

Franziska Bockelmann | Norbert M. Fisch
Herdis Kipry

Erdwärme für Bürogebäude nutzen



BINE-Fachbuch

Franziska Bockelmann, Norbert M. Fisch,
Herdis Kipry

Erdwärme für Bürogebäude nutzen

BINE-Fachbuch

Erdwärme für Bürogebäude nutzen

Die Autoren:

Franziska Bockelmann | Norbert M. Fisch

Herdis Kipry

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**

Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**

 **BINE**
Informationsdienst

Der BINE Informationsdienst bietet Kompetenz in neuen Energietechniken. Der intelligente Umgang mit knappen, wertvollen Energiere Ressourcen, insbesondere in Gebäuden und der Gebäudetechnik, sowie die Nutzung erneuerbarer Energien sind die BINE-Kernthemen. Zu diesen Inhalten vereinen wir vielfältiges Know-how aus Forschung, Technik und Anwendung. Eine Übersicht über unser komplettes Produkt- und Dienstleistungsangebot finden Sie unter www.bine.info. Gerne senden wir Ihnen die Informationen auch zu.

BINE ist ein Informationsdienst von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Für weitere Fragen stehen Ihnen zur Verfügung:
Dorothee Gintars (Redaktion)
BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstr. 185 – 197, 53113 Bonn
Tel. 02 28 / 923 79-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN: 978-3-8167-8325-1

ISBN Printausgabe: 978-3-8167-8325-1 | ISBN E-Book: 978-3-8167-8364-0

Herstellung und Layout: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Satz: Mediendesign Späth, Birenbach | Druck: DZA Druckerei zu Altenburg GmbH, Altenburg

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, -Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by FIZ Karlsruhe

Verlag und Vertrieb:
Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon (0711) 9 70-25 00
Telefax (0711) 9 70-25 08
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
<http://www.baufachinformation.de>

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen von den Autoren.

Vorwort

Für neue Bürogebäude wird immer häufiger auf die Nutzung oberflächennaher Geothermie gesetzt. Das seit Anfang 2009 geltende Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), das beim Neubau von Gebäuden die anteilige Verwendung erneuerbarer Energien zur Gebäudebeheizung, Kühlung und Wassererwärmung vorschreibt, hat ihre Anwendung weiter befördert. Während im Wohnungsbau die Nutzung oberflächennaher Geothermie zu Heizzwecken im Vordergrund steht, gewinnt bei Büro- und Verwaltungsgebäuden aufgrund steigender Komfortansprüche die Umsetzung zur Gebäudekühlung an Bedeutung.

Mit dem Ziel, die Performance erdgekoppelter Anlagen hinsichtlich Energieverbrauch, Nutzerkomfort und Betrieb zu überprüfen und zu verbessern, hat das Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der TU Braunschweig das Forschungsvorhaben »WKSP – Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude« durchgeführt. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Projekt standen Gebäude mit Erdwärmesonden, Energiepfählen bzw. Bodenabsorbern zur saisonalen Speicherung für den Heiz- und Kühlbetrieb im Fokus. Ein ähnliches, ebenfalls vom BMWi gefördertes Projekt (TherMo) mit dem Schwerpunkt auf Grundwassersystemen läuft am Institut für Entwerfen und Konstruieren – Abteilung Gebäudetechnik – der Universität Hannover.

Dieses Fachbuch basiert auf den Forschungsergebnissen. Die realisierten Konzepte, erzielten Jahres-Systemarbeitszahlen, Energieerträge und Deckungsanteile sowie die Praxiserfahrungen werden vorgestellt und daraus Empfehlungen für Planung und Betrieb geschlossener Erdwärmesysteme abgeleitet. Die Dokumentation soll dazu beitragen, Planungs-, Umsetzungs- und Betriebsfehler in Folgeprojekten zu minimieren.

Außerdem informiert das Buch Planer und Bauherren über die wesentlichen Aspekte bei der Nutzung oberflächennaher Geothermie – von einem kurzen Systemüberblick über die Dokumentation allgemeiner Konzeptlösungen und wesentliche Planungsgrundlagen bis zu den Ansatzpunkten zur Umsetzung eines Energie- und Betriebsmonitorings.

FIZ Karlsruhe
BINE Informationsdienst

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	11
2	Grundlagen	13
2.1	Geschlossene Erdwärmesysteme	15
2.1.1	Erdwärmesonden	16
2.1.2	Energiepfähle	17
2.1.3	Fundament-/Bodenabsorber	18
2.1.4	Sonstige geschlossene Erdwärmesysteme	19
2.2	Offene Erdwärmesysteme	19
2.3	Wärmepumpe/Kältemaschine	20
2.4	Freier Kühlbetrieb	23
2.5	Geeignete Wärmeübergabesysteme im Gebäude	23
2.5.1	Thermisch aktivierte Bauteile	24
2.5.2	Kapillarrohrmatten	25
2.5.3	Heiz- und Kühlsegel	26
2.5.4	Raumluftechnische Anlagen	26
3	Planung	27
3.1	Normen und Richtlinien	27
3.2	Gesetzliche Grundlagen	28
3.2.1	Wasserhaushaltsgesetz und Wassergesetze der Länder	29
3.2.2	Bundesberggesetz	29
3.2.3	Lagerstättengesetz	30
3.3	Antrag, Genehmigung und Förderung	30
3.4	Bodengutachten	32
3.4.1	Temperaturverlauf im Erdreich – geothermischer Wärmestrom	35
3.4.2	Thermal Response Test	35
3.4.3	Temperaturtiefenprofil	37
3.5	Geometrie Erdwärmesysteme	37
3.6	Planungskennwerte	38
3.7	Planungswerkzeuge und Simulationsprogramme	39
3.8	Konzeptvarianten und Bausteine für die Erdwärmenutzung	41
3.8.1	Kombinationen von Systembausteinen mit Erdwärmenutzung	43
3.8.2	Umsetzungsbeispiel	46
3.9	Investitionskosten und Wirtschaftlichkeitsberechnung	51
3.9.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067	52
3.9.2	Beispielgebäude	53

4	Energie- und Betriebsmonitoring	62
4.1	Ganzheitliche Systemerfassung/-aufnahme	63
4.2	Umsetzung eines Energie- und Betriebsmonitorings mittels Gebäudeautomation	64
4.3	Messkonzept	69
4.3.1	Energiemonitoring	69
4.3.2	Betriebsmonitoring	74
4.4	Messdatenauswertung	75
4.4.1	Bildung von Kenngrößen und -zahlen	76
4.4.2	Detaillierte Betriebsanalyse und Optimierung	79
4.4.3	Thermischer Komfort	82
5	Ergebnisse aus dem Betrieb realisierter Projekte	84
5.1	Heiz- und Kühlkonzepte realisierter Beispiele	84
5.1.1	Erdwärmesonden – Rickmers Reederei, Hamburg	87
5.1.2	Erdwärmesonden – Hauptverwaltung der Gelsenwasser AG, Gelsenkirchen	89
5.1.3	Energiepfähle – EnergieForum, Berlin	90
5.1.4	Energiepfähle – VGH Regionaldirektion Lüneburg	93
5.1.5	Bodenabsorber – VW-Bibliothek, Berlin	94
5.1.6	Grundwasser: Schluck- und Entnahmebrunnen – Headquarters Agfa HealthCare, Bonn	96
5.2	Gebäude- und Anlagenperformance im Vergleich	99
5.2.1	Jahresenergieerträge und Anlageneffizienz	100
5.2.2	Energiekosteneinsparungen und CO ₂ -Reduktionen	104
5.2.3	Thermischer Komfort	109
5.2.4	End- und Primärenergieverbrauch der Gebäude	113
6	Betriebserfahrungen und Empfehlungen	117
6.1	Dimensionierung von Erdwärmesystemen	118
6.2	Allgemeine Betriebserfahrungen und -empfehlungen	119
6.2.1	Erdwärmesysteme	119
6.2.2	Energieerzeugung	120
6.2.3	Übergabesysteme	123
6.3	Regelungs- und steuertechnische Einbindung in das Gesamtkonzept	125
6.3.1	Primärkreis – Erdwärmesystem	125
6.3.2	Sekundärkreis – Betonkernaktivierung	126
6.3.3	Regelungstechnische Abstimmung kombinierter Systeme	133
7	Zusammenfassung	134

8	Anhang	136
9	Zitierte und sonstige verwendete Literatur, Abbildungs- verzeichnis	143
9.1	Zitierte Literatur	143
9.2	Sonstige, verwendete Literatur	145
9.3	Abbildungsverzeichnis	146
10	Laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben aus der Energieforschung der Bundesregierung	147
10.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	147
10.2	Forschungsberichte	147
11	Weiterführende Literatur	148
11.1	Literatur	148
11.2	BINE Informationsdienst	151
12	Autoren	152

1 Motivation

Über die Energieeffizienz eines Gebäudes bestimmen neben der Gebäudehülle maßgeblich die Art der Energieversorgung und die eingesetzte Anlagentechnik. Oberflächennahe Geothermie kann als regenerative Energiequelle in Zukunft eine wesentliche Rolle beim umweltfreundlichen Heizen und Kühlen moderner Gebäude einnehmen. Sie lässt sich sehr effizient mit Heiz- und Kühlsystemen kombinieren, die nahe dem Temperaturniveau des Erdreichs arbeiten. Dadurch, dass sich die gleiche Technik sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen nutzen lässt, bietet sie sich für die Temperierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden besonders an.

Um die Energieeffizienz der Systeme, den thermischen Komfort im Gebäude sowie die dauerhafte Funktionalität zu gewährleisten, gilt es allerdings besonders bei komplexen Systemen und deren kombiniertem Einsatz zum Heizen und Kühlen, einiges zu beachten. Denn die Anlagen zur Nutzung der Erdwärme unterscheiden sich sowohl bei der Planung als auch beim Betrieb von konventioneller Wärme- und Kältetechnik. Vielen Planern, Ausführenden und Betreibern fehlt noch die Erfahrung im Umgang mit dieser verhältnismäßig neuen Technologie. Das kann bei der Planung und Umsetzung zu Problemen und in der Folge zu ineffizienten Betriebsweisen führen.

Aufgrund der geringen Temperaturspreizungen zwischen dem Erdreich und dem Heiz- bzw. Kühlsystem im Gebäude reagieren die Anlagen sehr sensibel auf Fehler und Störungen. Darüber hinaus werden Ausführungs- und Betriebsfehler infolge der Trägheit der Systeme sowie der Redundanz mit weiteren Heiz- und Kühlsystemen meist erst spät erkannt. Ein fehlerhafter Betrieb mindert also nicht nur die aktuelle Effizienz des Systems, sondern kann auch die Leistungsfähigkeit für die Folgejahre beeinträchtigen.

Für einen erfolgreichen und dauerhaften Betrieb der Geothermieanlage muss bei Planung, Ausführung und Betrieb daher ein hoher qualitativer Standard eingehalten werden.

So sollte im Vorfeld der Anlagenplanung eine umfassende Erkundung des Erdreichs erfolgen. Je besser die Bodeneigenschaften und Grundwasserverhältnisse im Vorfeld definiert sind, umso genauer können die Erdwärmesysteme ausgelegt und dimensioniert werden. Dies ist besonders wichtig bei größeren geothermischen Anlagen (> 30 kW) und bei Anlagen, die sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen genutzt werden: Mit der Anlagengröße nehmen die Auswirkungen eines nicht korrekt an hydrogeologische Randbedingungen – wie beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds – angepassten Systems zu. Darüber hinaus kann nur mit genauen Kenntnissen der Untergrundverhältnisse sichergestellt werden, dass die erforderlichen Randbedingungen bei Erdwärmespeichern für den saisonalen Wechsel von Heizen und Kühlen immer wieder erreicht werden.

Generell gilt es die geothermischen Anlagen in ein Gesamtsystem zu integrieren, bei dem Gebäude, die Anlagen zur thermischen Gebäudekonditionierung sowie die Gebäudenutzung optimal aufeinander abgestimmt sind. Dies gilt über die Gebäude- und Anlagenauslegung hinaus auch für den Betrieb und somit den Abgleich aller Regelstrategien. Die Anfälligkeit für Störungen und Fehler der geothermischen Anlagen ist umso geringer, je einfacher das Gesamtsystem gestaltet ist. Eine Abbildung des Gesamtsystems im Rahmen einer thermischen Gebäude- und Anlagensimulation liefert weitere Planungssicherheit. So lassen sich Randbedingungen wie externe und interne Lasten des Gebäudes sowie Leistungsgrenzen der geothermischen Anlage im Vorfeld abschätzen und erste Betriebsstrategien entwickeln.

Neben einer entsprechenden Planung und fehlerfreien Ausführung bestimmt der Gebäude- und Anlagenbetrieb über Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Systeme. Um eine dauerhafte und energieeffiziente Funktion zu gewährleisten, entscheidet eine optimale Abstimmung des Gebäudeenergiebedarfs auf das thermische Angebot im Erdreich darüber, welche thermischen Leistungen sich erzielen lassen. Der Gebäude- und Anlagenbetrieb muss im Unterschied zu konventionellen Heiz- und Kühlsystemen kontinuierlich den schwankenden Randbedingungen, wie Wetter und Gebäudenutzung, angepasst werden. Ein wesentliches Instrument dafür ist die messtechnische Begleitung der Anlagen insbesondere in der ersten Betriebsphase.

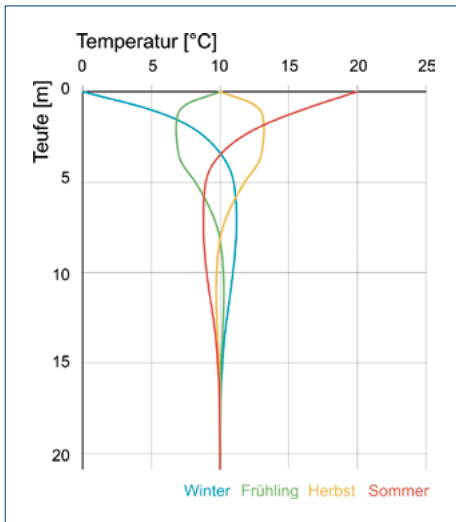
2 Grundlagen

Bei der thermischen Nutzung des Untergrunds zum Heizen und Kühlen wird im saisonalen Wechsel Wärme aus dem Untergrund entzogen bzw. in den Untergrund eingetragen. Aktiviert werden hierbei oberflächennahe Erdschichten bis zu einer Tiefe von maximal 400 m – oberflächennahe Geothermie. Das nutzbare Energieangebot und die thermische Regenerationsfähigkeit des erschlossenen Erdreichs werden wesentlich von dessen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität sowie vom Wassergehalt und von der Grundwasserströmung beeinflusst.

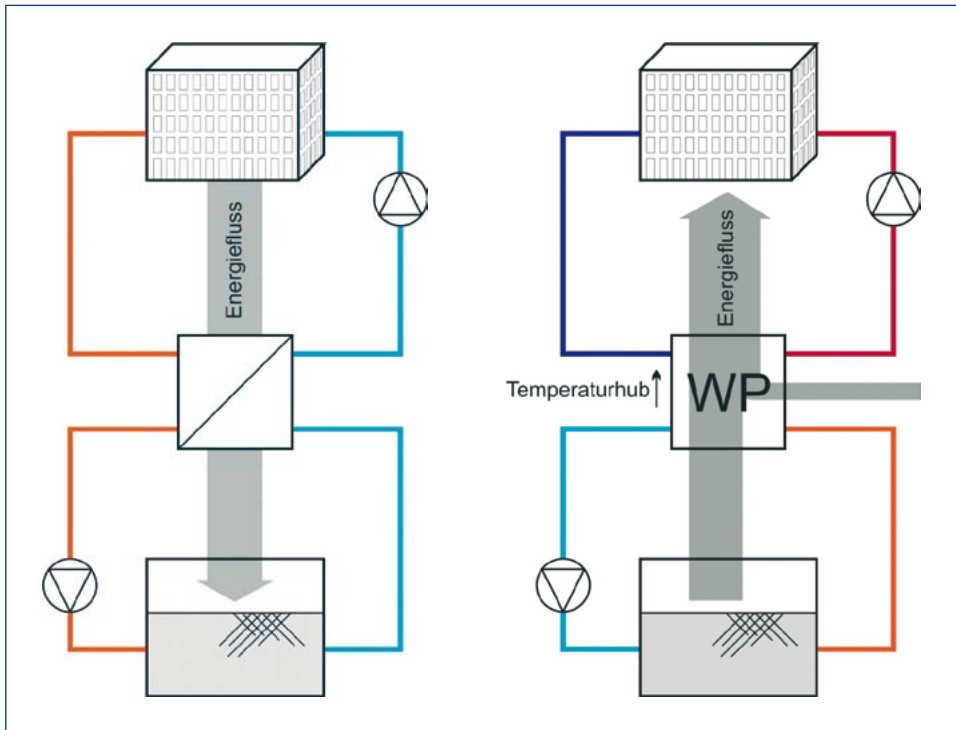
Von Vorteil bei der Nutzung der oberflächennahen Geothermie zum Heizen und Kühlen von Gebäuden ist das im Vergleich zur Außenluft relativ konstante Temperaturniveau des Erdreichs während des ganzen Jahres. In 5 bis 10 m Tiefe entspricht die ungestörte Erdreichtemperatur mit 8 bis 12 °C etwa der Jahresmitteltemperatur des Standorts (Abb. 1).

Das Temperaturniveau des Erdreichs reicht zur Gebäudekühlung im Sommer in der Regel aus. Das im Erdreich abgekühlte Wärmeträgermedium kann im reinen Umwälzbetrieb direkt zur Gebäudekühlung genutzt werden (Abb. 2 links). Man spricht bei dieser effizienten Betriebsweise, bei der mechanische Energie allein für die Umwälzpumpen aufgewendet werden muss, von einem freien Kühlbetrieb. Auch bei hohen Außentemperaturen kann der Wärmeeintrag noch ohne den Einsatz von Kältemaschinen erfolgen.

Zum Heizen ist das Temperaturniveau des Erdreichs allein zu niedrig. Die dem Erdreich entzogene Wärme muss daher mittels einer Wärmepumpe auf das erforderliche Temperaturniveau angehoben werden (Abb. 2 rechts; Funktionsprinzip s. Kap. 2.3).



■ **Abb. 1:**
Qualitativer Verlauf der ungestörten Erdreichtemperatur in Deutschland



■ **Abb. 2:** Sommer: Wärmeeintrag in den Untergrund zur Gebäudekühlung im freien Kühlbetrieb (links) bzw. Winter: Wärmeentzug aus dem Untergrund zur Gebäudeheizung im Wärmepumpenbetrieb (rechts)

Systemvarianten

Abhängig von baulichen und hydrogeologischen Randbedingungen sowie der geplanten Betriebsweise werden Wärmeentzug und -eintrag im Untergrund mit offenen Erdwärmesystemen wie Grundwasserbrunnen oder geschlossenen Systemen wie Erdwärmesonden, Energiepfählen oder horizontalen Absorbern realisiert (s. Kap. 2.1 und 2.2).

Die nutzbare Temperaturspanne und die mögliche Temperaturspannung auf der Quellenseite sind im Vergleich zur konventionellen Wärme- und Kälteerzeugung relativ gering. Die genannten Erdwärmesysteme kommen daher im Wesentlichen zur Grundlastdeckung in Kombination mit Heiz- bzw. Kühlsystemen zum Einsatz, die nahe dem Temperaturniveau des Erdreichs arbeiten (s. Kap. 2.5). Die Vorlauftemperaturen liegen dann im Heizbetrieb zwischen 25 und 30 °C und im Kühlbetrieb zwischen 17 und 20 °C. Zur Abdeckung von Spitzenlasten werden sie meist mit weiteren, unabhängigen Heiz- und Kühlsystemen kombiniert.

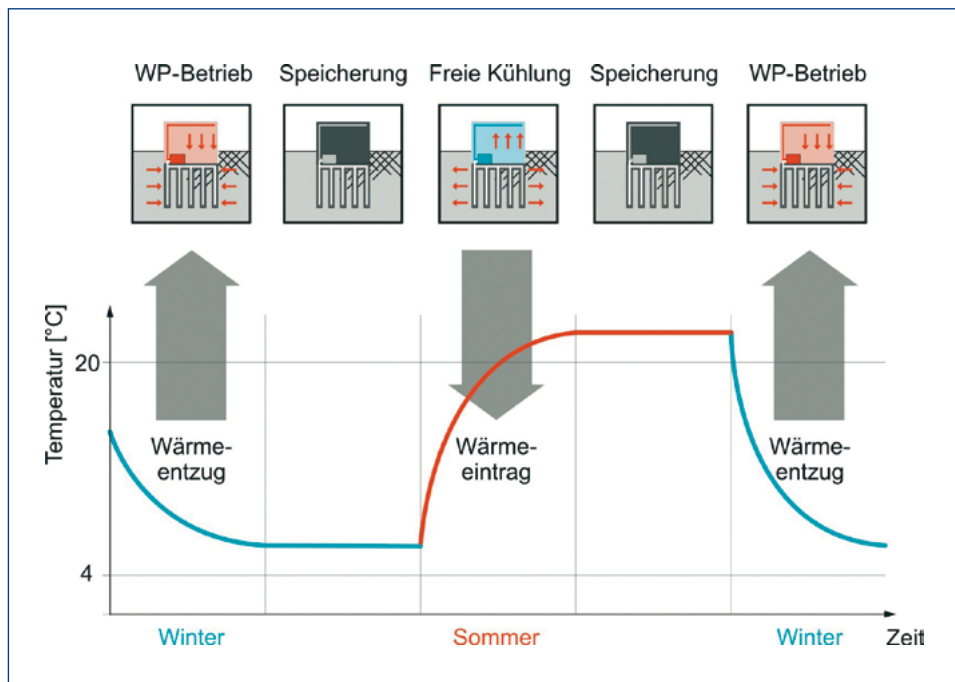
Generell besteht auch die Möglichkeit, Kältemaschinen in das Erdwärmesystem zu integrieren. So kann das Erdreich auch dann noch zur Gebäudekühlung genutzt werden, wenn das natürliche Kältepotenzial zum Ende der Kühlsaison bereits erschöpft sein sollte bzw. der Kältebedarf deutlich größer als das Potenzial der freien Kühlung ist, zum Beispiel bei Integration einer Serverkühlung als Grundlast. Darüber hinaus könnten in begrenztem Maße auch Kühlsysteme mit Systemtemperaturen unterhalb des Temperaturniveaus des Erdreichs mit Erdkälte versorgt werden. Eine mögliche Anwendung wäre beispielsweise die Zuluftkühlung.

Die Kombination von Erdwärmesystemen vor allem mit Heiz- und Kühlsystemen deutlich höherer oder niedrigerer Systemtemperaturen erfordert eine entsprechend sorgfältige Abstimmung der Komponenten untereinander. Dies gilt besonders für Erdwärmespeicher, deren Funktion bei Überwärmung oder Unterkühlung schnell und aufgrund der thermischen Trägheit des Erdreichs möglicherweise auch langfristig gefährdet ist. Um eine dauerhafte Funktionalität sicherzustellen, sind daher unbedingt einige Aspekte hinsichtlich Ausführung und Betrieb zu beachten (s. Kap. 6).

Die richtige hydraulische und regelungstechnische Einbindung der Quelle in das Gesamtsystem gewährleistet die Sicherheit der Technik im Betrieb. Störungen können durch die messtechnische Begleitung des Systems im Betrieb erkannt und analysiert werden.

2.1 Geschlossene Erdwärmesysteme

Bei geschlossenen Systemen werden Rohrleitungen im Erdreich verlegt, in denen in einem geschlossenen Kreislauf ein Wärmeträgermedium zirkuliert. Die geschlossenen Systeme sind im Gegensatz zu offenen Systemen nicht zwingend von wasserführenden Schichten abhängig und somit in der Standortwahl flexibler. Das Erdreich fungiert als saisonaler Speicher, der aktiv be- und entladen werden muss. In den so genannten »Erdwärmespeichersystemen« muss die dem Erdreich im Winter zur Gebäudebeheizung entzogene Wärme im Sommer wieder eingespeist bzw. das im Sommer infolge des Wärmeeintrags erwärmte Erdreich über den Winter wieder abgekühlt werden (Abb. 3). Geeignet sind diese Systeme beispielsweise für Büro- und Verwaltungsgebäude, die einen saisonal wechselnden Heiz- und Kühlbedarf aufweisen.



■ **Abb. 3:** Idealisiertes Schema der saisonalen Wärme- und Kältespeicherung im Untergrund am Beispiel einer Energiepfahlanlage