

Autor

Dr.-Ing. Wolfgang Reichel

Gesellschafter – Geschäftsführer

Ingenieurbüro Timmer Reichel GmbH,

wreichel@itr-haan.de

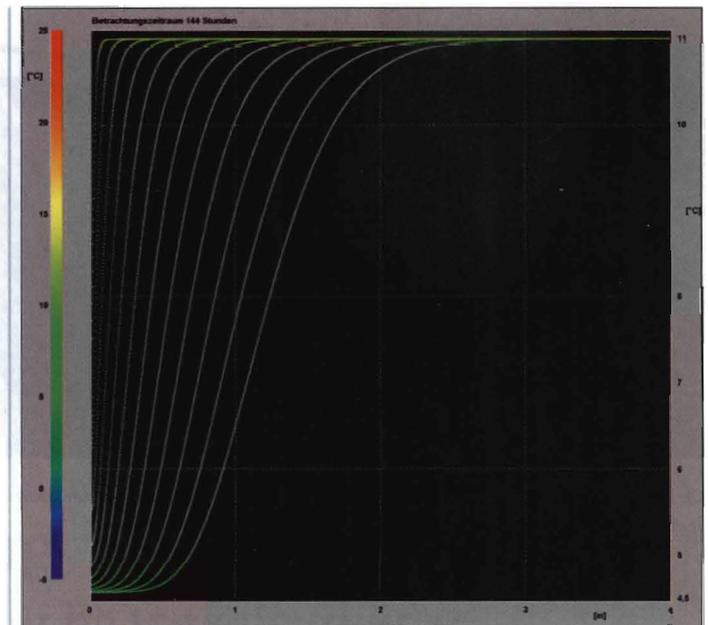


Bild 1: Erdtemperatur im Abstand von der Sonde

Erdwärme – Potential, Gefahr, Nutzen

Erdwärme verspricht die Lösung zahlreicher Energieprobleme. Von der Nutzung oberflächennaher Schichten, die wesentlich von Umgebungseinflüssen wie Solarstrahlung beeinflusst werden, bis zur Tiefennutzung vom Wärmestrom aus dem Erdinneren existieren sehr unterschiedliche Energiequellen, die für jeden Anwendungsfall separat betrachtet werden sollten

Erdreichtemperaturen bis in ca. 2 m Tiefe schwanken in unseren Regionen abhängig von der Jahreszeit zwischen 5 und 15 °C. Die tiefste Temperatur steht ungünstigerweise im Winter an, wenn maximaler Heizbedarf besteht. Mit Kühlbedarf und der verbundenen sommerlichen Energieeinspeisung kann die Erdtemperatur durch Speicherwirkung für die Winternutzung etwas angehoben werden. Allerdings entzieht die im Winter tiefere Umgebungslufttemperatur der Erde Energie und senkt die Erdtemperatur zusätzlich ab.

Ein kontinuierlicher Wärmestrom aus dem Erdinneren unbeeinflusst von der Erdoberfläche und unabhängig von Jahreszeiten ist den Vorgängen in den unterschiedlichen Tiefen überlagert.

Die Nutzung der Erdwärme tiefer ca. 20 m basiert auf diesem Wärmestrom aus Kernspaltvorgängen im Erdinneren. 65 mW/m² drängen so nach oben Richtung Erdoberfläche.

Es ist schnell erkennbar, dass Bohrungen ein Umfeld benötigen, um diesen Wärmestrom seitlich an die Sonde heranzuführen. Bei Sondenfeldern müssen somit Mindestabstände eingehalten werden. Unter Sonden sollen im Folgenden Bohrungen bis ca. 400 m Tiefe mit Glykol/Wasser im geschlossenen Kreislauf in U-Rohr-Sonden geführt verstanden werden. Für dieses oberflächennahe geothermische Potential existieren in der Regel digitale Karten vom jeweiligen geologischen Dienst. Werden Erdwärmesonden innerhalb eines Klufftgrundwasserleiters niedergebracht oder durchstoßen Sonden Grundwasserstockwerke, ist natürlich die Speicherwirkung in Frage gestellt. Heute übliche

Thermal-Response-Tests (TRT) zur Ermittlung des Leistungsvermögens von Bohrsonden geben dafür keine Antworten, da nur Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit bzw. Temperaturen über die gesamte Sondenlänge bestimmt werden. Das zusätzlich mit einer Temperaturmesssonde kombiniert mit einem Wegzähler aufgenommene Temperaturprofil zeigt Grundwassereinflüsse sehr deutlich [1].

Potential

Erste Abschätzungen über die Geothermische Ergiebigkeit der jeweiligen Region sind mit Geothermiekarten z. B. des Geologischen Dienstes NRW möglich. Für vorgegebene Betriebsstunden 1800/2400 h/a ist die Ergiebigkeit für Erdsonden der Längen 40, 60, 80 und 100 m in kWh/(m a) angegeben. Aus der Ergiebigkeit und den Betriebsstunden ist die Sondenleistung in W/m und aus dem Tiefenprofil die Wärmeleitfähigkeit bestimmbar. Mit ersten Annahmen zur Erdtemperatur von +11 °C kann die Simulation zum Erdtemperaturverlauf starten.

Vorzugsweise findet die Berechnung mit Finiten Elementen statt, um die Temperaturen zeit- und ortsabhängig darzustellen. Im Bild 1 ist ein Temperaturfeld um die Erdsonde bis zum Abstand von 4 m dargestellt. Die Sonde wurde mit Glykol/Wasser von 0 °C beaufschlagt, und die Erdtemperatur bis zum Zeitpunkt 144 h berechnet.

Leicht ist erkennbar, dass für den winterlichen Entzug die Quelltemperatur für die mögliche Wärmepumpe ca. +4,6 °C beträgt, und die Jahresarbeitszahl (JAZ) für Heizung nicht sehr hoch liegen kann.

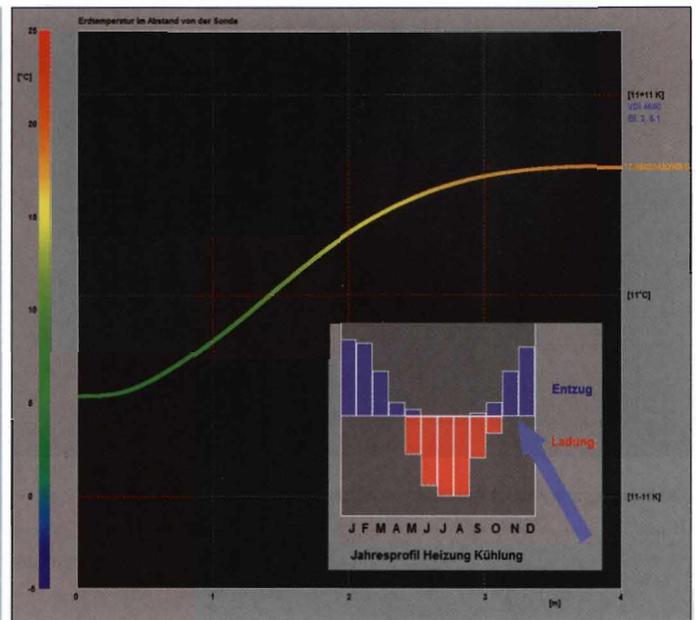
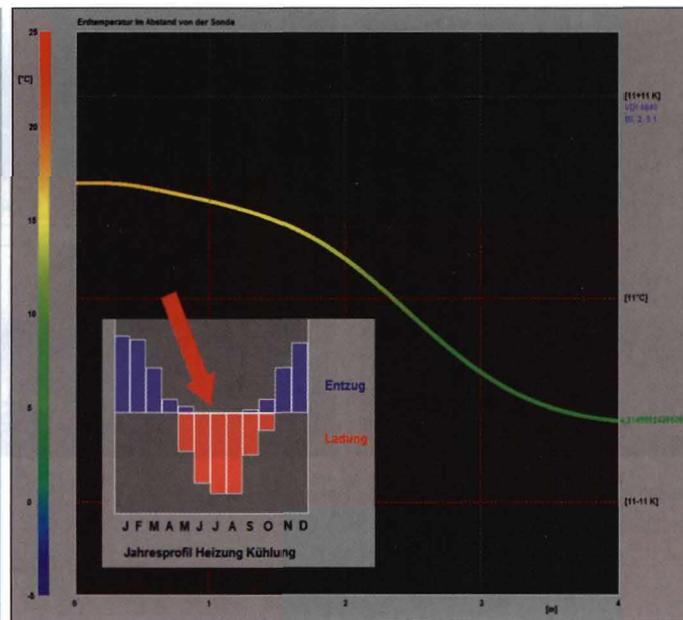


Bild 2: Erdtemperatur im Abstand von der Sonde im Sommer und

... im Winter

Unter Berücksichtigung der gesamten Investitionen wie Wärmepumpe, Sonden und Peripherie ist eine Wirtschaftlichkeit nur für die Heizung nicht darstellbar. Das langsamere Steigen der Elektroenergiepreise für die Wärmepumpe bei Kostensteigerungen fossiler Energieträger ist auf lange Sicht nicht wahrscheinlich. Die Folgebetrachtungen sollen daher immer vom Heiz- und Kühlfall ausgehen. Bild 2 zeigt den Erdtemperaturverlauf wieder im Umfeld der Erdsonde, jedoch für einen Sommer- und Wintermonat. Das zugehörige Jahresprofil für Heizung und Kühlung ist ebenfalls dargestellt.

Vorausgesetzt die Energieströme werden nicht durch Grundwasser abtransportiert, ist die Regenerierfähigkeit der Erdtemperatur gut erkennbar. Mit der sommerlichen Einspeisetemperatur von +20 °C bewegt sich die Erdtemperatur zwischen 4,3 und 17,9 °C. Über das gesamte Jahr gesehen pendelt die Erdtemperatur wie in Bild 3 berechnet.

Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe unterscheiden sich nur im Heiz- oder Kühlfall. Für die Einspeise- oder Entzugsvorgänge ist die jeweilige Kältemitteltemperatur und entsprechend die Glykol/Wassertemperatur über lange Zeiträume nahezu konstant. Bestimmend sind hier die Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches und damit die Größenordnung der transportierbaren Energiemengen.

Im unteren Teil von Bild 3 sind die Belade- und Entzugsleistungen in kWh/(ma) angegeben. Für die Entzugsleistungen ist die Kontrolle über zugängliche Geothermiekarten ratsam. In diesen Karten sind Standard-Schichtenverzeichnisse veröffentlicht, aus denen die benötigten Daten wie Dichte, Wärmekapazität oder Wärmeleitfähigkeit über die VDI 4640 Blatt 2 [2] entnommen werden können.

Der Einsatz von Wärmepumpen mit Heizleistungen größer 30 kW und Erdwärmennutzung verlangt die Vorabrechnung, d.h. Auslegung der Erdwärmesonden. Eine Probebohrung sollte ebenfalls niedergebracht und die entnommenen Bohrkern der Analyse zugeführt werden.

Zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit dient der Thermal Response Test. Mit einer definierten Wärmequelle wird die Bohrlochsonde beaufschlagt und aus der Reaktion des zurückfließenden Mediums kön-

nen auf mathematischen Weg (Kelvin'sches Linienquellenverfahren) die benötigten Parameter der Erdwärmesonde ermittelt werden. Bild 4 zeigt das kompakte Bohrergerät im innerstädtischen Einsatz für ca. 100 m Bohrtiefe.

Die notwendige Apparatur für den Thermal Response Test ist komplett auf einen Kleinstanhänger montiert und in Bild 5 dargestellt. Die Auswertung setzt einheitliche Untergrundeigenschaften voraus, d.h. Grundwasserströmungen oder tiefenabhängige Wärmeleitfähigkeiten werden nicht berücksichtigt. Erst mit einer zusätzlichen Messsonde kombiniert mit einem Wegstreckenzähler können das Tiefentemperaturprofil aufgenommen und die Untergrundparameter tiefenabhängig ermittelt werden.

Der nächste Schritt ist die verfeinerte Berechnung der Untergrundtemperaturen mit den neuen Untergrundparametern und den geplanten Entzugs- bzw. Einspeiseleistungen über längere Zeiträume. Jetzt lassen sich die Leistungsdaten der Erdwärmesonde in [kWh/(m a)] oder [W/m] ermitteln.

Für das Sondenfeld (zehn Bohrungen) gezeichnet in Bild 6 konnten mit einer Wärmepumpe und Einbindung in das Anlagenschema nach Bild 7 folgende Leistungen und Jahresarbeitszahlen (JAZ) bestimmt werden:

- Heizleistung 40 kW, JAZ 3,6 bis 4,2,
- Kühlleistung 58 kW, JAZ 5,5 bis 6.

In die Jahresarbeitszahlen fließen natürlich die Leistungen der Umwälzpumpen aus dem Schema nach Bild 7 mit ein.

Am Ende der Heizperiode ist, wie aus Bild 3 zu entnehmen, die Untergrundtemperatur extrem abgesenkt, womit der Freikühlbetrieb ohne Wärmepumpeinsatz über etwa zwei Monate möglich ist. Im Gegensatz zur Kühlung sind während der Freikühlung zwei Umwälzpumpen weniger in Betrieb. Das Komplettsystem ist über das gesamte Jahr gesehen extrem energieeffizient. Nur für reinen Heizbetrieb könnte für die Kombination Erdwärmennutzung/Wärmepumpe keine Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden.

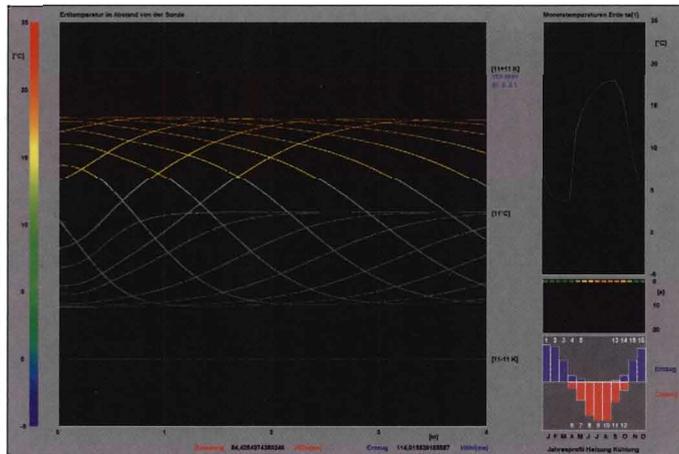


Bild 3: Erdtemperatur im Abstand von der Sonde über das Jahr



Bild 4: Bohrergerät



Bild 5: Messwagen

In ihrem Statuspapier Wärmepumpe ziehen die Elektrizitätswerke Schönau (EWS) [3] dazu die kritische Bilanz: „Nur wenn die Erdwärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von über vier besitzt, der zusätzlich benötigte Strom aus CO₂-freiem Ökostrom stammt und zudem die Wärmepumpe mit einem klimafreundlichen (H)FKW-Kältemittel betrieben wird, kann die Wärmepumpe aus Umweltsichtpunkten überhaupt eine akzeptable Alternative zu herkömmlichen Heizungssystemen sein. Die gegenwärtige Anwendung der Wärmepumpe in der Praxis entspricht diesen Kriterien in aller Regel nicht.“

Die Erdwärmenutzung sollte daher immer den Heiz- und Kühlbetrieb einschließen. Besondere Vorteile bieten Untergrundpotentiale mit Speicherwirkung, d.h. ohne strömendes Wasser.

Gefahr

Die Anlagentechnik der Technischen Gebäudeausrüstung oberhalb der Erdoberfläche soll als nicht risikobehaftet angesehen werden. Anders liegen die Verhältnisse im Untergrund, da nur auf Informationen zum Teil weit vom eigentlichen Bohrort zugegriffen werden kann. Unwägbarkeiten im Schichtenaufbau und Abweichungen der thermischen Ergiebigkeit zu den geothermischen Karten erhöhen das wirtschaftliche Risiko.

Eine Probebohrung sollte bei größeren Anlagen Fragen zum Untergrund beantworten und über den Thermal Response Test die Ergiebigkeit nachweisen. Mögliche Risiken der Erdwärmenutzung sind leicht durch Einsicht in die allgemeinen Bohrbedingungen des ausführenden Unternehmens erkennbar. So zählen Aufwendungen bei Wasser (artesisch gespanntes Wasser)- und Gasaustritten als unvorhergesehene Aufwendungen und gehen in der Regel zu Lasten des Bauherrn.

Die Gewährleistung wird oft sehr spezifiziert. So hat in einigen Bohrbedingungen der Auftraggeber nachzuweisen, dass Schäden von der Bohrfirma verursacht wurden. In der Innenstadt von Staufen im Breisgau hat sich der Boden innerhalb eines halben Jahres um 8 cm gehoben [4], was zeitlich nach Niederbringung einiger Bohrungen zur Erdwärmenutzung liegt. Die Ursachenforschung läuft, und verschiedene Theorien werden verfolgt mit wahrscheinlich langwierigen juristischen Auseinandersetzungen. Formulierungen, die jegliche Haftung für Folgeschäden jeder Art, gleich aus welchem Rechtsgrund ausschließen, sollten besonders kritisch gesehen werden.

Ansonsten ist die Haftung auf die Höhe der Betriebshaftpflichtversicherung beschränkt. Der Bauherr trägt somit ein schwer kalku-

lierbares Risiko. Allerdings darf die Erfolgsgeschichte der zahllosen erfolgreichen Bohrungen nicht durch einige wenige Schadensfälle gemindert werden. Oberste Priorität für Bohrarbeiten muss der fachliche Qualitätsstandard des Bohrunternehmens haben mit der Zulassung nach DVGW W120. Besonders Augenmerk ist auf die Spülungsverluste zu legen, die nicht mehr als 1 l/s betragen sollen. Nach Einbringung der Erdwärmesonde ist das Bohrloch ohne Unterbrechung sofort zu verpressen.

Die Spülungszusätze dürfen natürlich keine chemischen oder mikrobiologischen Veränderungen im Untergrund bewirken. Da für jedes Bohrvorhaben ein Erlaubnisschein eingeholt werden muss, finden natürlich Prüfungen hinsichtlich

- Wasserschutzgebiete,
- ehemaliger Bergbau,
- evtl. Kampfmittelbelastung,
- seismisch aktive Zonen,
- usw. statt.

Es wird deutlich, fundierte geologische Kenntnisse sind notwendig, um zusammen mit der Technischen Gebäudeausrüstung erfolgreiche Erdwärmenutzungen zu planen. Spezialisierte Fachplanungsbüros stehen dann für die Gesamtmaßnahme.

Nutzen

Heutige Entscheidungen, die Investitionen betreffen, wirken 15 bis 20 Jahre über die Nutzungsdauer z. B. von Wärmeerzeugern oder Kältemaschinen. Die Frage nach der zukünftigen Energieversorgung stellt sich unweigerlich. In den betrachteten Zeitraum dürfte die Verknappung der Ressourcen fossiler Energieträger fallen.

Nachwachsende Rohstoffe werden an Bedeutung verlieren, da für deren Aufbereitung ebenfalls teilweise fossile Energie benötigt wird und die Konkurrenz zur Lebensmittel-Produktion Lebensmittel verteuert. Gegenwärtig erfolgt die Weichenstellung in Richtung Elektroenergieversorgung. Da inzwischen auch der Widerstand gegen neue Kohlekraftwerke wächst, gerät die Windkraft und Solarthermie verstärkt ins Blickfeld. Der Anteil dieser regenerativen Energieversorgung wächst kontinuierlich und es ist abzusehen, wann die Wirtschaftlichkeit ohne staatliche Zuschüsse gegeben ist.

Es ist daher konsequent, diese Überlegungen in die Anlagenkonzepte einfließen zu lassen. Die Erdwärmenutzung mittels elektrobetriebener Wärmepumpe liegt natürlich in diesem Zukunftskonzept. Vor-

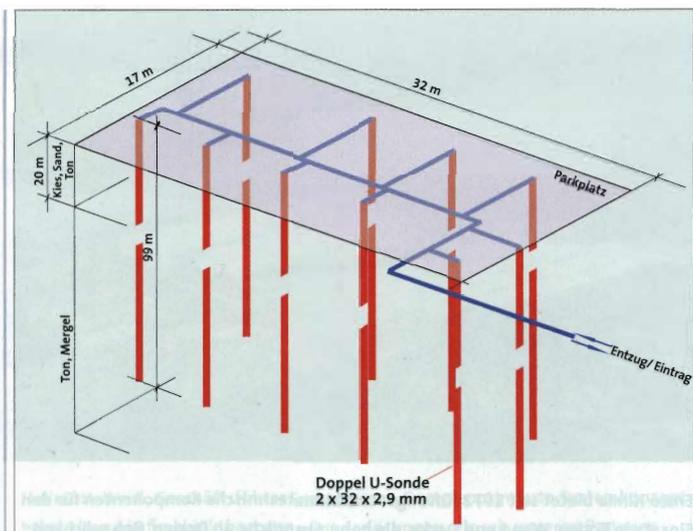


Bild 6: Sondenfeld

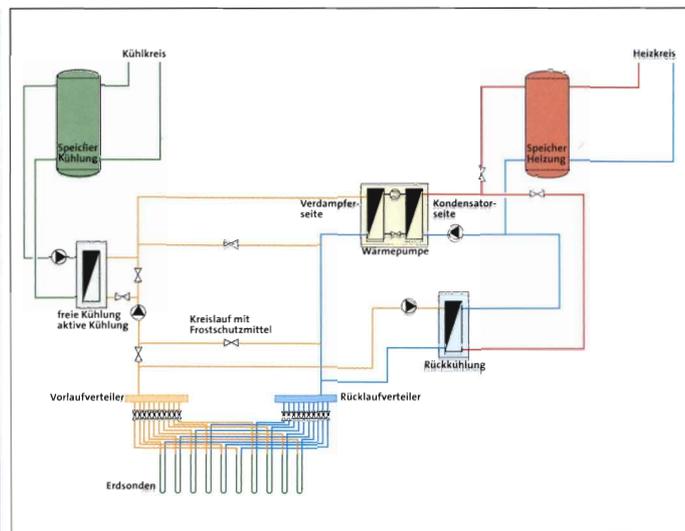


Bild 7: Anlagenschema Erdwärmenutzung

raussetzung sollten besonders effiziente Gebäude sein, d.h. minimaler Wärme- und Kühlbedarf, im Idealfall aufeinander abgestimmt. Die Einspeise- und Entzugsleistung über das Erdreich sollten auf das Jahr bezogen ausgeglichen sein.

Erdwärme nur als Grundlast zu sehen und Spitzenlastkessel plus Kältemaschine zusätzlich zu installieren, sollte der Vergangenheit angehören. Mit Wärmeleitfähigkeiten des Untergrundes von $> 1,5 \text{ W/(m K)}$ sind Entzugs-/ Einspeiseleistungen von 45 bis 50 W/m Bohrtiefe [5] erzielbar, und die Wirtschaftlichkeit ist gegeben. Für den Vergleich Erdwärmenutzung zum Fernwärme-/ Kompressionskältemaschinenbetrieb ist im Bild 8 die Amortisation über der möglichen Energiepreissteigerung näherungsweise ermittelt. Die Heiz-/ Kühlleistung lag bei 40/58 kW, und die Investition erfolgte ohne Zuschüsse.

Mit der sehr niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes sind bei Nutzung des Speichervermögens des Erdreiches (Wärme-/ Kältebetrieb) noch respektable Amortisationen möglich. Hier drückt sich die Nachhaltigkeit über die Ressourceninanspruchnahme als Teil der ökologischen Qualität aus, was bei Zertifizierungen z. B. nach DGNB [6] besonders bewertet wird. Die Erdwärmenutzung in Verbindung von Kältemitteln ohne Treibhauspotential und Ozonschichtabbaupotential schafft in der Bewertungsmatrix des DGNB schon einen erheblichen Anteil der maximal möglichen Gewichtung von 22,5 % in der Gruppe Ökologische Qualität.

Fazit

Ein kontinuierlicher Wärmestrom aus dem Erdinneren bildet die Grundlage der Erdwärmenutzung. Diesen Wärmestrom über Wärmepumpen auf ein thermisch höheres Niveau für Heizzwecke zu heben, ist wirtschaftlich nicht darstellbar. Erst die Einbindung des Untergrundes für Heiz- und Kühlzwecke und somit die Nutzung als jahreszeitlicher Speicher schafft die Grundlage der Wirtschaftlichkeit. Die Absenkung der Untergrundtemperatur in den Wintermonaten schafft die Voraussetzung für die Nutzung der Freikühlung, d.h. einer Kühlung ohne Kompressoreinsatz.

Oberste Priorität für Bohrarbeiten muss der fachliche Qualitätsstandard des Bohrunternehmens mit Zulassung nach DVGW W120 haben. Fundierte geologische Kenntnisse sind notwendig, um im Zusammenspiel mit der Technischen Gebäudeausrüstung erfolgreiche Erdwärmenutzungen zu planen. Die Nachhaltigkeit der elektrisch betriebenen Kompressionswärmepumpen dürfte zukünftig noch besser darstellbar sein, wenn die Alternativenergien an Fahrt gewinnen.

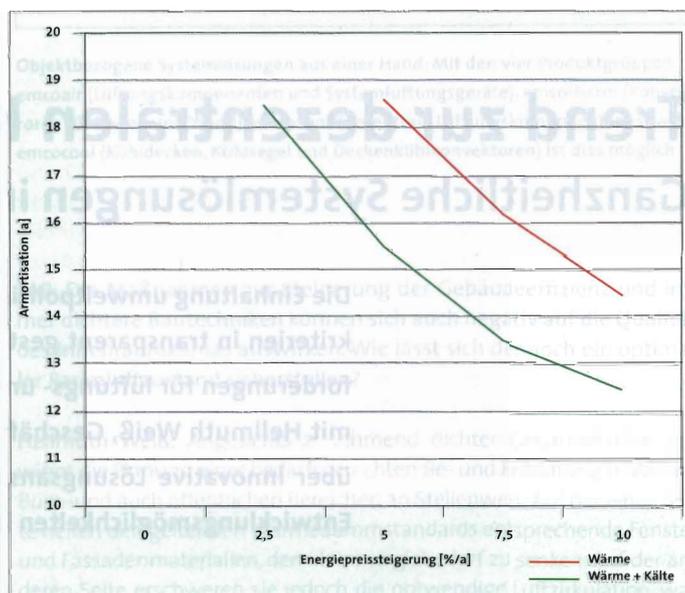


Bild 8: Amortisation der Erdwärmenutzung

Literatur

- [1] Walker-Hertkorn, u.a., "Temperaturtiefenprofile stärken die Aussagekraft von Thermal-Response-Tests", bbr, 2009,09, S. 38/43
- [2] VDI 4640, Blatt 1, "Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte" Dezember 2000, Tabelle 1
- [3] Stahl, M. "Wärmepumpe ökologischer Unfug", CCI, 2007, 10, S. 37, Zeitgeschehen
- [4] bm "Satelliten: Mit dem Zweiten sieht man besser", VDI nachrichten, 18. September, 2009, S. 6
- [5] VDI 4640, Blatt 2, "Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen", September 2001, Tabelle 2
- [6] DGNB, "Das Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen", Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 1. Auflage 01/2009