vollziehenden Ländern aufgegriffen und in die Praxis eingeführt werden können.

Forschungsvorhaben „Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher - Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser“ (FKZ 3717 43 249 0)

Laufzeit: 10/2017-12/2021

Uwe Hiester (reconsite GmbH, Fellbach), Volker Jungk, Wolfram Canzler (AKVO GmbH, Berlin), Dieter Poetke, Kai-Uwe Ulrich (BGD ECOSAX GmbH, Dresden) unter Mitwirkung von Florian Ludwig (reconsite GmbH) sowie Bernd Schreiber und Adrian Horn (BGD ECOSAX GmbH)

Veröffentlichung der Ergebnisse: UBA-Texte 113/2022,

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
www.umweltbundesamt.de
 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Stand: 11/2022

Autorenschaft, Institution

Uwe Hiester (reconsite GmbH, Fellbach), Volker Jungk,
Wolfram Canzler (AKVO GmbH, Berlin), Dieter Poetke, Kai-
Uwe Ulrich (BGD ECOSAX GmbH, Dresden) unter Mitwirkung
von Florian Ludwig (reconsite GmbH) sowie Bernd Schreiber
und Adrian Horn (BGD ECOSAX GmbH)

Bernd Kirschbaum, FG II 2.1, Umweltbundesamt