

Forschungsberichtsblatt

GEO.Cool

Kühlung mit oberflächennaher Geothermie - Möglichkeiten, Grenzen, Innovation -

von

Roland Koenigsdorff, Michael Bachseitz, Meinhard Ryba
Hochschule Biberach (HBC)
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

Yannick Reduth, Thomas Schmidt, Mathieu Riegger, Frederik Janzen
Steinbeis Forschungsinstitut für solare
und zukunftsfähige thermische Energiesystem (Solites)

Christian Moormann, Patrik Buhmann
Universität Stuttgart
Institut für Geotechnik (IGS)

Jürgen Braun, Giulia Giannelli
Universität Stuttgart
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS)

Ingrid Stober, Jens C. Grimmer, Kirsten Drüppel
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Geologie, Abteilung Geothermie (AGW-AG)

Philipp Blum, Hagen Steger, Paul Fleuchhaus, Carolin Tissen, Daniel Schweizer
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW-IG)

Detlev Doherr, Cäcilia Schallwig
Hochschule Offenburg

Förderkennzeichen: L7517003 - 17009

Laufzeit: 23.01.2017 – 30.09.2019

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Oktober 2020



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

1 Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse und der sich daraus ergebenden Fortschritte

In den nächsten Abschnitten werden getrennt nach Arbeitspaketen die jeweiligen Ergebnisse sowie deren Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Landesregierung (Förderprogramm BWPLUS) zusammengefasst. Zu folgenden Zielen wurden Beiträge erarbeitet:

- Steigerung der Energieeffizienz der Kühlung und Kältebereitstellung:
AP 1, AP 2, AP 3, AP 4c und AP 4d
- Nutzung regenerativer Energien zur Kühlung und Kältebereitstellung:
AP 1, AP 2, AP 4a, AP 4c und AP 4d
- Begrenzung der thermischen Belastung des Untergrunds und des Grundwassers:
AP 2 und AP 5
- Minimierung der Schäden und Risiken durch den Eingriff in den Untergrund:
AP 4b

1.1 AP 1a: Bedarfe (HBC, FKZ: L75 17003)

Es wurden die Potenziale für die oberflächennahe Geothermie bei der Kältebereitstellung in den Sektoren GHD, Industrie, Haushalte und Verkehr anhand des Endenergieverbrauchs in Deutschland für das Jahr 2017 analysiert. Der Stromeinsatz für Kälteanwendungen liegt hier insgesamt bei ca. der Hälfte des Stromeinsatzes für Wärmeanwendungen. Für den Einsatz von Geothermie zur Kühlung eignen sich Anwendungen bei der Klimakälte in den Sektoren GHD, Industrie und Haushalte und bei der Prozesskälte in den Sektoren GHD und Industrie. In diesen Bereichen wurden im Jahr 2017 zusammen 65 % (123,3 PJ) der Endenergie für Kälteanwendungen umgesetzt. Es zeigt sich, dass in den unterschiedlichen Industriezweigen mit einer Vielzahl von Produktionsprozessen Prozesskälte in allen erdenklichen Leistungsklassen auf ganz unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt wird.

Deshalb wurden zudem für ausgesuchte Kälteanwendungen im produzierenden Gewerbe und der Industrie die Bandbreiten für die dort vorkommenden Temperaturniveaus der Kälteanwendungen recherchiert und in Bezug zur Grundwasser-/ungestörten Erdreichtemperatur gesetzt. Damit ist es möglich, Einsatzbereiche der direkten geothermischen Kühlung oder der maschinellen Kühlung mit Rückkühlung über die ONG festzulegen.

1.2 AP 1b: Dynamische Simulationsrechnungen zur Erdwärmesondenanlage (Solites, FKZ: L75 17006)

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie mit Erdwärmesonden eignet sich sowohl zur regenerativen Wärme- als auch zur Kältebereitstellung. Zur Beurteilung eines energetisch

effizienten und wirtschaftlichen Betriebs ist die Kenntnis des Einflusses verschiedener Parameter auf das Betriebsverhalten der Erdwärmesondenanlage im wechselnden Heiz- und Kühlbetrieb notwendig. In früheren Arbeiten lag der Fokus überwiegend entweder auf dem reinen Heiz- oder dem reinen Kühlbetrieb. In diesem Arbeitspunkt wurde mit Hilfe einer Simulationsstudie der Einfluss und die Sensitivität verschiedener Parameter auf die Effizienz von Erdwärmesondenanlagen und die Untergrundverhältnisse für den wechselnden Heiz- und Kühlbetrieb im langfristigen Anlagenbetrieb untersucht. Untersucht wurden Parameter innerhalb und außerhalb der Erdwärmesonden sowie den Erdwärmesonden durch das Versorgungssystem aufgeprägte Systemparameter.

Die Simulationsergebnisse zeigen, im Vergleich zu den Ergebnissen bisheriger Untersuchungen für den reinen Heizbetrieb, einen ähnlichen Einfluss der Parameter innerhalb der Erdwärmesonde für den wechselnden Heiz- und Kühlbetrieb. Besonders starke Auswirkungen auf den verbleibenden Energiebedarf zur Kühlung des betrachteten Bürogebäudes zeigen Parameterkonfigurationen, die zu einer Reduzierung der direkten geothermischen Kühlung und damit zu einer vermehrten Kompressionskühlung führen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Austrittstemperaturen aus den Erdwärmesonden zu hoch für eine direkte geothermische Kühlung werden. Als optimaler Abstand zwischen den Erdwärmesonden hat sich im betrachteten Fall für den wechselnden Heiz- und Kühlbetrieb ein Abstand von 4 m ergeben. Dabei ist für einen möglichst geringen verbleibenden Energieverbrauch zur Heizung und Kühlung eine gedrungene Anordnung der Erdwärmesonden einer linienförmigen Anordnung vorzuziehen. Ebenso ist ein möglichst ausgeglichenes Verhältnis von Heiz- und Kühllasten vorteilhaft.

1.3 AP 2: Systemtechnik und Planung von Anlagen zur Kühlung mit oberflächennaher Geothermie (HBC, FKZ: L75 17003)

In diesem Arbeitspaket wurden zunächst die grundsätzlichen Besonderheiten der geothermischen Kühlung zusammengetragen. Thematisiert werden die Temperaturverhältnisse und empfohlenen Temperaturänderungen im Untergrund, die Besonderheiten bei Systemen mit thermischer Rückwirkung (Speichereffekt), die Ermittlung der geothermieseitigen Lasten inklusive einer Methode zur Charakterisierung des Lastverlaufs sowie die Anforderungen an die Auslegung von Wärmeübertragern.

Daraus wurden konkrete Hinweise für die Planung, den Betrieb und die Effizienzbewertung von Anlagen zur geothermischen Kühlung erarbeitet. Deren Veröffentlichung ist in Vorbereitung (s. Abschnitt 4.2).

Als exemplarischer Anwendungsfall wurden eine Rechenzentrums Kühlung untersucht und konkrete Vorschläge für die Anlagentechnik mit unterschiedlichen Kühlmöglichkeiten erarbeitet.

Zudem wurde eine Methode bzw. ein Werkzeug zur Abschätzung des geothermischen Kühlpotenzials von Erdwärmesondenanlagen entwickelt und als Excel-Anwendung umgesetzt.

1.4 AP 3: Analyse von Best-Practice-Beispielen (IGS, FKZ: L75 17008; HBC, FKZ: L75 17003)

Durch die langjährige Bearbeitung zahlreicher Geothermieprojekte steht den Teilnehmern dieses Verbundprojektes eine Vielzahl unterschiedlicher Messdaten verschiedener Geothermieanlagen zur Verfügung. Der intensive Austausch über die Erfahrungen bei der Ausrüstung von Anlagen mit Messtechnik sowie der Messdatenerhebung hat gezeigt, dass an den jeweiligen Forschungseinrichtungen die unterschiedlichsten Methoden und Herangehensweisen zum Monitoring von Geothermieanlagen bestehen.

In einem ersten Schritt wurden die vorhandenen Messdaten gesichtet und so strukturiert, dass diese nun für alle Teilnehmer des Verbundprojektes "lesbar" zur Verfügung stehen. Hierdurch wurde ein großer Datenpool geschaffen, der z. B. für die Validierung von numerischen Berechnungen genutzt werden kann.

In einem zweiten Schritt wurde ein Vorschlag zur Ausrüstung von Erdwärmesondenanlagen mit Messtechnik erarbeitet. Dieser kann zu Beginn eines Projektes als Leitfaden zur Anordnung und Auswahl von Messinstrumenten dienen und beschäftigt sich darüber hinaus auch mit einer strukturierten Dokumentation des Erdwärmesondenprojektes.

1.5 AP 4a: Quantifizierung der Energieströme und des thermischen Verhaltens während der Kühlphase eines Gebäudes bei Verwendung einer Doppel-U- bzw. vier Koaxialerdwärmesonden am Feldstandort Baugrund Süd in Bad Wurzach (VEGAS, FKZ: L75 17007)

Eine Nutzung sowohl zur Kälte- als auch Wärmeversorgung ist die Voraussetzung für einen optimierten Einsatz erdgekoppelter Wärmepumpen.

Passive Kühlung oder „natural cooling“ mit Erdwärmesonden (EWS) ist leicht zu realisieren und erfolgt „passiv“ durch eine Kühlstation, häufig mit einem Plattenwärmetauscher, mit deren Hilfe Wärme auf den Solekreislauf der Sonden übertragen wird. Letztlich beruht das passive Kühlen nur auf einer Regelung, die die Kühlprimärpumpe einschaltet, ohne dass der Verdichter der Wärmepumpe angetrieben wird. Solange die Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Bodentemperatur groß genug ist, kann die Raumwärme direkt (passiv) an das Erdreich abgegeben werden. Bei dieser Betriebsweise regeneriert sich der Untergrund schneller als bei ausschließlicher Heizeinsatz.

Ein Beispiel für solch einen Betrieb ist die oberflächennahe Geothermieanlage auf dem Gelände der Firma BauGrund Süd. Die Anlage besteht aus einer 190 m langen Doppel-U-Erdwärmesonde sowie vier in Reihe geschalteten 23 m langen Koaxialsonden und wird gemischt betrieben: im Winter wird mit Hilfe einer Wärmepumpe geheizt während im Sommer „passiv“ gekühlt wird. Von April 2011 bis heute stehen Datensätze eines Monitoringsystems auf dem Gelände der Firma BauGrund Süd zur Verfügung. Dieses Monitoringsystem wurde im April 2011 im Rahmen des Projekts „Geomatrix.bw“ aufgebaut und auch nach dem Projektende im März 2014 wurden und werden weiterhin Anlagedaten erfasst.

Im Rahmen von „GEO.Cool“ wurde das Überwachungssystem überprüft, der Datenfernzugriff wiederhergestellt und die alten sowie aktuellen Datensätze intensiv bearbeitet, um die Verwendung der Daten durch Dritte zu ermöglichen. Das ermöglichte die Berechnung der Entnahmeenergie vom Boden im Heizbetrieb und der zugeführten Energie im Kühlbetrieb sowie die Beobachtung der Reaktion des Aquifers auf die gemischte Betriebsweise (Heizen/passives Kühlen) der Geothermieanlage über die letzten 9 Jahre. Anhand der vorhandenen Daten wurde die Quantifizierung der Energieströme der Wärmepumpenanlage ermöglicht. Die Ergebnisse zeigen die Effizienz eines gekoppelten Betriebs (Heizen/passives Kühlen): Die Untergrundtemperatur blieb im Laufe der Jahre stabil und der COP der Wärmepumpe hoch. Das bedeutet, dass das System gut dimensioniert ist und der Untergrund im Laufe eines Jahres regeneriert.

1.6 AP 4b: Einfluss der Gesteinszusammensetzung auf die Wasserchemie und damit auf geothermische Nutzungssysteme, Beispiel: Gesteine des Schwarzwaldes (KIT/AGW-AG, FKZ: L75 17004)

Die Ergebnisse aus AP4b zeigen, dass durch Fluid-Gesteins-Wechselwirkungen Ionen aus granitischen Gesteinen gelöst werden. Die Analyse dieser Wässer zeigt aber auch, dass selbst bei sehr großen Oberflächen, die durch eine Pulverisierung der Gesteine erreicht wurde, und bei Temperaturen von 70 °C, was deutlich höheren Temperaturen entspricht als sie normalerweise im Zusammenhang mit Erdwärmesonden auftreten, keine Gefährdung für eingebaute Erdwärmesonden hinsichtlich Betonaggressivität in granitischen Umgebungen ausgeht.

1.7 AP 4c: Wärmeübergang in der Strömungs- und Temperaturgrenzschicht zwischen Boden und bodenberührendem Bauteil (IGS, FKZ: L75 17008)

Um mit einem Wärmeübertrager im Untergrund effizient zu kühlen, ist die eingetragene Wärme möglichst schnell vom Ort des Energieeintrags abzuführen. In diesem Zusammenhang bieten sich Erdwärmesonden an, die sich in strömendem Grundwasser befinden.

Wenn ein Fluid über eine temperierte Oberfläche strömt stellen sich sogenannte Grenzschichteffekte ein, die in der Disziplin der Wärmeübertragung durch sogenannte Nußelt-Korrelationen beschrieben werden. In der oberflächennahen Geothermie werden diese Grenzschichteffekte am Übergang von erdgekoppelten Wärmeübertragern zum Aquifer bis dato vernachlässigt.

Im Zuge der Adaption eines Versuchstandes am Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart wurden erste Versuchsreihen durchgeführt, um einen möglichen Wärmeübergang von einer Erdwärmesonde auf den Aquifer beschreibbar zu machen. Hierdurch wurde die Grundlage für weiterführende Untersuchungen zur Beschreibung des Wärmetransportes von Geothermieabsorbern in strömendem Grundwasser gelegt.

1.8 AP 4d: Verfahren zur vereinfachten Berücksichtigung von Grundwasserströmungen durch Verwendung effektiver Wärmeleitfähigkeiten (Solites, FKZ: L75 17006)

Für die Durchführung mehrjähriger systemweiter Simulationsrechnungen zur Systemdimensionierung bzw. Systemoptimierung von Erdwärmesonden ist die Verwendung detaillierter FEM Modelle für den Untergrund wegen langer Rechenzeiten nicht praktikabel. Einfache Auslegungsprogramme wie EED, GEO-HAND^{light}, etc. berücksichtigen in der Regel keine Grundwasserbewegung im Untergrund. Die fehlende hinreichende Möglichkeit bzw. das Ausbleiben einer detaillierten Berücksichtigung von Grundwasserbewegungen soll durch die Verwendung von effektiven Wärmeleitfähigkeiten für die Beschreibung des Untergrunds kompensiert werden. Ein vereinfachtes FEFLOW-Simulations-Modell steht dabei stellvertretend für zahlreiche andere Rechenprogramme für Erdwärmesonden (EWS), die keine detaillierte Berücksichtigung von Grundwasserflüssen erlauben. Demgegenüber steht ein FEFLOW-Simulations-Modell das einen Grundwasserleiter einbezieht. Beide Modelle werden mit demselben EWS-Feld und dem kombinierten Heiz- und Kühlbetrieb beaufschlagt. Als Vergleichsparameter beider Modelle wird die entzogene und eingetragene Wärmemenge pro Jahr herangezogen.

Es hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse des angewandten Verfahrens, im Falle einer geringen Filtergeschwindigkeit, besser sein können als bei der Ignorierung der Grundwasserströmung, da die Jahressummen aus eingetragenen und entzogenen Wärmemengen eine höhere

Übereinstimmung zeigen. Mit steigender Intensität der Grundwasserfließbewegung divergieren die Ergebnisse zwischen einer Berechnung mit detaillierter Betrachtung des Untergrunds und eines vereinfachten Untergrundmodells. Mit dem gewählten Vorgehen konnte die ermittelte effektive Wärmeleitfähigkeit jedoch nicht so bestimmt werden, dass sie generell als hinreichender Parameter für die Vorhersage von zu erwartenden Wärmeeinspeise- und Entzugsmengen herangezogen werden kann. Als ein maßgeblicher Faktor für die Konsistenz der Ergebnisse aus TRT und Langzeitsimulation konnte die maximale zeitliche Größe eines Berechnungsschrittes identifiziert werden. Die maximale Zeitschrittweite bestimmt die Genauigkeit der Ergebnisse auf Kosten der Rechenzeit und konnte daher nicht beliebig verkleinert werden. Die Verwendung eines Parameteridentifikationsverfahrens als Alternative zum TRT zur Bestimmung von geeigneten Werten für eine effektive Wärmeleitfähigkeit für diesen Anwendungsfall, war aufgrund des erheblichen Rechenaufwandes noch nicht möglich.

1.9 AP 5: Genehmigungspraxis und Grenzwerte (KIT/AGW-IG, FKZ: L75 17005)

Im urbanen Bereich ist die Grundwassertemperatur im Vergleich zum ländlichen Bereich um 3 – 7 K erhöht (Menberg et al. 2013a, b). Untersuchungen in AP 5b haben allerdings gezeigt, dass die erhöhten Temperaturen weniger auf die geothermische Nutzung des Untergrundes, als vielmehr auf weitere anthropogene Wärmequellen wie die städtische Bebauung oder die Infrastruktur im urbanen Untergrund (z. B. Fernwärme- und Abwasserleitungen) zurückzuführen sind (Menberg et al., 2013b, Tissen et al., 2019). Trotz des erheblichen Einflusses werden diese Wärmequellen in den Genehmigungsrichtlinien nicht berücksichtigt.

Untersuchungen der Grundwasserfauna im Karlsruher Stadtgebiet haben zudem gezeigt, dass kein direkter Zusammenhang zwischen der vorherrschenden Grundwasserfauna und der thermischen Beeinflussung des Grundwassers besteht. Deshalb empfehlen wir eine Differenzierung zwischen Gebieten, in denen noch natürliche Grundwasserbedingungen mit einer intakten Grundwasserfauna vorliegen und Gebieten, in denen das Grundwasser bereits unnatürlich und anthropogen beeinflusst ist.

1.10 AP 6a: Synopse und Transfer der Ergebnisse (HBC & Partner)

Die Ergebnisse und Erfahrungen aus den einzelnen Arbeitspaketen wurden in zwei Workshops vorgestellt und die Querbezüge der einzelnen Themen diskutiert. Ein Workshop befasste sich schwerpunktmäßig mit dem Entwurf der Konfiguration einer standardisierten Messtechnik für ONG-Anlagen, in den die Erfahrungen der Projektpartner aus verschiedensten Monitoringprojekten einfließen (s. AP 3).

Neben den Erfahrungen aus den Monitoringprojekten wurden die wesentlichen Aspekte und Hinweise für die Planung, den Betrieb und die Effizienzbewertung von ONG-Anlagen zur

(direkten) Kühlung zusammengetragen, diskutiert und in Planungshinweisen und Empfehlungen zur Effizienzbewertung dokumentiert, deren Veröffentlichung in Vorbereitung ist (s. Abschnitt 4.2).

Aus dem Erfahrungsaustausch der Projektpartner ergab sich auch der Bedarf einer Möglichkeit, das geothermische (Kühl-)Potenzial einer Erdwärmesondenanlage abschätzen zu können, woraufhin eine Methode (s. AP 2) entwickelt und zunächst in einer Excel-Anwendung umgesetzt wurde. Es ist vorgesehen diese im Projektnachgang in die Auslegungssoftware GEO-HAND^{light} zu integrieren.

1.11 AP 6b: Informations- und Management-Werkzeug für das Projekt (HS OG, FKZ: L75 17009)

Komplexe Forschungsprojekte mit unterschiedlichen Arbeitspaketen und mehreren Forschungspartnern benötigen spezielle digitale Unterstützung, um die Teilergebnisse zu kommunizieren, die strukturierten Abläufe der miteinander verzahnten Forschungstätigkeiten zu kommunizieren und aufeinander abzustimmen. Damit können die Projektarbeiten gefördert, strukturiert und zur kollaborativen Arbeit der einzelnen Projektpartner genutzt werden.

Es hat sich gezeigt, dass es zwar kommerzielle Software-Lösungen für diese Art der Projektbegleitung und -unterstützung gibt, diese aber in jedem Falle auf das jeweilige Forschungsprojekt angepasst werden müssen ("Customizing"). Dieses bezieht sich nicht so sehr auf die Funktionalität, die wie in einem Baukastensystem zusammengefügt werden kann, sondern eher in der Strukturierung des Forschungsvorhabens in Arbeitspakete, Aspekte und Aufgaben der einzelnen Forschungspartner. Diese Aufgabe ist aber von immenser Bedeutung für die Nutzbarkeit und die Effektivität eines solchen Systems, sodass profundes Fachwissen über die geplanten Forschungstätigkeiten einerseits, aber andererseits auch detaillierte Informationen über die Projektplanungen der Forschungspartner verfügbar sein muss.

Neben der Systeminstallation und Anpassung waren die Partnerschulungen und das Systemhandling wichtige Schritte, um den Einsatz des Groupware-Servers für das Forschungsprojekt zur kollaborativen Nutzung durch die Projektpartner erfolgreich gestalten zu können.

2 Nutzen und praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen

Für den wechselseitigen Einsatz von Erdwärmesonden (EWS) zum Heizen und Kühlen wurden geeignete Konfigurationen von EWS-Feldern ermittelt, welche eine hohe Effizienz der Erdwärmesondenanlage ermöglichen. Diese fließen direkt in die Planungspraxis derartiger Anlagen ein.

Es wurden Untersuchungen zu den Kälte-/Kühlbedarfen und den für die direkte Kühlung über ONG geeigneten Temperaturniveaus durchgeführt sowie spezielle Anforderungen an die Anlagen- und Systemtechnik und Planung von Anlagen zur Kühlung mit ONG ausgearbeitet. Diese wurden in Planungshinweisen und Empfehlungen für die Effizienzbewertung (s. Abschnitt 4.2) zusammengeführt, welche eine direkte Hilfestellung für Planer und Betreiber darstellen.

Die in AP 4a untersuchte ONG-Anlage zeigt die praktische Vorgehensweise für das Monitoring einer ONG-Anlage. Sie dient für zukünftige Projekte als Best-Practice-Beispiel.

Die Untersuchungen zum Einfluss der Gesteinszusammensetzung auf die Wasserchemie zeigen keine Gefährdung für eingebaute Erdwärmesonden hinsichtlich Betonaggressivität in granitischen Umgebungen und stellen damit einen wichtigen Beitrag zur Minimierung der Schäden und Risiken durch den Eingriff in den Untergrund dar.

Es wurde die Grundlage für weiterführende Untersuchungen zur Beschreibung des Wärmetransportes von Geothermieabsorbern in strömendem Grundwasser gelegt. Da der Wärmeübergang den Temperaturunterschied zur Wärmesenke wesentlich beeinflusst, ist dies ein kritischer Punkt, der über den Einsatz einer direkten geothermischen Kühlung entscheidet. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die Untersuchungen der Verwendung einer effektiven Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Bohrlochlänge an Stelle einer detaillierten Betrachtung jeder einzelnen Bodenschicht mit ggf. vorhandenem Grundwasserfluss bilden eine wichtige Grundlage zur Weiterentwicklung von Programmen, z. B. EED und GEO-HAND^{light}, welche bislang keine Grundwasserströmung berücksichtigen. Da mit dem gewählten Vorgehen die ermittelte effektive Wärmeleitfähigkeit jedoch nicht so bestimmt werden konnte, dass sie generell als hinreichender Parameter für die Vorhersage von zu erwartenden Wärmeeinspeise- und Entzugsmengen herangezogen werden kann, besteht hier weiter ein Forschungsbedarf.

Die Analyse und Übersicht über die Regelungen der Bundesländer zur thermischen Nutzung des Untergrundes sowie die erarbeiteten Vorschläge für die Nutzung von ONG als Wärmesenke insbesondere in bereits durch anthropogene Wärmequellen belasteten Regionen (Wärmeinseln) bilden eine Diskussionsgrundlage für Genehmigungsbehörden. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen bei der Entwicklung von einheitlichen Maßstäben für eine Umweltbewertung oberflächennaher geothermischer Systeme.

Die Erfahrungen zur softwareunterstützten Zusammenarbeit fließen direkt in die Planung und Durchführung künftiger Verbundforschungsprojekte ein und dienen damit der Effizienzsteigerung und Qualitätsverbesserung.

3 Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer

Für alle Arbeitspakete erfolgte und erfolgt zukünftig die Veröffentlichung der Ergebnisse auf den in der Wissenschaft üblichen Wegen (s. Abschnitt 4.2):

- wissenschaftliche Veröffentlichungen
- Vorträge auf Konferenzen und wissenschaftlichen Tagungen (Statuskolloquien, Geothermie- und Wärmepumpen-/Kältetechnik-Konferenzen).

Ebenso sollen die Ergebnisse auch der weiteren (Fach-)Öffentlichkeit bekannt gemacht werden durch:

- Verbreitung durch Vorträge/Beiträge in Workshops und Tagungen für Planer, Behörden usw.
- Weiterbildungsveranstaltungen für Genehmigungsbehörden, Fachplaner, Geologen usw. bzw. Planerschulungen
- Einbringen der Untersuchungsergebnisse, recherchierten Erfahrungen und erarbeiteten Empfehlungen in die Erarbeitung technischer Richtlinien (z. B. VDI-Richtlinie, VDMA-Arbeitsblatt)
- Veröffentlichung eines Leitfadens
- Lehrveranstaltungen an den Hochschulen.

4 Veröffentlichung der Ergebnisse

4.1 Tagungsbeiträge:

M. Bachseitz, R. Koenigsdorff: *Kühlung mit oberflächennaher Geothermie – Möglichkeiten und Grenzen*. 27. C.A.R.M.E.N.-Symposium "Energie- & Ressourcenwende: Impulse aus dem ländlichen Raum", Straubing, 01.-02. Juli 2019.

M. Bachseitz, M. Ryba, R. Koenigsdorff: *Einfluss der Lastprofilcharakteristik auf das geothermische Potenzial von Erdwärmesonden*. eingereicht und angenommen für GeoTHERM 2021 (ursprünglich für ausgefallene GeoTHERM 2020 vorgesehen)

Benz, S., Tissen, C., Menberg, K., Blum, P., Bayer, P.: *Cataloging groundwater temperature anomalies in Central Europe*. The International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Montreal, 2019.

Blum Philipp, Menberg Kathrin, Koch Fabien, Benz Susanne, Tissen Carolin, Peter Bayer: *Is Heat a Contaminant?.* Groundwater Quality, Lüttich, 2019.

R. Koenigsdorff: *Kombinierte Heiz- und Kühl-Konzepte für Nichtwohngebäude mit oberflächennaher Geothermie*, 28. Zittauer Energieseminar, Görlitz, 27. November 2018.

4.2 Veröffentlichungen:

M. Bachseitz, M. Ryba, R. Koenigsdorff: *Planungshinweise Kühlung mit oberflächennaher Geothermie*. Veröffentlichung in Vorbereitung

M. Bachseitz, M. Ryba, R. Koenigsdorff: *Einfluss der Lastprofilcharakteristik auf das geothermische Potenzial von Erdwärmesonden*. vorgesehen für Tagungsband zur GeoTHERM 2021 (ursprünglich für ausgefallene GeoTHERM 2020 vorgesehen)

K. Drüppel, I. Stober, J.C. Grimmer (in prep.) Geofluids.

R. Koenigsdorff, M. Ryba, M. Bachseitz: *Geo.COOL - Kühlung mit oberflächennaher Geothermie*. bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau 02/2020, Bonn: wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, 2020, ISSN 1611-1478, S. 58-65

M. Ryba, R. Koenigsdorff, M. Bachseitz: *Empfehlungen für die Effizienzbewertung von Anlagen zur Kühlung mit oberflächennaher Geothermie*. Veröffentlichung in Vorbereitung

C. Tissen, S. A. Benz, K. Menberg, P. Bayer and P. Blum: *Groundwater temperature anomalies in Central Europe*, Environ. Res. Lett., doi:10.1088/1748-9326/ab4240, 2019.