ICS 27.010, 27.080, 27.200

VDI-RICHTLINIEN

Juni 2010
June 2010

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Thermische Nutzung des Untergrunds

Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

Thermal use of the underground

Fundamentals, approvals, environmental aspects

VDI 4640

Blatt 1 / Part 1

Ausg. 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

Vorbemerkung ... 2
Einleitung ... 2
1 Anwendungsbereich ... 3
2 Begriffe ... 4
3 Formelzeichen und Abkürzungen ... 6
4 Grundlagen ... 7
4.1 Wärmeregime im Untergrund ... 7
4.2 Grundsätzliches zur Anlagenauslegung ... 9
5 Erforderliche Genehmigungen ... 12
5.1 Wasserrecht ... 13
5.2 Bergrecht ... 17
5.3 Genehmigungspraxis in Österreich und der Schweiz ... 18
6 Sicherheitsaspekte der Wärmepumpe ... 20
7 Standortbewertung ... 20
7.1 Oberirdische Standortgegebenheiten ... 20
7.2 Unterirdische Standortgegebenheiten ... 21
8 Umweltaspekte ... 22
8.1 Primärenergiebedarf und CO_2-Emissionen ... 23
8.2 Einfluss von Wärmepumpen-Arbeitsmitteln ... 25
8.3 Mögliche Auswirkungen bei thermischer Nutzung des Untergrunds ... 25
8.4 Umweltschutz bei Bohrarbeiten ... 28
9 Umweltgerechte Materialauswahl für Einbauten im Untergrund ... 29
9.1 Materialien für Brunnen, Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und Rohre ... 29
9.2 Wärmeträgermedien in Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden ... 29
9.3 Wärmepumpen-Arbeitsmittel für Direktverdampfung ... 30
Schrifttum ... 31

Contents Page

Preliminary note ... 2
Introduction ... 2
1 Scope ... 3
2 Terms and definitions ... 4
3 Symbols and abbreviations ... 6
4 Principles ... 7
4.1 Underground heat regime ... 7
4.2 Principles of system design ... 9
5 Required approvals ... 12
5.1 Water law ... 13
5.2 Mining law ... 17
5.3 Approval practices in Austria and Switzerland ... 18
6 Safety aspects of heat pumps ... 20
7 Site evaluation ... 20
7.1 Above-ground site conditions ... 20
7.2 Underground site conditions ... 21
8 Environmental aspects ... 22
8.1 Primary energy requirements and CO_2 emissions ... 23
8.2 The impact of heat pump working fluids ... 25
8.3 Possible impacts of thermal use of the underground ... 25
8.4 Environmental protection during drilling works ... 28
9 Environmentally-compliant material choice for underground installations ... 29
9.1 Materials used in wells, ground heat collectors, borehole heat exchangers and pipes ... 29
9.2 Heat transfer media in ground heat collectors and borehole heat exchangers ... 29
9.3 Heat pump working fluids for direct expansion ... 30
Bibliography ... 31

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
Fachbereich Energiewandlung und -anwendung

VDI-Handbuch Energietechnik
VDI-Handbuch Ressourcenmanagement in der Umwelttechnik

Frühere Ausgaben: 12.00, 06.08 Entwurf, deutsch
Former editions: 12/00, 06/08 Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2010

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2010

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.

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.

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.)

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

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2010

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.

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 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

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

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2010

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

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