



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 037 316 A1** 2009.02.12

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 037 316.8**

(22) Anmeldetag: **04.08.2008**

(43) Offenlegungstag: **12.02.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F24J 3/08** (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2007 037 782.9 10.08.2007

10 2008 016 670.7 27.03.2008

(71) Anmelder:

Fischer, Volker, Dr. Ing., 01189 Dresden, DE

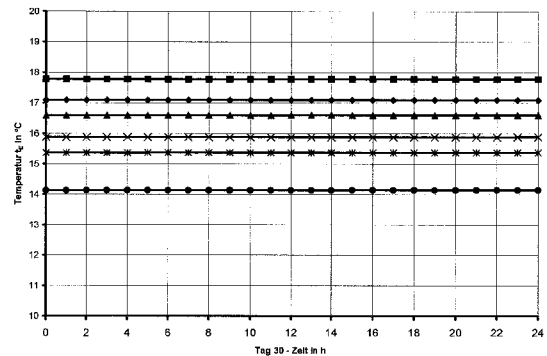
(72) Erfinder:

gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Erhöhung der instationären Leistung von Systemen zur energetischen Nutzung des Untergrundes**

(57) Zusammenfassung: Zur energetischen Nutzung des Untergrundes werden die verschiedensten Vorrichtungen und Verfahren genutzt. Ein Merkmal bei der Nutzung ist oftmals ein instationäres Temperaturfeld im unmittelbaren Bereich um die wärmeübertragenden Systeme im Erdreich. Durch gezielte Veränderung von Stoffeigenschaften in diesem Bereich kann spezielle die instationäre Leistungsfähigkeit dieser Systeme signifikant gesteigert werden.



Beschreibung

[0001] Zur Nutzung des Temperaturpotentials des Erdreiches werden die verschiedensten Vorrichtungen und Verfahren benutzt. Einen breiten Überblick über allgemeine physikalische und spezielle thermodynamische Grundlagen sowie über angewandte Verfahren und Vorrichtungen zur Ausnutzung des Temperaturpotentials gibt die VDI Richtlinie 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ [1]

[0002] Eines der Verfahren zur thermischen Nutzung des Untergrundes ist durch die Verwendung von Erdwärmesonden charakterisiert. Dabei werden Sonden z. B. in Form von Koaxial- oder U-Sonden in vorher eingebrachten Bohrlöchern verbaut. Dieses Verfahren wird vorrangig dann verwendet, wenn die zur Verfügung stehende Fläche gering ist, erdbewegende Tätigkeiten innerhalb von geplanten Baumaßnahmen nicht vorgesehen sind und somit eine vertikale Nutzung des Erdreiches aus wirtschaftlichen Gründen geboten ist.

[0003] Im Gegensatz dazu erfolgt eine horizontal orientierte Nutzung des Untergrundes oftmals über Erdkollektoren. Rohrleitungen oder Kanäle in verschiedensten Dimensionen und Gestaltungsarten werden dabei üblicherweise einzeln oder in einem optimierten Abstand voneinander horizontal in einer Tiefe verlegt, die ein durch klimatische Schwankungen weitestgehend ungestörtes Temperaturniveau versprechen.

[0004] In beiden kurz beschriebenen Systemen mit den wärmeübertragenden Systemen Erdwärmesonde und Erdwärmekollektor fließt während der Nutzung ein Fluid, das positive oder negative Wärme an das Erdreich überträgt (unter Umständen auch mit dabei ablaufenden Phasenwechselvorgängen innerhalb des Fluids) und dadurch eine Enthalpiedifferenz zwischen Ein- und Austritt aufweist. Diese Differenz ermöglicht Energieumwandlungs- bzw. Energieübertragungsvorgänge in sich anschließenden, erwünschten Prozessen oder das so konditionierte Fluid wird direkt genutzt. Typische Prozesse sind z. B. die Beheizung und/oder die sommerliche Klimatisierung von Gebäuden.

[0005] Die übertragbare Arbeit und Leistung vom Fluid innerhalb der beschriebenen Systeme an das Erdreich hängen wesentlich ab

- vom Temperaturniveau und anderen thermodynamischen Eigenschaften des strömenden Fluids
- von der Gestaltung des wärmeübertragenden Systems
- vom Temperaturniveau des umgebenden Untergrundes und seiner thermodynamischen Eigenschaften.

[0006] Die dabei stattfindenden Prozesse lassen sich mit mathematischen Gleichungen erfassen und bewerten.

[0007] Eine einwandfreie Einbringung und Verbauung der wärmeübertragenden Systeme im Erdreich ist wichtig zur Erreichung der optimalen Leistungsfähigkeit. Verwendetes Verfüllmaterial muss unter anderem auch eine sehr gute stoffschlüssige Verbindung zum umgebenden Erdreich herstellen, um die gewünschten Energieaustauschvorgänge zu fördern. Gutes Verfüllmaterial sichert weiterhin eine Abdichtung nach oben zur Verhinderung des Eindringens von Schadstoffen und dichtet eventuell durchbrochene Grundwasserleiter ab.

[0008] Es gibt ein Vielzahl von Abhandlungen, Untersuchungen und Patentschriften, die konstruktive Verbesserungen der Gestaltung der wärmeübertragenden Systeme oder Verbesserungen der thermodynamischen Eigenschaften des strömenden Fluids bzw. des umgebenden Erdreiches vorschlagen, um die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu steigern.

[0009] In der Lehre EP 1 065 451 B1 wird zum Beispiel vorgeschlagen, ein graphithaltiges Verfüllmaterial für Erdwärmesondenspeicher zu verwenden. Dadurch könne die Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials der Erdwärmesonden wesentlich gesteigert und damit die Gesamteffizienz des Systems verbessert werden. Eine hohe Wärmeleitfähigkeit wird als entscheidend für die Leistungsfähigkeit des gesamten Speichersystems angesehen. Ein weiterer Effekt der Beimischung von Graphit in verschiedenen Strukturen zum Verfüllmaterial sei die Verbesserung der rheologischen Eigenschaften dieses Materials.

[0010] Die Wärmeleitfähigkeit λ beschreibt vollkommen die stationäre Fähigkeit eines Stoffes oder Stoffgemisches, Energie durch Wärmeleitung zu transportieren. Stationär bedeutet dabei, die treibenden Temperaturrandbedingungen sind nahezu zeitlich konstant.

[0011] Nur unvollkommen wird durch diesen Ausdruck aber die Fähigkeit zur instationären Wärmeleitung charakterisiert, d. h. bei zeitlich veränderlichen Temperaturrandbedingungen. Dieser Prozess kann vollständig bei zusätzlicher Kenntnis der Stoffeigenschaften Dichte ρ und spezifische Wärmekapazität c charakterisiert

werden.

[0012] Für das Maß der Geschwindigkeit der Temperaturänderung in einem Material unter der Voraussetzung von temperaturunabhängigen Stoffwerten gilt dann der Temperaturleitkoeffizient

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

Der in die Oberfläche eines Körpers eindringende Wärmestrom ist unter der gleichen Voraussetzung proportional dem Wärmeeindringkoeffizient $b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$.

[0013] Die spezifische Wärmekapazität ist eine Stoffeigenschaft. Es gilt für Feststoffe und Flüssigkeiten

$$c_v \approx c_p \equiv c = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

Sie ist im Bereich von Phasenwechselvorgängen besonders groß. Die dabei fließenden Energien werden bei Umstrukturierungen in der Atom- bzw. Molekülstruktur benötigt bzw. frei. Der Wechsel eines Aggregatzustandes eines Stoffes oder Stoffgemisches ist zum Beispiel solch ein Phasenwechselvorgang. Dieser ist u. a. auch dadurch gekennzeichnet, dass er bei nahezu konstanter Temperatur abläuft. Diese Phasenwechselvorgänge werden gerne für die Speicherung von Wärmeenergien genutzt. Da nur geringe Temperaturänderungen zu verzeichnen sind, werden die dabei verwendeten Substanzen als latentspeichernde Materialien bezeichnet. Häufig genutzte Stoffe sind auf Grund Ihrer guten Verarbeitungsmöglichkeiten und weitestgehend ungefährlichen Eigenschaften Paraffine. Eine andere oftmals verwendete Stoffgruppe sind Salzhydrate. Ein weiterer entscheidender Vorteil der beiden angeführten Stoffe liegt in der Variabilität des Temperaturbereiches der Phasenumwandlung festflüssig. Dieser kann in der Herstellung auf den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden. Beim Einsatz von latentspeichernden Materialien ist es oft notwendig, diese mit Trägerstoffen anzuwenden oder in einer anderen aufbereiteten, geeigneten Art und Form zu verwenden. Ziel einer solchen Aufbereitung kann es zum Beispiel sein, bei der Umwandlung in die flüssige Phase ein Austreten der latentspeichernden Materialien zu verhindern (z. B. Makroverkapselung mit Metallfolien o. ä.; poröse Materialien als Trägersubstanz, die durch Kapillarwirkung ein Austreten der flüssigen Phase verhindern). Auch weitere Funktionen können durch Trägersubstanzen oder andere umhüllende Stoffe erfüllt werden. Diese Funktionen können verbesserten Brandschutzeigenschaften dienen, Stoffeigenschaften in eine gewünschte Richtung verändern (z. B. Phasenwechselmaterialien in Verbindung mit Graphit oder Metallschäumen zur Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit) oder einfach nur den Umgang mit den latentspeichernden Substanzen vereinfachen (z. B. durch eine sogenannte Mikroverkapselung).

[0014] Ein guter Überblick über Definitionen, Begriffe, Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Phasenwechselmaterialien ist in [2] zu finden.

[0015] Alle wesentlichen Vorgänge rund um die Beheizung, Warmwasserbereitung und Klimatisierung von/in Gebäuden sind hinsichtlich der Leistungsanforderungen und damit der Temperaturverhältnisse an genutzten Erdwärmesystemen instationäre Vorgänge. Aus der Nutzung der Gebäude ergeben sich vorrangig wiederkehrende Leistungsanforderungen mit einer Periodendauer von 24 h. Weiterhin denkbar sind Erdwärmesysteme zur Versorgung von instationären Prozessen außerhalb des Themenkreises Gebäudekonditionierung in Industrie, Landwirtschaft und Handwerk.

[0016] Wird eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Systemen zur energetischen Nutzung des Untergrundes angestrebt, ist eine gezielte Veränderung der Größen Dichte und/oder spezifische Wärmekapazität der beteiligten Stoffe oder Stoffgemische neben der optimierten Wärmeleitfähigkeit anzustreben.

[0017] Aus der oben angegebenen Gleichung für den Wärmeeindringkoeffizient b ist ersichtlich, dass alle bestimmenden Stoffwerte im beeinflussbaren Bereich des Erdreiches möglichst groß zu wählen sind, da die Effektivität der Systeme an dem an das Erdreich übertragenen = eingedrungeenen positiven oder negativen Wärmestrom gemessen werden. Die Auswirkung auf das instationäre Temperaturfeld kann dabei aus der angegebenen Beziehung für den Temperaturleitkoeffizienten a abgeleitet werden.

[0018] Aufgabe der Erfindung ist es, die instationäre Leistungsfähigkeit von Systemen zur Nutzung des Temperaturpotentials des Erdreiches zu verbessern. Das wird dadurch erreicht, dass latentspeichernde Stoffe in dem Bereich des Gesamtsystems Fluid/wärmeübertragendes System/Erdreich eingebracht werden, der beim

bestimmungsgemäßen Gebrauch ein zeitlich instationäres Temperaturfeld aufweist. Des Weiteren muss der Phasenwechselbereich der latentspeichernden Stoffe auf den erwarteten Schwankungsbereich des instationären Temperaturfeldes abgestimmt sein. Nur unter diesen zwei Voraussetzungen können latentspeichernde Stoffe die Effizienz von Systemen zur energetischen Nutzung des Untergrundes steigern.

[0019] Es kann vorteilhaft und möglich sein, dass dabei das wärmeübertragende System selbst wenigstens zum Teil latentspeicherndes Material in geeigneter Art und Weise, auch mit Trägersubstanzen, enthält. Ein Grund dafür kann die räumliche Ausdehnung des wärmeübertragenden Systems sein. Werden beispielhaft Betonkanäle als Erdkollektoren zur Konditionierung von Luft verwendet, dann kann die Dicke des Betonelementes schon einen wesentlichen Teil des Bereiches des instationären Temperaturfeldes ausmachen. Durch Beimischung von latentspeichernden Materialien zum Beton kann dann eine Leistungssteigerung erreicht werden.

[0020] In der Schrift DE 30 32 748 A1 wird ein Latentspeicher für Wärmepumpenanlagen, ausgebildet als ein im Erdreich eingebetteter, wassergefüllter Behälter, der von einer Wärmetransportflüssigkeit durchströmt ist, derart optimiert, dass der Behälter als Rohr ausgeführt ist. Bei diesem Vorschlag werden die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegenden Überlegungen zur Begrenzung des Einsatzbereiches der latentspeichernden Stoffe auf den Bereich mit einem instationären Temperaturfeld sowie die notwendige Abstimmung des Phasenumwandlungsgebietes auf den vorgesehen Einsatzfall ausgeblendet.

Beispiele

[0021] Ein Gebäude wird mit Hilfe von Erdwärmesonden gekühlt. Verwendet werden beispielhaft Koaxialsonden. In der Nutzungszeit des Gebäudes von 7 bis 19 Uhr fallen in Folge von inneren und äußeren zeitveränderlichen Lasten instationäre Kühllasten an. Diese werden mit Klimatisierungssystemen teilweise oder vollständig unter Verwendung eines Fluids abgeführt. Dieses Fluid mit einer höheren Temperatur (zum Beispiel Rücklaufemperatur aus einem Kühlungsprozess) als das umgebende Erdreich wird durch Erdwärmesonden geleitet. Dabei findet infolge von Wärmeübertragungsvorgängen mit dem umgebenden Erdreich ein Temperatursgleichungsprozess statt – das Fluid wird gekühlt. Von 19 bis 7 Uhr sei eine Kühlung des Gebäudes nicht notwendig. Die Erdwärmesonden werden dann nicht durchströmt.

[0022] Dieser Vorgang soll mit einer Simulationsrechnung näherungsweise nachgebildet werden.

[0023] Dabei wird das eindimensionale, instationäre Temperaturfeld um einen Zylinder, der eine Koaxial-Erdwärmesonde approximiert, berechnet. Für das Erdreich werden mittlere Stoffwerte verwendet:

$$\lambda_E = 1,75 \frac{\text{W} \cdot \text{m}}{\text{K}} \quad c_E = 2000 \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{K}} \quad \rho_E = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

[0024] Die gleichen Stoffwerte soll das Verfüllmaterial um die eingebrachte Sonde aufweisen. Die Temperatur des ungestörten Erdreiches wird in 3 m Entfernung mit $t_{E,3m} = 10^\circ\text{C}$ angesetzt. Der Durchmesser der Sonde sei 0,06 m. Die Temperatur des Fluids beträgt 18°C . Ausgehend von einer konstanten Anfangstemperaturverteilung wird eine Periode von 30 Tagen berechnet (Rechnung 2). [Fig. 2](#) zeigt die Temperaturverteilung t_E als Funktion der Zeit mit dem Parameter Abstand vom Mittelpunkt Sonde. [Fig. 1](#) gibt im Vergleich dazu die Temperaturverteilung von t_E für den Fall einer durchgängigen Betriebszeit bei ansonsten gleichen Parametern wieder (Rechnung 1).

[0025] Diese und weitere Rechnungen mit gleichem Szenario und variierten Stoffwerten für das Erdreich zeigen, dass bei üblichen thermodynamischen Eigenschaften des Untergrundes nur im Durchmesser von ca. 50 bis 70 cm um die Erdwärmesonde im Verlauf einer Periode von 24 h erwähnenswerte Temperaturschwankungen auftreten. Außerhalb dieses Durchmessers ist das Temperaturfeld weitestgehend unbeeinflusst durch die zeitveränderliche Nutzung. Es nimmt bis zum ungestörten Temperaturniveau des umgebenden Erdreiches, lokal nahezu zeitlich unveränderlich, kontinuierlich ab. Der Wärmefluss zum imaginären, konstanten Temperaturpotential des Erdreiches ist dabei nur eine Funktion der Wärmeleitfähigkeit. Innerhalb des oben genannten Durchmesserbereiches findet außerhalb der Nutzung eine „Erholung“ des umgebenden Erdreiches oder anderer verwendeter Stoffe und Stoffgemische des Energieübertragungssystems statt. Das sind Speicher- oder Entspeichervorgänge, die neben der Wärmeleitfähigkeit durch den Wärmeeindringkoeffizienten und den Temperaturleitkoeffizienten bewertet werden können. Diese Vorgänge sorgen dafür, dass bei einem erneuten temporären Durchströmen der Erdwärmesonde eine größere Leistung zur Verfügung steht als im Dauerbetrieb.

[0026] Dadurch ist es auch zu erklären, dass die erzielbare Kühlarbeit nur um ca. 25% unter der Kühlarbeit des Dauerbetriebes liegt, obwohl die Betriebszeit um 50% geringer ist. Diese 25% stellen den theoretischen

Grenzwert einer Optimierung durch veränderte Stoffwerte in diesem Bereich dar.

[0027] In Rechnung 3 soll nun die Auswirkung einer Anordnung von latentspeichernden Materialien im Bereich des instationären Temperaturfeldes demonstriert werden. Verwendet wird ein Material, das Stoffwerte für $c = f(t)$ für die Vorgänge Schmelzen und Erstarren entsprechend [Fig. 4](#) aufweist. Die Hysterese zwischen den dort ablesbaren Kurven beträgt 1 K. Der Temperaturbereich, in dem der Phasenwechsel stattfindet, ist auf das erwartete Temperaturfeld (vgl. [Fig. 2](#)) abgestimmt. Die Schmelz- bzw. Erstarrungsenthalpie hat einen Betrag von 125 kJ/kg. Entsprechend den Erläuterungen zu den Stoffeigenschaften Wärmeeindringkoeffizient b und Temperaturleitkoeffizient a ist zu erwarten, dass sich der Bereich des instationären Temperaturfeldes um die Sonde und der Temperaturgradient an vergleichbaren Orten während der Betriebszeit der Kühlung verkleinern wird. Damit kann die Aussage getroffen werden, dass eine Anordnung der Stoffe in dem Bereich des Bohrloches (Rechnung 1 bis 3 $\rightarrow r_{\text{Bohrloch}} = 0,1 \text{ m}$) optimal ist. Angenommen wird für die Rechnung 3 eine Beimischung von 30% des beschriebenen latentspeichernden Stoffes zum Verfüllmaterial. Weitere Stoffwerte des Materials sind:

$$\rho_{\text{flüssig}} = 750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_{\text{fest}} = 860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_{\text{flüssig}} = 2400 \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{K}} \quad c_{\text{fest}} = 1800 \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{K}}$$

[0028] Für die Wärmeleitfähigkeit wird mit einem Wert von 1,75 W/(m·K) gerechnet, das heißt, es wird von keiner Verschlechterung der Wärmeleitfähigkeit gegenüber dem restlichen Verfüllmaterial ausgegangen. Dies kann beispielhaft durch ein geeignetes Trägermaterial erreicht werden (z. B. Graphit).

[0029] Die beschriebene Konfiguration des wärmeübertragenden Systems Erdwärmesonde zusammen mit latentspeichernden Materialien als Beimischung zum Verfüllmaterial ist in [Fig. 7](#) dargestellt. Bezugszeichen A stellt das wärmeübertragende System, in diesem Fall die Koaxialsonde dar. [Fig. 7](#) Bezugszeichen B repräsentiert das Fluid, Bezugszeichen C das Verfüllmaterial mit latentspeichernden Materialien und Bezugszeichen D das umgebende Erdreich.

[0030] Die Ergebnisse der Simulationsrechnung zeigt [Fig. 3](#). Die Annahmen zum Temperaturfeld wurden bestätigt. Die eingespeicherte Wärmeenergie beträgt 84% der übertragenen Energie im Vergleich zu Rechnung 1. Das entspricht einer Steigerung der Kühlarbeit gegenüber Rechnung 2 von 12%.

[0031] Die Zusammenfassung der Ergebnisse von weiteren Parameterrechnungen ist in Tabelle 1 aufgeführt. Die positive Auswirkung einer Verkleinerung der Hysterese zwischen den Kurven $c = f(t)$ für die Vorgänge Schmelzen und Erstarren ist deutlich erkennbar.

[0032] Gleichartige Anwendungen sind natürlich bei Erdkollektoren, zum Beispiel auch bei solchen zur Konditionierung von Zuluft, vorteilhaft, die dann Verbesserungen im instationären Verhalten in der gleichen Größenordnung aufweisen.

[0033] Tabelle 2 zeigt Ergebnisse von ebenen, eindimensionalen, instationären Berechnungen, die die Verhältnisse in einem luftführenden Erdkanal abschätzen sollen (Rechnung 4). Dabei sind latentspeichernde Stoffe als Beimischung im Betonmaterial des Kanals vorhanden. Deren Stoffdaten $c = f(t)$ sind analog zum vorangegangenen Beispiel in [Fig. 5](#) zu sehen. Die Schmelz- bzw. Erstarrungsenthalpie beträgt 130 kJ/(kg·K). [Fig. 6](#) gibt die vorgegebenen Temperaturen für das Fluid Außenluft wieder. Die Wanddicke des Kanals beträgt 15 cm. Der Kollektor wird von 7 bis 19 Uhr durchströmt, außerhalb dieser Zeit nicht. [Fig. 9](#) stellt vereinfachend diese Konfiguration dar. Bezugszeichen D in [Fig. 9](#) repräsentiert das umgebende Erdreich, Bezugszeichen B das strömende Fluid Luft und Bezugszeichen G das wärmeübertragende System mit latentspeichernden Materialien, in diesem Beispiel ein Betonkanal mit entsprechenden Beimischungen.

[0034] Im Ergebnis der Beispielrechnungen ist festzustellen, dass eine signifikante Effizienzsteigerung von Systemen zur energetischen Nutzung des Untergrundes möglich ist, wenn latentspeichernde Stoffe im Bereich des sich einstellenden instationären Temperaturfeldes angeordnet werden. Die vereinfachenden, aber dennoch aufschlussreichen Simulationsrechnungen lassen die Aussage zu, dass diese Steigerungen im Bereich von ca. 10% bis 20% liegen werden. Insbesondere beim instationären Betrieb von Erdwärmesonden wird damit (in Abhängigkeit des Anwendungsfalles) nahezu die Ausbeute entsprechend einem Dauerbetrieb erreicht. Damit können Speicher in Gebäuden, auch mit latentspeichernden Stoffen, weitestgehend entfallen. Daraus können sich im Falle von PCM-Speichern Vorteile bezüglich Brandschutzforderungen ergeben. Des Weiteren gibt es Einsparungen bei den Investitions- und Betriebskosten (zum Beispiel geringere Aufwendungen für einen Pumpenbetrieb) und es treten keine Speicherverluste auf. Notwendige Leistung und Arbeit kann zum Zeitpunkt des Bedarfs abgefordert werden.

[0035] Den beschriebenen Beispielrechnungen liegt die vorzugsweise Ausgestaltung der Erfindung in Form von Beimischungen der latentspeichernden Stoffe zum Verfüllmaterial bei der Verwendung von Erdsonden bzw. zum Material des wärmeübertragenden Systems (hier Betonmischung bei luftführenden Erdkollektoren) zu Grunde.

[0036] Für den Erfolg der Erfindung ist im allgemeinen nur die Anordnung der latentspeichernden Materialien im Bereich des sich zeitlich ändernden Temperaturfeldes mit einem darauf abgestimmten Phasenwechselbereich wichtig.

[0037] Eine weitere mögliche Ausgestaltung kann zum Beispiel die vollständige Umkleidung von Sonden mit entsprechenden Materialien sein (Fig. 8 – Bezugszeichen F). Mit Metallfolien umhülltes latentspeicherndes Material kann dabei eine Ausführungsform sein.

[0038] In diesem Fall enthält das Verfüllmaterial (Fig. 8 – Bezugszeichen E) zwischen Sonde und umgebenden Erdreich kein weiteres latentspeicherndes Material, da davon ausgegangen wird, dass das instationäre Temperaturfeld sich im wesentlichen auf den Bereich der Umkleidung erstreckt.

Hysterese zwischen Schmelz- und Erstarrungskurve = 1 K					
Nr.	Stoffdaten Erdreich	Stoffdaten Verfüllung	Verfüllung mit/ohne latentspeichernden Stoffen (30% Vol.-Anteil)	12 h/24 h Betrieb	Kühlarbeit
1	$\lambda = 1,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $c = 2000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	$\lambda = 1,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $c = 2000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	ohne	24 h	100%
2	wie Nr. 1	wie Nr. 1	ohne	12 h	75% von Nr. 1
3	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 1,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	84% von Nr. 1
4	wie Nr. 1	$\lambda = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ sonst wie Nr. 1	ohne	24 h	100%
5	wie Nr. 1	wie Nr. 4	ohne	12 h	71% von Nr. 4
6	wie Nr. 1	wie Nr. 4	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	90% von Nr. 4
7	$\lambda = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ sonst wie Nr. 1	wie Nr. 4	ohne	24 h	100%
8	wie Nr. 7	wie Nr. 4	ohne	12 h	77% von Nr. 7
9	wie Nr. 7	wie Nr. 4	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	91% von Nr. 7
Hysterese = 0,5 K					
Nr.	Stoffdaten Erdreich	Stoffdaten Verfüllung	Verfüllung mit/ohne latentspeichernden Stoffen (30% Vol. Anteil)	12 h/24 h Betrieb	Kühlarbeit
10	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 1,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	85% von Nr. 1
11	wie Nr. 1	wie Nr. 4	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	92% von Nr. 4
12	wie Nr. 7	wie Nr. 4	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	94% von Nr. 7
Hysterese = 0,1 K					
Nr.	Stoffdaten Erdreich	Stoffdaten Verfüllung	Verfüllung mit/ohne latentspeichernden Stoffen (30% Vol.-Anteil)	12 h/24 h Betrieb	Kühlarbeit
13	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 1,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	87% von Nr. 1
14	wie Nr. 1	wie Nr. 4	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	95% von Nr. 4
15	wie Nr. 7	wie Nr. 4	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	95,5% von Nr. 7

Tabelle 1 – Zusammenfassung von Parameterrechnungen zur Konfiguration Erdsonde entsprechend Rechnung 1 bis 3

Hysterese zwischen Schmelz- und Erstarrungskurve = 1 K					
Nr.	Stoffdaten Erdreich	Stoffdaten Betonkanal Wanddicke d = 0,015 m	Beton mit/ohne latentspeichernden Stoffen (30% Vol.-Anteil)	12 h/24 h Betrieb	Kühlarbeit
1	$\lambda = 1,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $c = 2000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	$\lambda = 1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $c = 2000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	ohne	12 h	100%
2	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	113% von Nr. 1
3	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	115% von Nr. 1
Hysterese = 0,5 K					
Nr.	Stoffdaten Erdreich	Stoffdaten Verfüllung	Verfüllung mit/ohne latentspeichernden Stoffen (30%)	12 h/24 h Betrieb	Kühlarbeit
4	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	115% von Nr. 1
5	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	118% von Nr. 1
Hysterese = 0,1 K					
Nr.	Stoffdaten Erdreich	Stoffdaten Verfüllung	Verfüllung mit/ohne latentspeichernden Stoffen (30%)	12 h/24 h Betrieb	Kühlarbeit
6	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	117% von Nr. 1
7	wie Nr. 1	wie Nr. 1	mit $-\lambda_{\text{PCM}} = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	12 h	121% von Nr. 1

Tabelle 2 – Zusammenfassung von Parameterrechnungen zur Konfiguration Erdkollektor entsprechend Rechnung 4

Formelzeichen und Indizes

[0039]

Deutsches Alphabet

Formelzeichen

a
b
c
h
r
t
T

Bedeutung

Temperaturleitkoeffizient
Wärmeeindringkoeffizient
massespezifische Wärmekapazität
massespezifische Enthalpie
Radius
Temperatur in °C
absolute Temperatur in K

Griechisches Alphabet

Formelzeichen	Bedeutung
λ	Wärmeleitkoeffizient in W/(mK)
ρ	Dichte in kg/m ³

Tiefgestellte Indizes

Index	Bedeutung
fest	für die feste Phase
flüssig	für die flüssige Phase
p	bei konstantem Druck
E	Erdreich
L	Luft
PCM	Phase Change Materials (Phasenwechselmaterialien)
V	bei konstantem Volumen

Bezugszeichenliste

A	wärmeübertragendes System Koaxialsonde
B	Fluid
C	Verfüllmaterial mit latentspeichernden Stoffen als Beimischung
D	umgebendes Erdreich
E	Verfüllmaterial
F	latentspeichernde Stoffe als vollständige Ummantelung
G	wärmeübertragendes System Erdkollektor mit integrierten latentspeichernden Materialien

Zitierte Nichtpatentliteratur

- [1] Verein Deutscher Ingenieure; VDI Richtlinie 4640: „Thermische Nutzung des Untergrundes" – Teil 1 bis Teil 4; Beuth Verlag GmbH; 2000–2004
- [2] Gütegemeinschaft PCM e. V.; Güte- und Prüfbestimmungen für Phase Change Materials (Phasenwechselmaterial); Fassung 06.12.2006; <http://www.pcm-ral.de/pcm/ral-guete.htm>

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1065451 B1 [0009]
- DE 3032748 A1 [0020]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Verein Deutscher Ingenieure; VDI Richtlinie 4640: „Thermische Nutzung des Untergrundes“ – Teil 1 bis Teil 4; Beuth Verlag GmbH; 2000–2004 [0039]
- Gütegemeinschaft PCM e. V; Güte- und Prüfbestimmungen für Phase Change Materials (Phasenwechselmaterial); Fassung 06.12.2006; <http://www.pcm-ral.de/pcm/ral-guete.htm> [0039]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der instationären Leistung von Systemen zur energetischen Nutzung des Untergrundes **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bereich des instationären Temperaturfeldes des Systems Fluid/wärmeübertragendes System/Erdreich latentspeichernde Materialien mit auf das zeitlich veränderliche Temperaturfeld abgestimmtem Phasenwechselbereich angeordnet sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die latentspeichernden Materialien innerhalb einer Trägersubstanz angeordnet sind.
3. Vorrichtung zur Durchführung eines der Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass eine Erdwärmesonde (A) als wärmeübertragendes System, in dem ein Fluid (B) fließt, eingesetzt wird, wobei dem Verfüllmaterial (C) zum Schließen des Zwischenraums zwischen Erdwärmesonde und Bohrlochrand latentspeichernde Stoffe beigemischt werden.
4. Vorrichtung zur Durchführung eines der Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass eine Erdwärmesonde (A) als wärmeübertragendes System, in dem ein Fluid (B) fließt, eingesetzt wird, die von dem latentspeichernden Material (E) vollständig umhüllt ist.
5. Vorrichtung zur Durchführung eines der Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass das wärmeübertragende System selbst latentspeichernde Materialien enthält.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5 dadurch gekennzeichnet, dass als wärmeübertragendes System Erdkollektoren in Kanal- oder Rohrform eingesetzt werden.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1 - Temperaturfeld um die Erdsonde ohne latentspeichernde Stoffe im Verfüllmaterial
Betriebszeit Kühlung 0 - 24 Uhr (Rechnung 1)

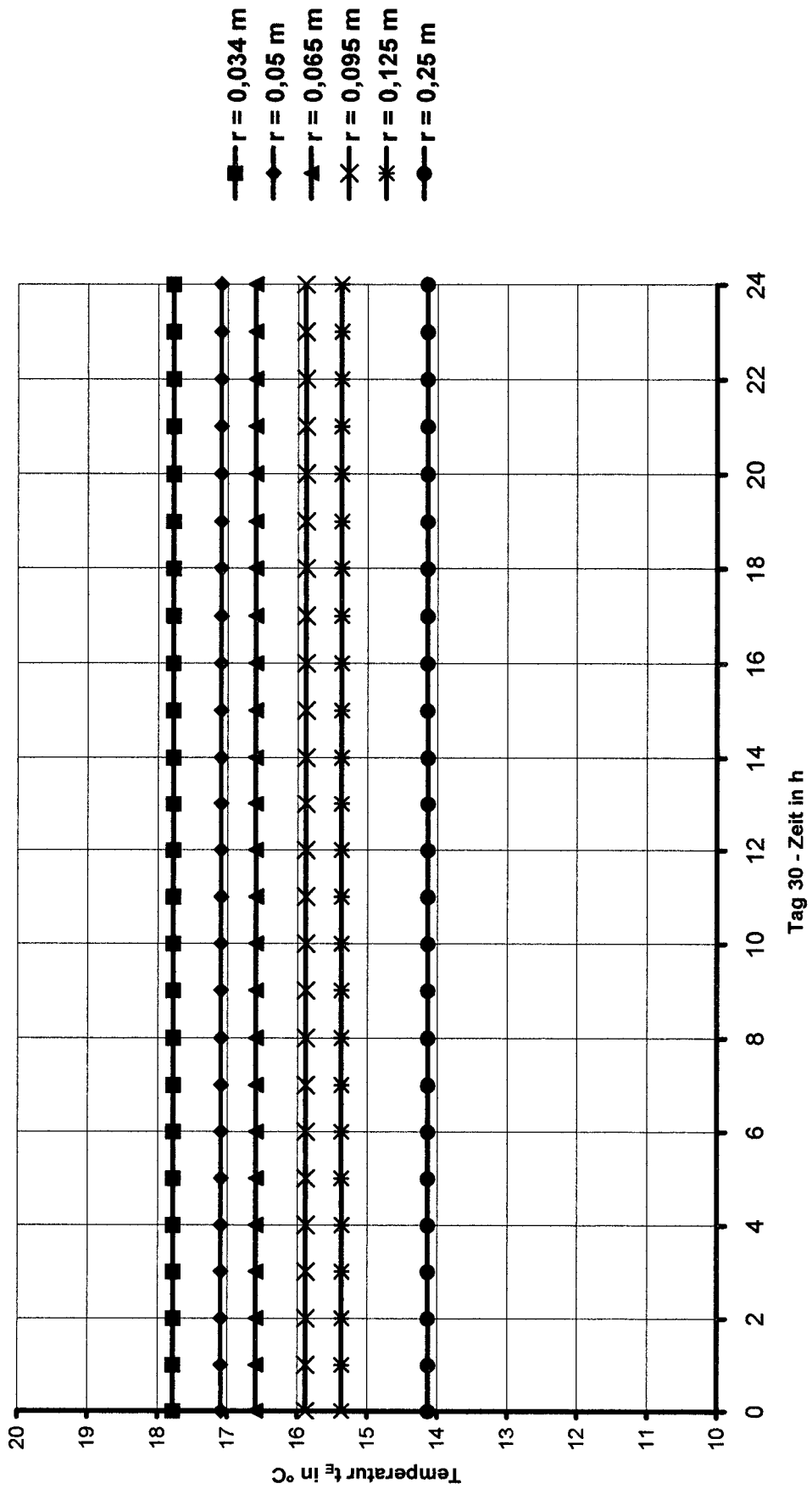


Fig. 2 - Temperaturfeld um die Erdsonde ohne latentspeichernde Stoffe im Verfüllmaterial Betriebszeit Kühlung 7 - 19 Uhr (Rechnung 2)

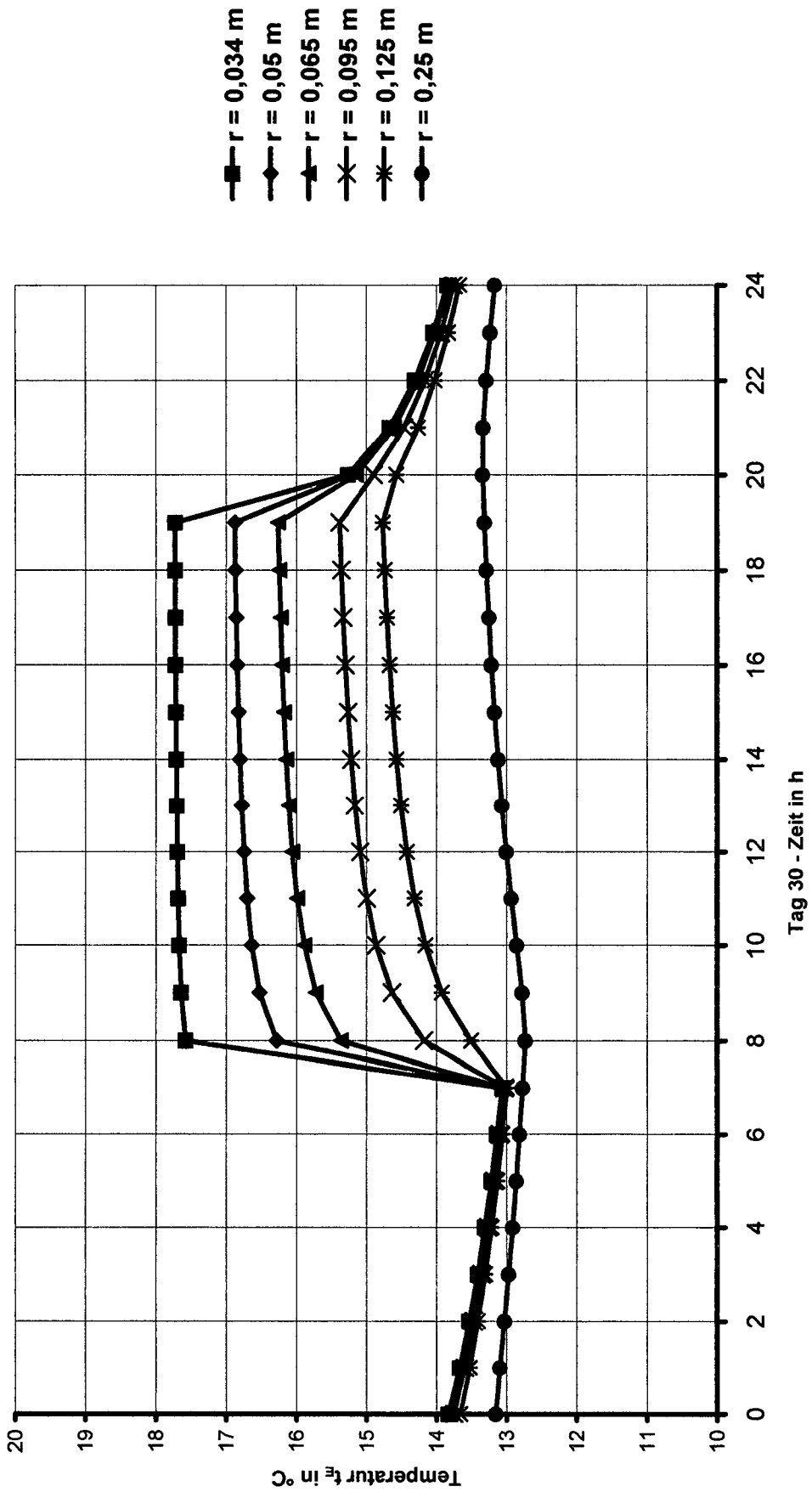


Fig. 3 - Temperaturfeld um die Erdsonde mit latentpeichernden Stoffen im Verfüllmaterial Betriebszeit Kühlung 7 - 19 Uhr (Rechnung 3)

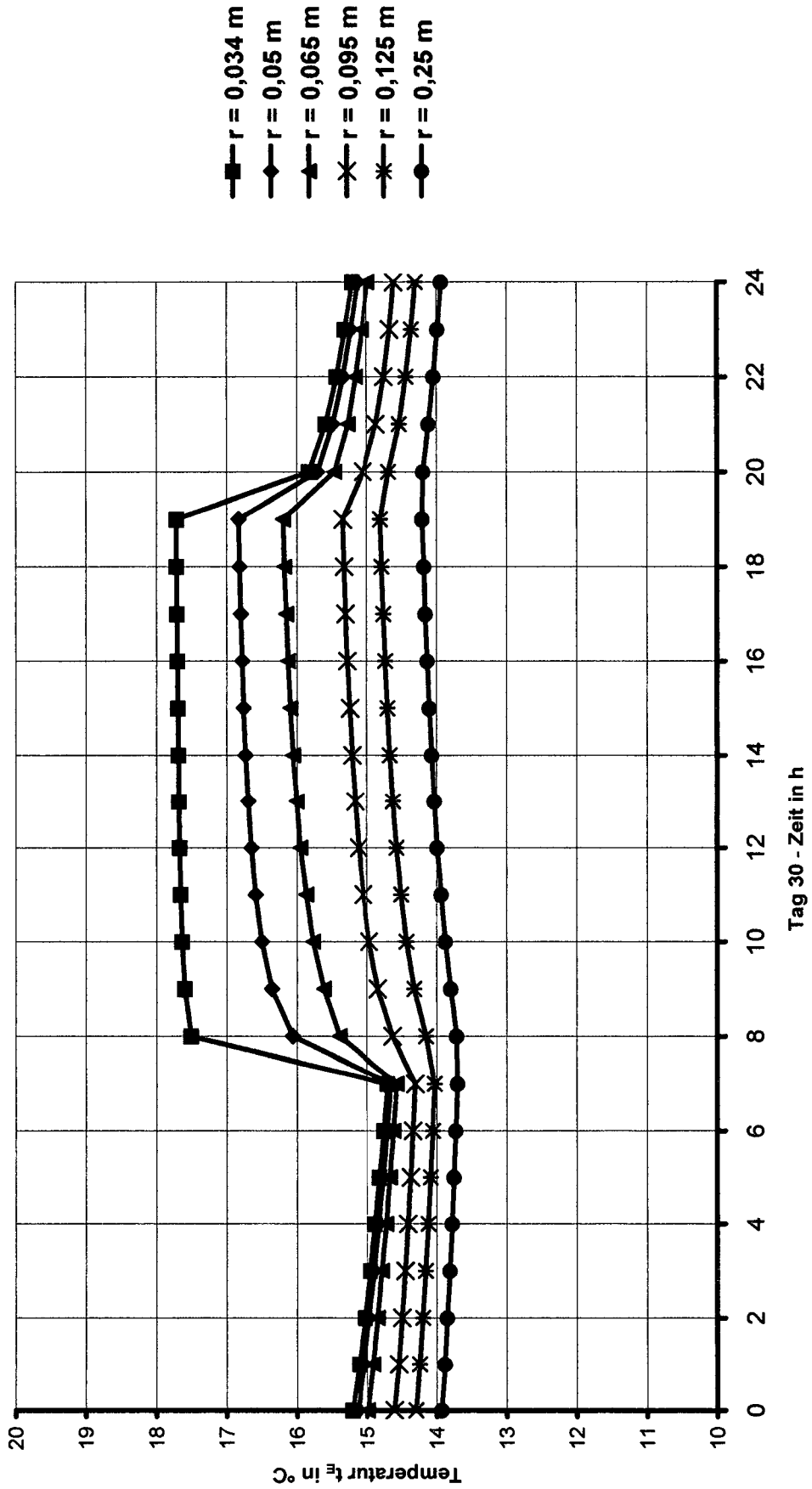


Fig. 4 - Spezifische Wärmekapazität $c = f(t)$ für den Schmelz- und Erstarrungsprozess (Rechnung 3)

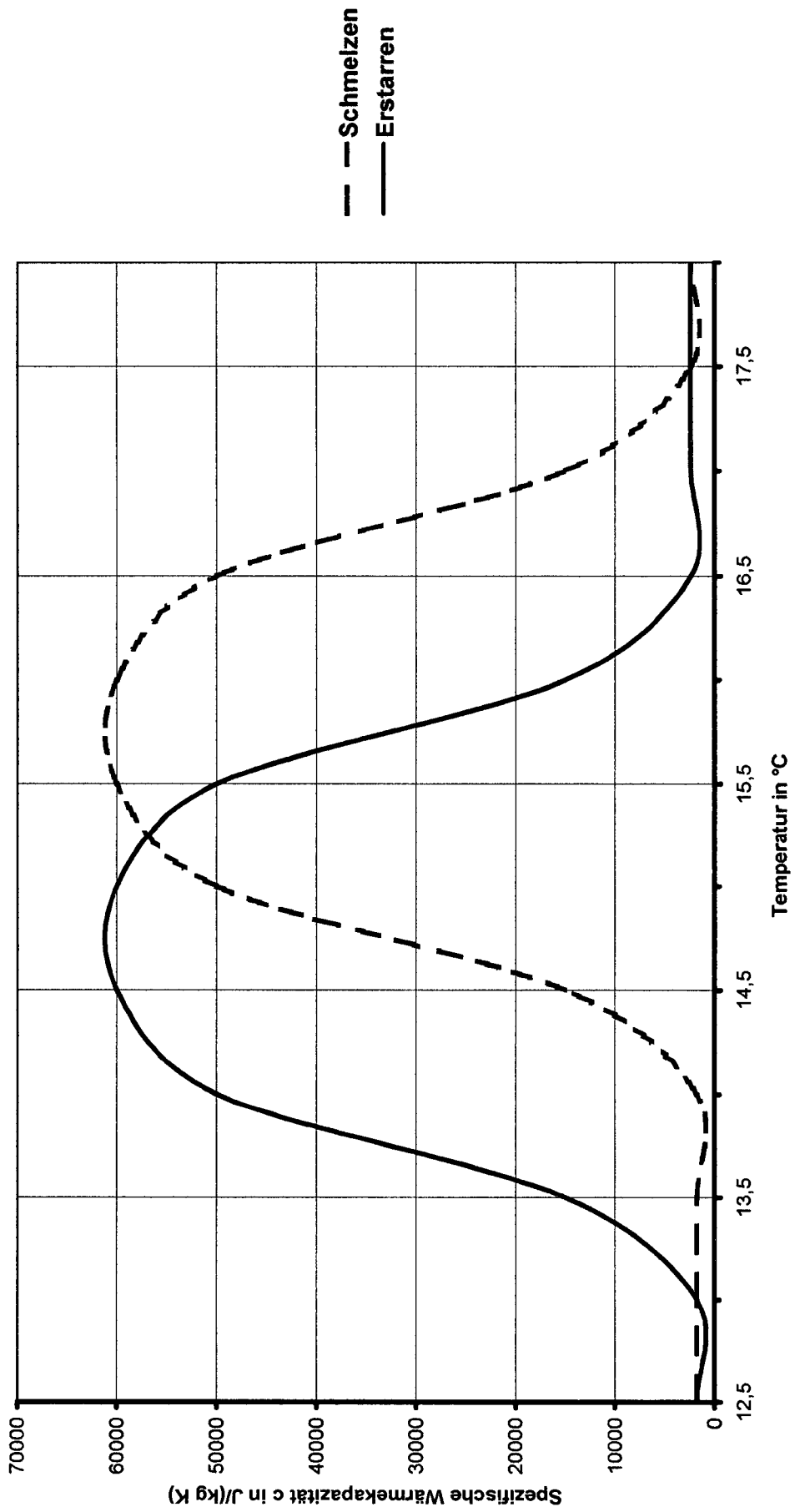


Fig. 5 - Spezifische Wärmekapazität $c = f(t)$ für den Schmelz- und Erstarrungsprozess (Rechnung 4)

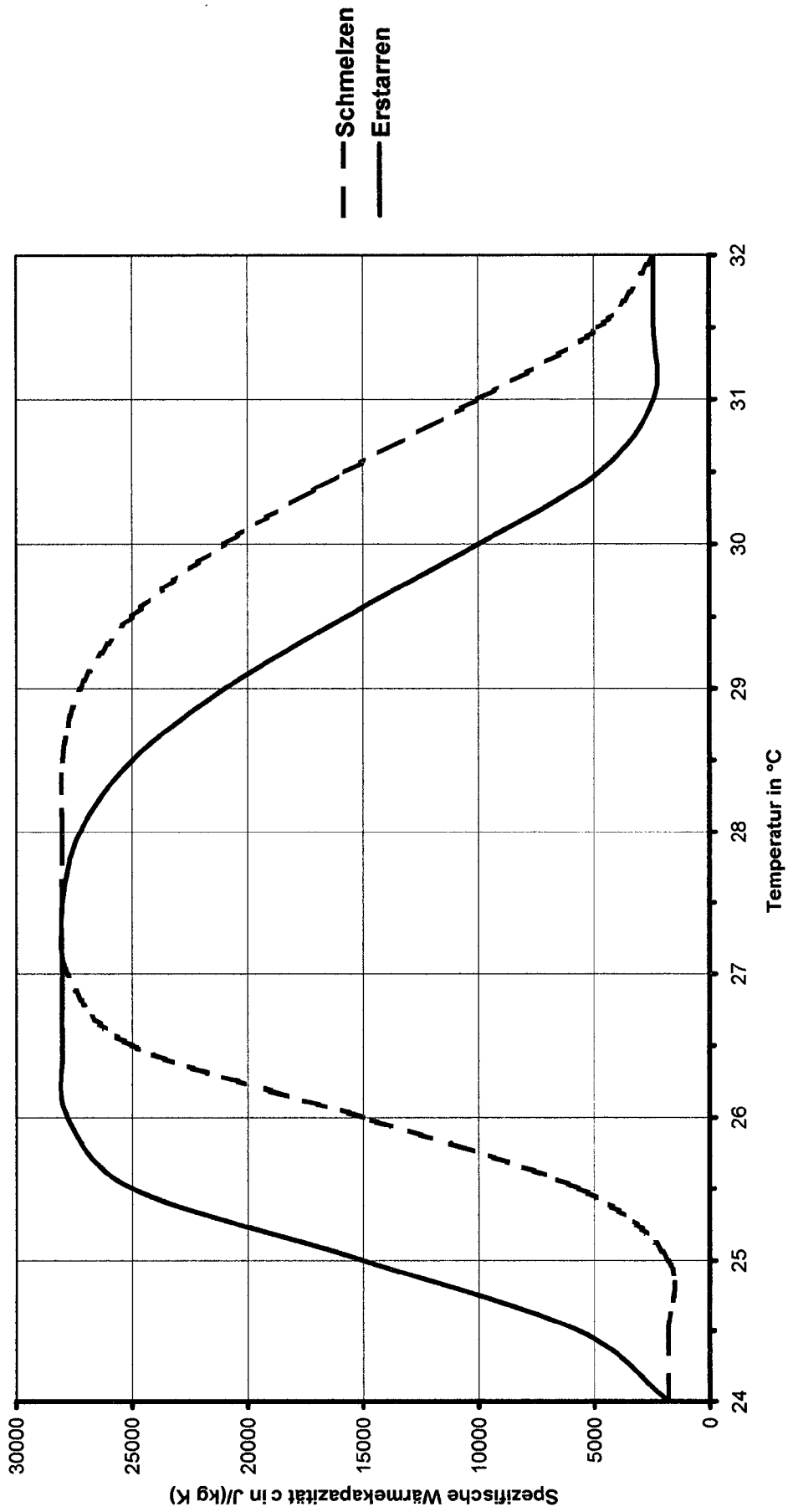


Fig. 6 - Außenlufttemperaturverlauf (Rechnung 4)

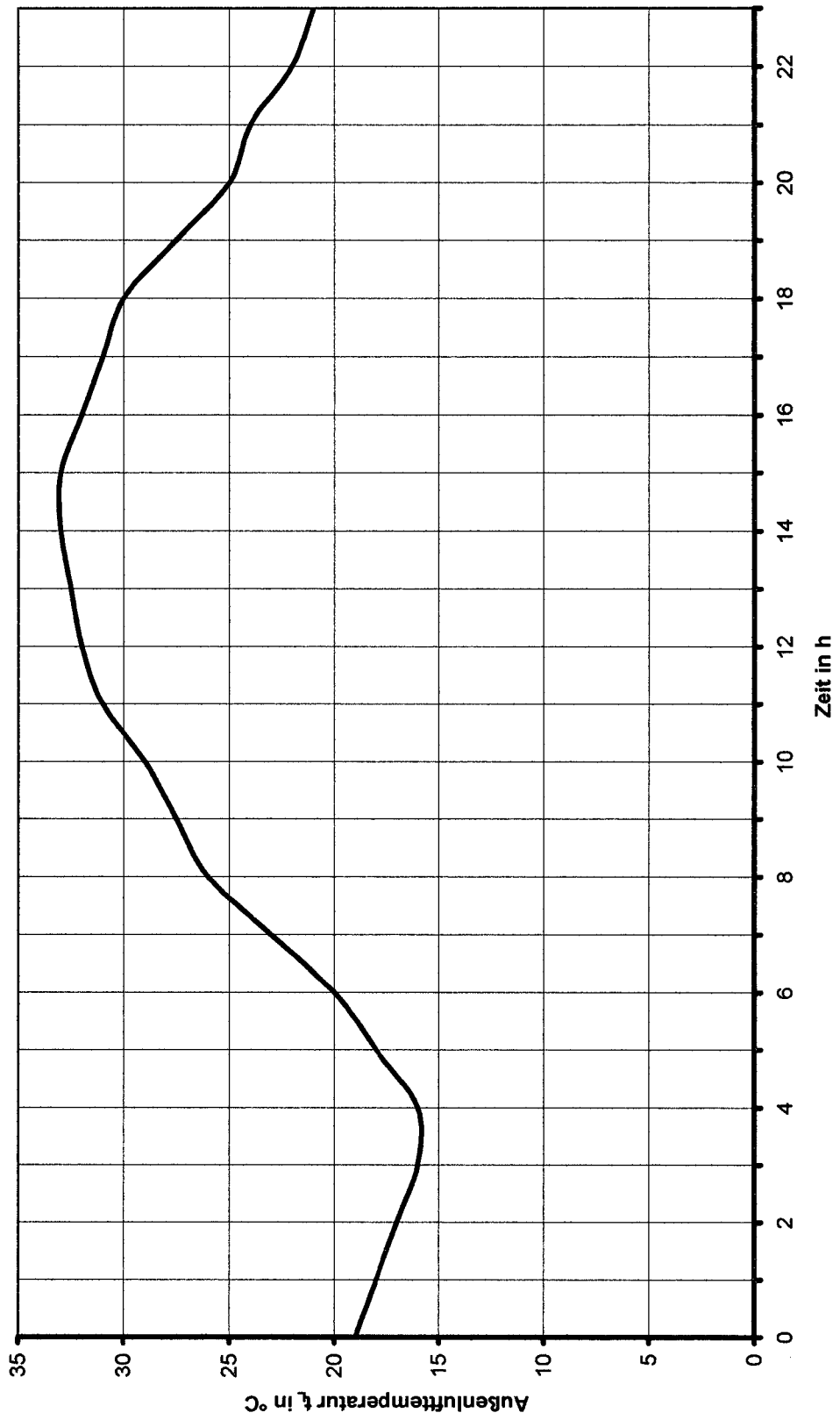


Fig. 7 Konfiguration entsprechend Beispiel – Rechnung 3
Koaxialerdsonde mit latentspeichernden Materialien als Beimischung zum
Verfüllmaterial

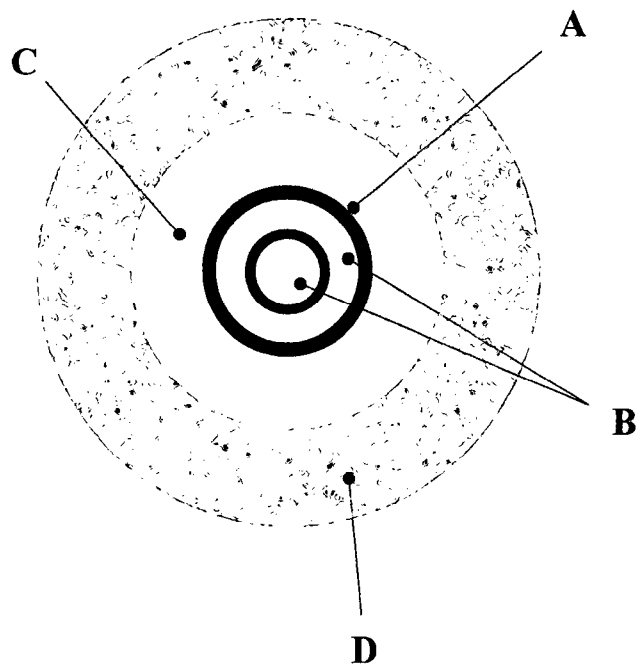


Fig. 8 Koaxialerdsonde mit latentspeichernden Materialien als vollständige Umhüllung

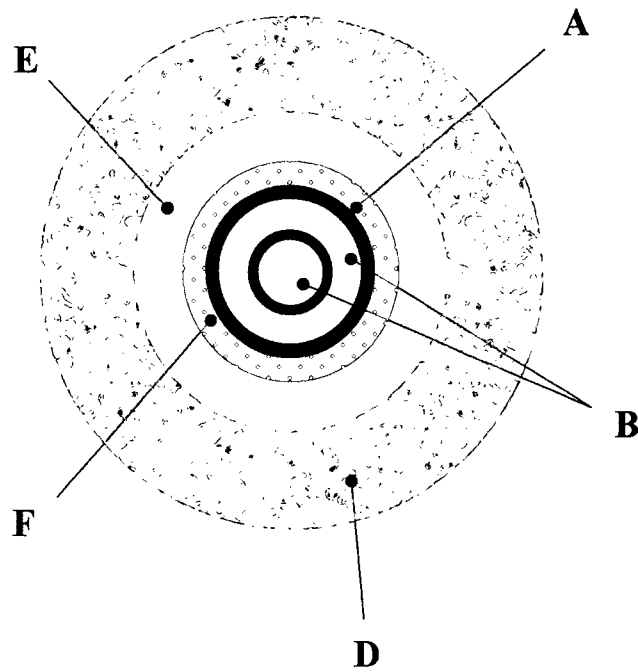


Fig. 9 Erdkolektor mit latentspeichernden Materialien im wärmeübertragenden System

