



GEOfokus

Dimensionierung und Betrieb
von Erdwärmesonden



GEOfokus



Dimensionierung und Betrieb von Erdwärmesonden

**Erläuterungen vor dem Hintergrund
missverständlicher Darstellungen**

Bohrgerät für den Bau einer
Erdwärmesondenanlage
(Foto: S. Rumohr)

Dimensionierung und Betrieb von Erdwärmesonden

Erläuterungen vor dem Hintergrund missverständlicher Darstellungen

Sven Rumohr | Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Einleitung

Wärmepumpen sind infolge der seit 2022 drastisch gestiegenen Energiepreise in aller Munde. Ihr Einsatz verspricht Unabhängigkeit von Öl und Gas und dem einzelnen Nutzer die Möglichkeit, seinen klimaschädlichen CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Die Bundesregierung hat daher das Ziel, dass bis zum Jahr 2030 etwa 6 Millionen Wärmepumpen installiert werden, davon bereits ab 2024 eine halbe Million Geräte pro Jahr (BMWK 2023). Beim überwiegenden Anteil dieser Geräte wird es sich um luftgekoppelte Wärmepumpen handeln, doch auch die Zahl der erdgekoppelten Wärmepumpen und hier jene mit Erdwärmesonden (EWS, Abb. 1 und 2) wird perspektivisch deutlich zunehmen.

EWS-Anlagen werden in Deutschland seit über 40 Jahren errichtet und ihre Gesamtzahl beträgt heute über 400.000. Die Errichtung von EWS-Anlagen ist aber vergleichsweise teuer und kann je nach Anlagengröße mehrere zehntausend Euro kosten. Vor diesem Hintergrund sollte man davon ausgehen, dass die Planung und Errichtung von EWS auf einer umfassenden Beratung der Endkunden basiert. Leider finden sich aber bis heute bei Anbietern und Herstellern aller Teilgewerke von EWS-Anlagen missverständliche Aussagen, die bei Bauherren bzw. Betreibern zu falschen Vorstellungen bezüglich der Anforderungen an die Planung, Errichtung und den Betrieb von EWS-Anlagen führen können.

Ausgehend von solchen missverständlichen Darstellungen sollen einige für die Planung und den Betrieb von EWS relevante Sachverhalte beleuchtet werden. Insbesondere potenziellen Auftraggebern bzw. Betreibern von EWS-Anlagen soll verdeutlicht werden, dass die Errichtung einer dauerhaft effizienten EWS-Anlage eine gründliche Planung erfordert und der Parameter „Temperatur“ eine zentrale Rolle spielt.

Zur Vereinfachung wird nachfolgend nur der Begriff EWS für EWS-Anlagen verwendet, unabhängig von der Anzahl der EWS der Anlage. Zudem wird stets vom Heizfall ausgegangen.

Beispiele missverständlicher Darstellungen

Aussage 1: Das Erdreich hat eine konstante Temperatur

Die missverständliche Darstellung, dass das Erdreich unterhalb einer Tiefe von etwa 10–20 m ganzjährig eine konstante Temperatur aufweist, findet sich häufig und insbesondere dann, wenn die Effizienz von luft- und erdgekoppelten Wärmepumpen verglichen wird. So findet sich z. B. auf der Internetseite www.ingenieur.de des VDI-Verlags (VDI = Verein Deutscher Ingenieure) folgende Aussage: „Die Temperatur des Erdreiches ab zehn Metern Tiefe liegt ganzjährig konstant bei etwa 10 °C. Daher arbeitet eine Wärmepum-



Abb. 1: Erdwärmesonde auf Haspel vor Einbau
(Foto: S. Rumohr)



Abb. 2: Klappmeißel für die Herstellung einer EWS-Bohrung mit einem Durchmesser von 180 mm
(Foto: S. Rumohr)

pe mit Erdsonden das ganze Jahr über mit der gleichen ‚Außentemperatur‘ beziehungsweise Wärmemenge“. Diese und zahlreiche ähnlich formulierte Aussagen vernachlässigen nicht nur die Folgen des Betriebs von EWS auf die Untergrundtemperatur, sie blenden auch ein für Betreiber von EWS sehr wichtiges Ziel der Dimensionierung von EWS aus: die Minimierung der dauerhaft fortschreitenden Auskühlung des Untergrundes für einen langfristig effizienten Anlagenbetrieb.

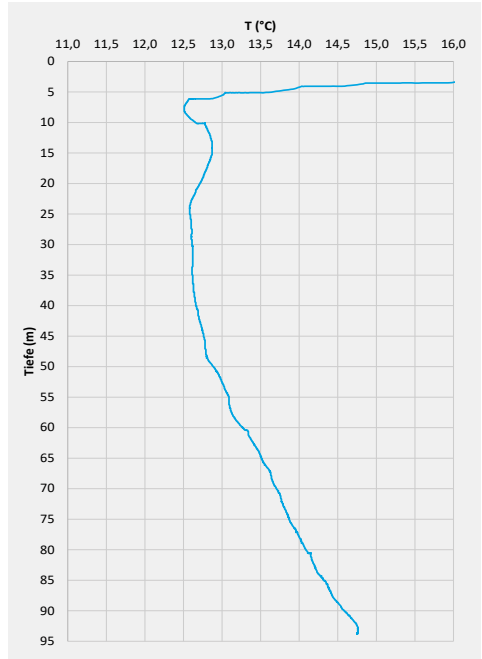


Abb. 3: Temperaturprofil einer 95 m tiefen EWS in Wiesbaden-Nordenstadt. Die Temperaturen sind bis etwa 25 m von der Erdoberfläche her beeinflusst
(Grafik: S. Rumohr).

Erläuterungen:

Erfolgt keine thermische Nutzung des Untergrundes, ist ab der Erdoberfläche bis etwa 10–20 m unter Flur ein zunehmend schwächer werdender Jahresgang der Untergrundtemperatur zu beobachten, der auf die im Jahresgang auf die Erdoberfläche wirkende und dabei variierende Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist. Es folgt ein als „neutrale Zone“ bezeichneter Übergangsbereich, in dem die Temperatur im Jahresgang um nicht mehr als 0,1 K schwankt. Unterhalb der neutralen Zone weist die Untergrundtemperatur keinen Jahresgang mehr auf, ändert sich aber zur Tiefe hin. Meist steigt die Temperatur ab der neutralen Zone zur Tiefe hin an (Abb. 3), sie kann aber auch noch bis in größere Tiefen abnehmen. Ganzjährig konstante Temperaturen gibt es somit nur unterhalb der neutralen Zone und dort

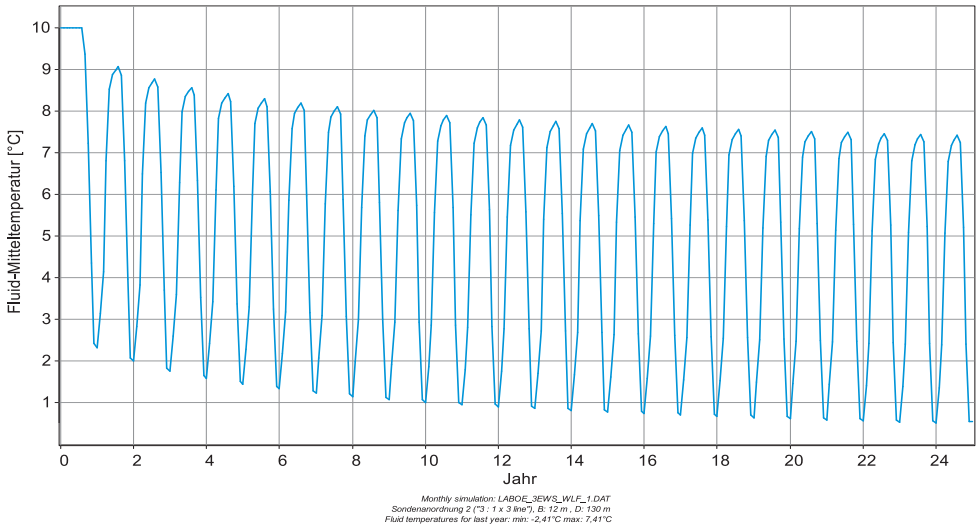


Abb. 4: Beispielhafte Entwicklung der Mitteltemperatur einer EWS über einen Betriebszeitraum von 25 Jahren (Grafik: S. Rumohr)

auch nur bei Betrachtung einer konkreten Tiefe. Und es gibt sie nur (s. o.), wenn **keine** thermische Nutzung erfolgt.

Wird eine EWS in Betrieb genommen, verändert dies die Untergrundtemperatur. Bei Wärmeentzug, dem in Deutschland häufigsten Anwendungsfall, sinkt sie (Abb. 4). Damit die aus dem umgebenden Untergrund nachströmende Wärme die aus dem Entzug resultierende Abkühlung vollständig kompensiert (z. B. zwischen zwei Heizperioden), muss eine sehr günstige Situation wie z. B. ein sehr hoher Wärmetransport infolge eines starken Grundwasservolumenstroms vorliegen, was nicht sehr häufig der Fall ist. Oder die EWS wird durch große Tiefen und/oder eine größere Zahl EWS einer Anlage sehr großzügig dimensioniert, was die Errichtungskosten deutlich steigen lässt.

Der Regelfall ist somit die EWS, die den Untergrund innerhalb des der Dimensionierung zugrunde gelegten Betriebszeitraums zunehmend abkühlt (Abb. 4). Ganzjährig konstante Temperaturen können somit nur für den von einer EWS unbeeinflussten Bereich angenommen werden.



Abb. 5: Durchflussmessung an eingebaute Doppel-U-Erdwärmesonde (Foto: Fa. BauGrund Süd, Bad Wurzach)

Aussage 2: Erdwärme ist unerschöpflich

Es ist allgemeiner Konsens, dass Erdwärme eine nach menschlichen Maßstäben unerschöpfliche Energiequelle ist. Insgesamt sind etwa 99 Prozent des Erdkörpers über 1.000 °C heiß. Von dem verbleibenden Prozent erreichen wiederum 99 Prozent Temperaturen von über 100 °C. Erdwärme zählt daher auch nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz zu den erneuerbaren Energien.

Einer EWS steht aber keinesfalls unerschöpflich viel Erdwärme zur Verfügung. Das mit einer EWS erschließbare bzw. nutzbare geothermische Potenzial, unter dem nachfolgend die maximal mögliche Entzugsleistung der EWS (Einheit: kW) und die von der EWS innerhalb eines Betriebsjahres maximal entziehbare Wärmemenge (Einheit: kWh) verstanden wird, ist begrenzt.

Erläuterungen:

Die Planung der EWS, die Herstellung der EWS-Bohrung und der Betrieb der EWS entscheiden, welches Potenzial erschließbar ist. Das Ziel der Anlagenplanung muss es daher sein, dass ein bezogen auf die standörtlichen und gebäudetechnischen Randbedingungen größtmögliches Potenzial erschlossen wird.

Das erschließbare geothermische Potenzial wird insbesondere durch die untere Temperaturgrenze des in der EWS zirkulierenden Wärmeträgermittels begrenzt, wobei zwischen der bei allen EWS aus technischen Gründen notwendigen unteren Temperaturgrenze und einer ggf. behördlich vorgegebenen unteren Temperaturgrenze unterschieden werden muss.

Der technische Grund für die untere Temperaturgrenze ist insbesondere der Schutz der Wärmepumpe gegen Schäden infolge von Eisbildung im Wärmetauscher. Zudem sinkt die Effizienz bzw. die Leistungszahl der Wärmepumpe bei sehr niedrigen Temperaturen, so dass sich auch aus der Anlagenplanung eine untere Temperaturgrenze ergibt.

Diese Temperaturgrenze kann mit der Begrenzung der Absenkung in einem Brunnen durch die Einhängtiefe der Tauchpumpe verglichen werden. Die maximal mögliche Absenkung gibt in beiden Fällen die maximale Wärme- bzw. Förderleistung vor. Vergleichbar ist dabei auch die sinkende Leistungsfähigkeit von Wärme- und Tauchpumpe mit Zunahme der Temperatur- bzw. Betriebswasserspiegelabsenkung.

Die behördliche Vorgabe einer unteren Temperaturgrenze erfolgt in der Regel, um eine Frostbil-

dung im Ringraum der EWS-Bohrung zu verhindern. In den meisten Bundesländern wird hierzu eine Minimaltemperatur des Wärmeträgermittels von $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ am Ausgang der Wärmepumpe in Richtung EWS vorgegeben. Die behördliche Begrenzung der Minimaltemperatur ist vergleichbar mit einem Mindestwasserstand im Brunnen und bedingt eine gegenüber der technischen Mindesttemperatur weitere Reduzierung des erschließbaren geothermischen Potenzials.

Planung, Errichtung und Betrieb einer EWS müssen daher darauf abzielen, dass der die EWS umgebende Untergrund und damit das Wärmeträgermittel nicht zu stark abkühlen bzw. die vorgegebene Minimaltemperatur möglichst nicht oder spät erreicht wird. In der für die Errichtung von EWS maßgeblichen VDI-Richtlinie 4640-2 wird dies knapp wie folgt beschrieben: „Generelles Ziel der Auslegung ist die Bereitstellung der benötigten Energien und Leistungen und dabei die Einhaltung gegebener Temperaturgrenzen in der Erdwärmesondenanlage über einen vorgesehenen Betriebszeitraum.“

Der für eine EWS angestrebte Betriebszeitraum wirkt sich dabei auf die erforderliche Länge der EWS aus, woraus höhere Errichtungskosten resultieren. Möglicherweise ist das der Grund dafür, dass Dimensionierungen für EWS mittlerweile häufig von einem Betriebszeitraum von 25 Jahren ausgehen und damit deutlich von den 50 Jahren abweichen, die von der VDI 4640 Blatt 2 empfohlen werden.

Wie in 25 bzw. 50 Jahren mit den EWS umgegangen wird, welche die untere Temperaturgrenze erreicht haben, ist bisher noch nicht erörtert worden. Insbesondere dann, wenn die untere Temperaturgrenze behördlich vorgegeben ist (s. o.), muss die Behörde prüfen, ob sie dann doch einer Unterschreitung zustimmt. Macht die Behörde dies in 25–50 Jahren, wäre zu hinterfragen, warum dann keine entgegenstehenden Bedenken mehr bestehen. Lehnt die Behörde eine Unterschreitung ab, muss der Anlagenbetreiber zeitweilig auf Wärme aus der EWS verzichten bzw. auf einen die Wärmepumpe

unterstützenden Heizstab oder auf eine andere Wärmequelle zurückgreifen.

Aussage 3: Die von einer Erdwärmesonde erzielbare Entzugsleistung ist gesteinsabhängig

Grundsätzlich ist es korrekt, dass die von einer EWS erzielbare Entzugsleistung von den an einem Standort anstehenden Gesteinen bzw. seinen Eigenschaften abhängig ist. Sie ist aber bei weitem nicht allein davon abhängig, sondern – wie dies auch die vorangehenden Erläuterungen zeigen – von einer Vielzahl weiterer Randbedingungen, u. a. der bereits mehrfach genannten Temperatur. Die vor einigen Jahren noch übliche Dimensionierung von EWS mittels (gesteins-) spezifischer Entzugsleistungen sollte daher heute nicht mehr angewandt werden.

Erläuterungen:

Die Vorstellung, dass die Entzugsleistung allein von dem an einem Standort anstehenden Gestein abhängig ist, ist auf die im Jahr 2001 erschiene VDI 4640-2 zurückzuführen, die 2019 durch eine vollständig überarbeitete Fassung abgelöst wurde. Die Fassung von 2001 enthielt eine Tabelle, mit der verschiedenen Gesteinsarten sog. spezifische Entzugsleistungen (Einheit: W/m) zugewiesen wurden. Durch Division der Verdampferleistung der Wärmepumpe und dem aus der Tabelle entnommenen Wert der spezifischen Entzugsleistung konnte die Gesamtlänge der benötigten EWS einfach berechnet werden, die ggf. auf mehrere Bohrungen verteilt wurde. Haustechnische Randbedingungen der Tabellenwerte waren lediglich die Vorgabe, dass nur ein Wärmeentzug erfolgt, sowie eine Betriebsstundenzahl von 1.800–2.400 h/a.

Die seit Mai 2019 geltende Neufassung der VDI 4640-2 gibt vor, dass die korrekte Anlagenauslegung durch Berechnungen nachgewiesen werden muss. Dabei muss die Temperatur des in der EWS zirkulierenden Wärmeträgermittels für das gegebene Lastprofil im vorgesehenen Betriebszeitraum der Anlage (im

Regelfall 50 Jahre) innerhalb vorgegebener Grenzen bleiben. In Deutschland werden diese Berechnungen heute am häufigsten mit den Software-Programmen EED – Earth Energy Designer (BLOCON AB) oder GEO-HAND^{light} (Koenigsdorff & Vesper 2008) durchgeführt.

Zwar enthält die VDI 4640-2 auch in der Fassung von 2019 weiterhin Tabellenwerte für spezifische Entzugsleistungen, jedoch sind diese explizit nur bei Einhaltung einer Vielzahl von Randbedingungen gültig, z. B. Heizlastprofil, gemittelte Temperatur des Untergrundes vor Inbetriebnahme der EWS, minimal zulässige Temperatur oder eine linienförmige Anordnung der EWS, um nur einige zu nennen. Dass die Randbedingungen eines konkreten Projektes kaum allen Randbedingungen der Tabellenwerte entsprechen, zeigt z. B. der Blick auf den Parameter Temperatur.

Die den Tabellenwerten zugrunde liegende Randbedingung der gemittelten Untergrundtemperatur von 11 °C gilt für EWS mit Tiefen von 50 m ebenso wie für solche mit Tiefen von 200 m. Insbesondere in Mittelgebirgen, z. B. dem Taunus in Hessen, beträgt die gemittelte Untergrundtemperatur bis zu einer Tiefe von 100 m jedoch häufig weniger als 10–11 °C, während sie z. B. in Frankfurt/Main bei gleicher Tiefe 16–18 °C betragen kann. Die Abweichung der realen Untergrundtemperatur kann somit zu einer konservativen Über- wie auch Unterdimensionierung einer EWS als führen.

Das Heizlastprofil, das den Heizleistungs- bzw. Wärmebedarf eines Gebäudes im Laufe eines Jahres beschreibt, ist nicht nur vom Gebäude und dessen Standort, sondern auch von der Nutzung abhängig. Die den Tabellenwerten der VDI 4640-2 zugrunde liegenden Heizlastprofile können somit keinesfalls für unterschiedlichste Gebäudetypen gelten.

Aussage 4: Erdwärme steht kostenlos zur Verfügung

Diese Aussage ist genauso korrekt, wie die Aussage, dass z. B. Gold kostenlos zur Verfügung

steht. Sie lässt außer Acht, dass Erdwärme wie Gold nicht kostenlos gewonnen werden kann. Die hier für Bauherren wichtige Information ist jedoch, dass die Kosten für die Errichtung und den laufenden Betrieb nur durch eine auf das konkrete Vorhaben bezogene Planung unter Berücksichtigung aller relevanten Parameter und eine ordnungsgemäße Herstellung der EWS niedrig gehalten werden können.

Erläuterungen:

Die Kosten des laufenden Betriebs resultieren einerseits aus dem Wärmepumpenverdichter, andererseits aus der Umwälzpumpe für den EWS-Kreislauf. Gerade bei privaten Bauherren liegt der Fokus im Rahmen der Anlagenplanung viel mehr auf den Errichtungs- als auf den Betriebskosten. Mit Blick auf einen jahrzehntelangen Betrieb einer EWS bei vermutlich steigenden Energie- bzw. Stromkosten lohnt es sich jedoch, Maßnahmen zur Senkung der Betriebskosten bereits im Rahmen der Anlagenplanung vorzusehen.

Die Wahl einer auf den Wärmebedarf bestmöglich abgestimmten Wärmepumpe mit einer möglichst hohen Effizienz ist hierbei selbstverständlich. Kann der Bedarf nicht exakt ermittelt werden, ist eine modulierende Wärmepumpe sinnvoll, da sie ihre Leistung anpassen kann.

Aber auch beim EWS-Kreislauf besteht ein im Hinblick auf den jahrzehntelangen Betrieb nicht zu unterschätzendes Optimierungspotenzial z. B. durch die Herabsetzung der für die Zirkulation des Wärmeträgermittels erforderlichen Pumpenleistung und gleichzeitig durch das Erreichen einer turbulenten Strömung in der EWS.

Die erforderliche Pumpenleistung steigt auch durch einen erhöhten Durchflusswiderstand der Sondenrohre. Hier gilt es zu viele Bögen und/oder zu kleine Rohrdimensionen im EWS-Kreislauf zu vermeiden. Zudem sollte im Interesse der Bauherren geprüft werden, ob der Einbau der EWS in eine Bohrung ohne eine durchflussmindernde Quetschung der Rohre erfolgte.

Die VDI 4640-2 empfiehlt hier, dass nach der Bohrlochverfüllung eine Durchflussmessung durchzuführen ist, um nachzuweisen, dass die gemessene Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf um nicht mehr als ± 15 Prozent von der berechneten Druckdifferenz abweicht (Abb. 5). In der Praxis findet diese von der VDI 4640-2 empfohlene Durchflussprüfung aber leider nur selten statt.

Auch die Zugabe von Frostschutzmittel zum Wärmeträgermittel hat einen Einfluss auf die erforderliche Pumpenleistung, da sie dessen Viskosität erhöht. Es sollte daher nicht – wie dies in der Praxis häufig der Fall ist – ein pauschaler Frostschutz von z. B. -14 °C eingestellt werden, sondern vielmehr nur der erforderliche Frostschutz. Da mit dem Frostschutzmittel meist auch die Zugabe von Zusätzen gegen Korrosion erfolgt, sollte dies aber nur in Rücksprache mit dem Wärmepumpenhersteller erfolgen. Dem Autor dieses Beitrags wurde vom Hersteller seiner Wärmepumpe nach Darlegung seiner Anlagenplanung gestattet, den Frostschutz auf nur -10 °C statt der von dem Hersteller geforderten -15 °C einzustellen. Trotz der behördlich vorgegebenen Minimaltemperatur von -3 °C wurde der Frostschutz von -10 °C allein wegen der Korrosionsinhibitoren für erforderlich gehalten.

Durch die Senkung des Durchflusswiderstandes kann in der EWS mit weniger Energieaufwand eine turbulente Strömung erreicht werden, die einen besseren Wärmeübergang vom Untergrund in das Wärmeträgermittel bewirkt. Die hieraus resultierende höhere Temperatur des Wärmeträgermittels bedingt gemäß VDI 4640-2 einen um etwa 4 Prozent geringeren Stromverbrauch des Wärmepumpenverdichters bei turbulenter gegenüber der laminaren Durchströmung. Inzwischen verfolgen verschiedene Hersteller von EWS-Rohren das Ziel, eine der turbulenten Strömung ähnliche Strömung mittels konstruktiver Maßnahmen wie Rippen an der Rohrinnenwand zu erzeugen und somit den Wärmeübergang in die EWS zu verbessern (Abb. 6).



Abb. 6: Rippen an der Innenwandung eines EWS-Rohres zur Erreichung einer quasi-turbulenten Strömung des Wärmeträgermittels (Foto: S. Rumohr)

Fazit

Vereinfachende, plakative Darstellungen mögen geeignet sein, Bauherren zur Errichtung von vergleichsweise teuren EWS-Anlagen zu bewegen. Sie sollten aber nicht zu Missverständnissen bei den Bauherren führen. Nur mit Kenntnis der technischen Zusammenhänge werden Bauherren bereit sein, Mehrkosten für

eine dauerhaft höhere Effizienz zu tragen. Ohne Kenntnis der technischen Gegebenheiten steigt hingegen das Risiko, dass EWS-Anlagen mit einer geringen Effizienz errichtet und betrieben werden. Ob die Allgemeinheit Eingriffe Einzelner für nur gering effiziente EWS-Anlagen in das Schutzzugrundwasser gutheißen muss, ist noch zu erörtern.

Soll eine EWS in der Zukunft nicht mehr genutzt werden, weil sie z. B. den Wärmebedarf nicht mehr effizient deckt, folgt hieraus nicht, dass der Erlaubnisinhaber bzw. Betreiber keine Pflichten mehr hat. Die für die Errichtung von EWS erteilten Genehmigungen stellen in der Regel Anforderungen an die Abdichtung des Bohrlochringraums, insbesondere wenn die Bohrung bis in tiefere Grundwasserstockwerke reicht. Solange die EWS im Untergrund verbleibt, genutzt oder ungenutzt, ist der Erlaubnisinhaber somit für die Einhaltung der Anforderung an die Abdichtung verantwortlich. Die VDI 4640-2 empfiehlt daher, im Falle der Stilllegung einer EWS die Notwendigkeit des Rückbaus zu prüfen.

Literaturverzeichnis

- BLOCON: EED – Earth Energy Designer. – www.buildingphysics.com/eed-2; abgerufen: 17.10.2023.
- BMWK (2023): Wohlstand klimaneutral erneuern. – www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/werkstattbericht.html; abgerufen: 17.10.2023.
- Koenigsdorff, R. & Veser, S. (2008): GEO-HAND light: Computerprogramm zur Berechnung des Auslegung von Erdwärmesonden für Heiz- und Kühlzwecke. – Hochschule Biberbach, Institute of Building & Energy Systems.
- VDI (2001): Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes – Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. – Beuth-Verlag; 43 S.
- VDI (2019). Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes – Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. – Beuth-Verlag, 139 S.
- www.ingenieur.de (6.10.2022): www.ingenieur.de/fachmedien/hlh/heiztechnik/waermepumpe-luft-erdreich-oder-wasser-sind-die-unterschiede; abgerufen: 17.10.2023.

Kontakt

Dr. Sven Rumohr
Hessisches Landesamt für Naturschutz,
Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

sven.rumohr@hlnug.hessen.de