

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREThermische Nutzung des Untergrunds
Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte
Thermal use of the underground
Fundamentals, approvals, environmental aspectsVDI 4640
Blatt 1 / Part 1Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Begriffe	4	2 Terms and definitions	4
3 Formelzeichen und Abkürzungen	6	3 Symbols and abbreviations	6
4 Grundlagen	7	4 Principles	7
4.1 Wärmeregime im Untergrund.....	7	4.1 Underground heat regime	7
4.2 Grundsätzliches zur Anlagenauslegung.....	9	4.2 Principles of system design.....	9
5 Erforderliche Genehmigungen	12	5 Required approvals	12
5.1 Wasserrecht	13	5.1 Water law.....	13
5.2 Bergrecht	17	5.2 Mining law.....	17
5.3 Genehmigungspraxis in Österreich und der Schweiz.....	18	5.3 Approval practices in Austria and Switzerland.....	18
6 Sicherheitsaspekte der Wärmepumpe	20	6 Safety aspects of heat pumps	20
7 Standortbewertung	20	7 Site evaluation	20
7.1 Oberirdische Standortgegebenheiten	20	7.1 Above-ground site conditions	20
7.2 Unterirdische Standortgegebenheiten.....	21	7.2 Underground site conditions	21
8 Umweltaspekte	22	8 Environmental aspects	22
8.1 Primärenergiebedarf und CO ₂ - Emissionen.....	23	8.1 Primary energy requirements and CO ₂ emissions	23
8.2 Einfluss von Wärmepumpen- Arbeitsmitteln	25	8.2 The impact of heat pump working fluids.....	25
8.3 Mögliche Auswirkungen bei thermi- scher Nutzung des Untergrunds	25	8.3 Possible impacts of thermal use of the underground	25
8.4 Umweltschutz bei Bohrarbeiten.....	28	8.4 Environmental protection during drilling works	28
9 Umweltgerechte Materialauswahl für Einbauten im Untergrund	29	9 Environmentally-compliant material choice for underground installations	29
9.1 Materialien für Brunnen, Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und Rohre	29	9.1 Materials used in wells, ground heat collectors, borehole heat exchangers and pipes.....	29
9.2 Wärmeträgermedien in Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden.....	29	9.2 Heat transfer media in ground heat collectors and borehole heat exchangers.....	29
9.3 Wärmepumpen-Arbeitsmittel für Direktverdampfung	30	9.3 Heat pump working fluids for direct expansion.....	30
Schrifttum	31	Bibliography	31

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
Fachbereich Energiewandlung und -anwendungVDI-Handbuch Energietechnik
VDI-Handbuch Ressourcenmanagement in der Umwelttechnik[This is a preview. Click here to purchase the full publication.](#)

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Der Untergrund kann als Wärmequelle, Wärmesenke und thermischer Energiespeicher genutzt werden. Er ist wegen des großen erschließbaren Volumens und des gleichmäßigen Temperaturniveaus für viele Anwendungen im Niedertemperaturbereich gut geeignet.

Umwelt- und Erdwärme aus dem Untergrund wird über horizontale und vertikale Erdreichwärmeübertrager oder durch Abpumpen von Grundwasser gewonnen und (meist über Wärmepumpen) zum Heizen eingesetzt. Derartige Wärmepumpen-Anlagen können neben der Beheizung auch für die Raumkühlung verwendet werden. In einer zunehmenden Zahl von Anlagen wird bereits direkte Kühlung aus dem Untergrund ohne Einsatz der Wärmepumpe im Sommer betrieben.

Erdgekoppelte Wärmepumpen haben in Nordamerika und in Europa eine große Verbreitung erfahren und stoßen auch in Deutschland auf großes Interesse. Gründe dafür sind sicherlich, dass die Wärmepumpe bezüglich des Primärenergiebedarfs beim gegenwärtigen Stand der Technik mit realisierbaren Einsparungen bis zu 60 % gegenüber dem Ölkessel und bis zu 40 % im Vergleich zum Gasbrennwertkessel die effizientere Technik darstellt. Durch den Einsatz der Elektro-Wärmepumpen entstehen im Gegensatz zu Öl- und Gasheizung die Schadstoffemissionen nicht vor Ort, sondern hauptsächlich in modernen, mit aufwendigen Abgasreinigungsanlagen ausgerüsteten Kraftwerken. Dadurch wird ein wesentlicher Beitrag zur Senkung der Immissionen in dicht bebauten Wohngebieten geleistet.

Der Untergrund kann auch als thermischer Speicher zum Heizen oder Kühlen dienen. Wärme aus regenerativen Quellen (Sonne, Erdwärme u.Ä.)

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Introduction

The underground can be utilised as a heat source, a heat sink and a thermal energy reservoir. It is highly suitable for many applications in the low-temperature range, due to the large volumes available and the uniform temperature.

Environmental and geothermal energy from the underground is obtained via horizontal and vertical heat exchangers or by pumping groundwater, and is used for heating (mostly via heat pumps). Apart from heating, such heat pump systems can also be used for space cooling. In an increasing number of installations, direct cooling from the underground is used already during the summer without application of a heat pump.

Ground source heat pumps are widespread in North America and in Europe, and arouse great interest in Germany also. The likely reasons are that given the current state of the art, heat pumps represent more efficient technology with regard to primary energy requirements, with achievable savings of up to 60 % compared with oil-fired boilers and up to 40 % compared with gas condensing boilers. Unlike oil and gas heating, the use of electric heat pumps means that pollutant emissions do not occur in situ but mostly in modern power stations equipped with advanced exhaust-gas purification systems. This makes a considerable contribution towards the reduction of emissions in densely populated residential areas.

The underground can also serve as a thermal reservoir for heating or cooling. Heat from renewable sources (solar or geothermal energy, etc.) and

oder Abwärme, die sonst verloren gehen würde, kann gespeichert und später verwendet werden. Das Gleiche ist auch mit „Umweltkälte“ möglich, die für Kühlanwendungen gespeichert werden kann. Schließlich sind auch Puffer- oder Redundanzspeicher in der Fernwärmeversorgung oder für Industrieprozesse möglich. Unterirdische thermische Energiespeicherung eignet sich besonders für die Speicherung größerer Wärme- oder Kältemengen über längere Zeiträume.

Diese Richtlinie wendet sich an planende und ausführende Unternehmen, an Komponentenhersteller (z.B. für Wärmepumpen, Rohrleitungen, Wärmedämmmaterialien usw.), an Behörden, an Energieberater und an Fachausbilder. Ihr Ziel ist es, vom erreichten Stand der Technik ausgehend eine korrekte Auslegung, geeignete Materialwahl und richtige Ausführung von Bohrungen, Installation und Systemeinbindung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrunds sicherzustellen. Damit können wirtschaftlich und technisch zufriedenstellende Anlagen gewährleistet werden, die auch bei langfristigem Betrieb störungsfrei und ohne Umweltbeeinträchtigung arbeiten.

Die Richtlinienreihe VDI 4640 besteht aus vier Blättern:

Blatt 1 Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

Blatt 2 Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

Blatt 3 Unterirdische thermische Energiespeicher

Blatt 4 Direkte Nutzungen

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/4640.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinienreihe VDI 4640 bezieht sich auf die thermische Nutzung des Untergrunds bis etwa 400 m Tiefe. Folgende Anwendungsfälle werden in der Richtlinie behandelt:

Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (siehe VDI 4640 Blatt 2)

- Wärmepumpenanlagen zum Heizen
- Wärmepumpenanlagen zum Heizen und Kühlen

Anmerkung: Im Kühlbetrieb kann die Kühlung über die Wärmepumpe und/oder direkt aus dem Untergrund unter Umgehung der Wärmepumpe erfolgen.

- Kältemaschinen zum Kühlen

waste heat that would be lost otherwise, can be stored and used later. The same is possible for “environmental cold”, which can be stored for cooling applications. Finally, buffer or redundancy storage is also applicable in district heating systems or industrial processes. Underground thermal energy storage is especially suitable for storing large quantities of heat or cold over longer periods of time.

This guideline is addressed to planning and construction companies, component manufacturers (e.g. for heat pumps, pipes, insulation materials, etc), public authorities, energy consultants and technical training organisations. Its aim is to ensure appropriate design based on state of the art technology, suitable selection of materials and correct execution of drillings, installation and integration of facilities into systems for the thermal utilisation of the underground. In this way, economically and technically satisfactory facilities can be guaranteed that operate for long periods without disruption and without adverse environmental impact.

The guideline series VDI 4640 consists of four parts:

Part 1 Fundamentals, approvals, environmental aspects

Part 2 Ground source heat pump systems

Part 3 Underground thermal energy storage

Part 4 Direct uses

A catalogue of all available parts of this guideline series can be accessed on the internet at www.vdi.de/4640.

1 Scope

Guideline series VDI 4640 deals with the thermal utilisation of the underground down to a depth of approximately 400 m. It discusses the following applications:

Ground source heat pump systems (see VDI 4640 Part 2)

- heat pump systems for heating
- heat pump systems for heating and cooling

Note: In cooling operation, the cooling can be achieved via the heat pump and/or directly from the underground by circumventing the heat pump.

- chillers for cooling

Es kommen Erdreichwärmeübertrager oder direkt das Grundwasser (siehe VDI 4640 Blatt 4) als Wärmeträger zum Einsatz:

- Als Erdreichwärmeübertrager sind Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und weitere spezielle Bauarten von Erdreichwärmeübertragern in Verwendung.
- Das Grundwasser kann über Brunnen, aber auch aus Bergwerken oder der Entwässerung von Tunnelbauwerken gefördert werden.

Unterirdische thermische Energiespeicher
(siehe VDI 4640 Blatt 3)

- Speicher zum Heizen
Als Wärmequelle kommen z.B. Solarthermie, Abwärme, Umweltwärme zum Einsatz.
- Speicher zum Kühlen
(Wärmesenke: „Umweltkälte“)
- Speicher zum Heizen und Kühlen
 - in Verbindung mit Wärmepumpen
 - ohne Wärmepumpen mit Nutzung von „Umweltkälte/-wärme“

Es kommen Erdreichwärmeübertrager oder direkt das Grundwasser als Wärmeträger (Aquiferspeicher) zum Einsatz.

Direkte Nutzungen (siehe VDI 4640 Blatt 4)

Eine Wärmepumpe oder ein Kälteaggregat werden nicht eingeschaltet bei:

- Kühlung mit Grundwasser
- Heizung mit Grundwasser
- Lufterwärmung/-kühlung im Untergrund

2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe:

Direktverdampfung

Direktverdampfung bedeutet, dass das Arbeitsmittel des Wärmepumpenkreislaufs direkt in Erdreichwärmeübertragern zirkuliert und dort Wärme aufnimmt.

Erdwärmekollektoren

Wärmeübertrager, die horizontal oder schräg in den oberen fünf Metern des Untergrunds eingebaut werden. Es kann sich dabei um einzelne Rohrstränge handeln, aber auch um parallele Rohrregister, spiral- oder schraubenförmige Rohrstränge, Rohrregister an Grabenwänden und ähnliche Anordnungen.

Erdwärmesonden

Wärmeübertrager, die vertikal oder schräg in den Untergrund eingebracht werden. Meist handelt es

Ground heat exchangers or the groundwater directly (see VDI 4640 Part 4) are used as heat transfer media:

- Ground heat collectors, borehole heat exchangers and other special ground heat exchanger designs are in use as ground heat exchangers.
- The groundwater can derive from wells, but also from mineshafts or from tunnel drainage.

Underground thermal energy storage
(see VDI 4640 Part 3)

- storage systems for heating
Solar energy, waste heat and environmental heat are examples for heat sources used.
- storage systems for cooling
(heat sink: “environmental cold”)
- storage systems for heating and cooling
 - in conjunction with heat pumps
 - without heat pumps, using “environmental cold/heat”

Ground heat exchangers or direct use of the groundwater as a heat transfer fluid (aquifer storage) are used.

Direct uses (see VDI 4640 Part 4)

A heat pump or a chiller is not used in:

- cooling with groundwater
- heating with groundwater
- air heating/cooling in the underground

2 Terms and definitions

For the purposes of this guideline, the following terms and definitions apply:

Direct expansion

Direct expansion means that the working fluid in the heat pump’s system circulates directly in ground heat exchangers and takes up heat there.

Ground heat collectors

These are heat exchangers installed horizontally or inclined in the top five metres of the underground. They can consist of single pipe runs or of parallel sets of pipes, spiral or helical pipe runs, parallel sets at the walls of trenches and similar arrangements.

Borehole heat exchangers

Heat exchangers installed vertically or inclined in the underground. Mostly these are U-shaped plas-

sich um Kunststoffrohre, die in Bohrlöcher eingebaut werden und entweder U-förmig oder konzentrisch als Innen- und Außenrohr ausgebildet sind; es können aber auch schraubenförmige Rohrwendel, Rohrbündel etc. eingesetzt werden. Der Wärmetransport innerhalb der Erdwärmesonden erfolgt meist durch das Umpumpen einer Wärmeträgerflüssigkeit. Erdwärmesonden, die nur dem Wärmeentzug aus dem Untergrund dienen, können auch nach dem Prinzip des Wärmerohrs (Heat Pipe) ausgebildet sein; hierbei verdampft ein Arbeitsmittel (z.B. Kohlenstoffdioxid (CO_2), Propan (C_3H_8) o.Ä.) im unteren Teil des Rohrs, steigt als Gas nach oben, gibt die aufgenommene Wärme unter Kondensation ab und fließt als Flüssigkeit wieder in den unteren Teil des Rohrs.

Erzeugeraufwandszahl (e_g)

Die Erzeugeraufwandszahl e_g gibt an, wie groß der in das System zu investierende Aufwand im Verhältnis zu dessen Nutzen ist, das heißt Primärenergiefaktor (PE)/Jahresarbeitszahl (JAZ).

Geothermische Energie (Erdwärme)

Die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde.

Grundwasserleiter

Als Grundwasserleiter wird der Bereich eines Locker- oder Festgesteinskörpers bezeichnet, der aufgrund seiner hydraulischen Eigenschaften dazu geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen, es zu speichern und weiterzuleiten.

Heizzahl (ζ)

Die Heizzahl ζ einer verbrennungsmotorisch angetriebenen Wärmepumpe oder einer mit Primärenergie betriebenen Absorptionswärmepumpe für einen bestimmten Arbeitspunkt ist das momentane Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener Brennstoffleistung, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang.

Jahresarbeitszahl (β_a , JAZ , SPF)

Die Jahresarbeitszahl β_a , JAZ einer Elektrowärmepumpe ist das Verhältnis aus jährlich gelieferter Wärme zu jährlich aufgenommener elektrischer Antriebsenergie, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang.

Jahresheizzahl (ζ_a)

Die Jahresheizzahl ζ_a einer verbrennungsmotorisch angetriebenen Wärmepumpe oder einer mit Primärenergie betriebenen Absorptionswärmepumpe ist der Quotient aus jährlich gelieferter Wärme zu jährlich aufgenommener Brennstoffenergie, bezogen auf einen bestimmten Anlagenumfang.

tic pipes installed in boreholes, or arranged concentrically as an inner and outer pipe. Alternatives include helical tubing, banks of tubes, etc. Heat transport within the borehole heat exchangers takes place mostly through the pumping of a working fluid. Borehole heat exchanger that serve only for heat extraction from the underground can also be designed according to the heat pipe principle; here a working fluid (e.g. carbon dioxide (CO_2), propane (C_3H_8) or similar) evaporates at the bottom of the pipe, rises as a gas to the top, gives off the absorbed heat during condensation and flows back as a liquid to the bottom of the pipe.

Expenditure factor (e_g)

The expenditure factor e_g is a measure of the ratio of the energy that needs to be invested in the system to its useful output, e.g. primary energy factor (PE)/seasonal performance factor (SPF).

Geothermal energy (ground heat)

Energy stored below the surface of the solid earth in the form of heat.

Aquifer

Aquifer refers to the region of an unconsolidated or consolidated rock that due to its hydraulic properties is suitable to transport and store groundwater.

Performance factor (ζ)

The performance factor ζ of a heat pump driven by a combustion engine or of an absorption heat pump using primary energy at a particular working point is the momentary ratio of the thermal output power to the fuel power consumed, referred to particular facility system boundaries.

Seasonal performance factor (β_a , SPF)

The seasonal performance factor β_a of an electric heat pump is the ratio of annual heat output to the annual consumed electric power, referred to particular system boundaries.

Annual performance factor (ζ_a)

The annual performance factor ζ_a of a heat pump driven by a combustion engine or of an absorption heat pump using primary energy is the ratio of annual heat output to the annual consumed fuel energy, referred to particular system boundaries.