

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Thermische Nutzung des Untergrundes  
Direkte Nutzungen  
Thermal use of the underground  
Direct uses

VDI 4640

Blatt 4 / Part 4

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     | Contents   | Page      |
|---|-----------|--|-----------|
| Vorbemerkung . . . . .  | 2         | Preliminary note . . . . .   | 2         |
| <b>1 Geltungsbereich . . . . .</b>  | <b>3</b>  | <b>1 Scope . . . . .</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2 Abkürzungen und Definitionen . . . . .</b>   | <b>4</b>  | <b>2 Abbreviations and definitions . . . . .</b>   | <b>4</b>  |
| 2.1 Abkürzungen . . . . .   | 4         | 2.1 Abbreviations . . . . .  | 4         |
| 2.2 Formelzeichen und Indizes . . . . .   | 5         | 2.2 Symbols and subscripts . . . . .   | 5         |
| 2.3 Definitionen für Luft-Erdwärmetauscher . . . . .  | 5         | 2.3 Definitions for earth-air heat exchangers . . . . .  | 5         |
| <b>3 Direkte thermische Nutzung des Grundwassers . . . . .</b>                                      | <b>6</b>  | <b>3 Direct thermal use of ground water . . . . .</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1 Systembeschreibung . . . . .  | 6         | 3.1 System description . . . . .   | 6         |
| 3.2 Umwelteinfluss und besondere wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Aspekte . . . . .       | 8         | 3.2 Environmental influence and special aspects relating to water management and water legislation . . . . . | 8         |
| 3.2.1 Umweltauswirkungen . . . . .  | 8         | 3.2.1 Environmental effects . . . . .  | 8         |
| 3.2.2 Wasserwirtschaftliche Zielsetzungen . . . . .   | 9         | 3.2.2 Water management objectives . . . . .  | 9         |
| 3.2.3 Wasserrechtliche Aspekte . . . . .  | 10        | 3.2.3 Water legislation aspects . . . . .  | 10        |
| 3.3 Auslegung . . . . .   | 10        | 3.3 Design . . . . .   | 10        |
| 3.3.1 Hydraulische Parameter . . . . .  | 10        | 3.3.1 Hydraulic parameters . . . . .   | 10        |
| 3.3.2 Hydrochemische Parameter . . . . .  | 11        | 3.3.2 Hydrochemical parameters . . . . .   | 11        |
| 3.3.3 Installation . . . . .  | 11        | 3.3.3 Installation . . . . .   | 11        |
| 3.3.4 Rückbau . . . . .   | 12        | 3.3.4 Dismantling . . . . .  | 12        |
| <b>4 Direkte thermische Nutzung des Untergrunds mit Erdwärmesonden, Energiepfählen etc. . . . .</b> | <b>12</b> | <b>4 Direct thermal use of the underground with borehole heat exchangers, energy piles, etc. . . . .</b>     | <b>12</b> |
| 4.1 Systembeschreibung . . . . .  | 12        | 4.1 System description . . . . .   | 12        |
| 4.2 Umweltaspekte und wasserrechtliche Fragestellungen . . . . .                                    | 14        | 4.2 Environmental aspects and questions relating to water legislation . . . . .                              | 14        |
| 4.3 Bau und Installation inklusive Rückbau . . . . .  | 14        | 4.3 Construction and installation including dismantling . . . . .  | 14        |
| <b>5 Luftherwärmung/-kühlung im Untergrund . . . . .</b>  | <b>16</b> | <b>5 Air heating or cooling in the underground . . . . .</b>   | <b>16</b> |
| 5.1 Systembeschreibung . . . . .  | 17        | 5.1 System description . . . . .   | 17        |
| 5.2 Umweltaspekte . . . . .   | 18        | 5.2 Environmental aspects . . . . .  | 18        |
| 5.3 Lufthygiene . . . . .   | 20        | 5.3 Air hygiene . . . . .  | 20        |

VDI-Gesellschaft Energietechnik

Fachausschuss „Regenerative Energien“ (FA-RE)

VDI-Handbuch Energietechnik

5.4 Auslegung . . . . . 21  
 5.4.1 Grundlagen der Auslegung . . . . . 24  
 5.4.2 Auslegung kleiner Anlagen für Wohngebäude bei Volumenströmen bis 1000 m<sup>3</sup>/h . . . . . 28  
 5.4.3 Auslegung großer Anlagen für Volumenströme größer 1000 m<sup>3</sup>/h . . . . . 31  
 5.5 Installation, Materialauswahl, Rückbau . . . . . 32  
 5.5.1 Installation . . . . . 32  
 5.5.2 Material . . . . . 33  
 5.5.3 Rückbau . . . . . 34  
 5.6 Regelung . . . . . 34  
 5.7 Wirtschaftlichkeit . . . . . 36  
 5.7.1 Wirtschaftliche Berechnungen . . . . . 36  
 5.7.2 Verbrauchsgebundene Kosten . . . . . 37  
 5.7.3 Kapitalkosten/Investitionskosten . . . . . 37  
 5.7.4 Wartungskosten . . . . . 38  
**Anhang** Zugehörige Normen, Richtlinien, Vorschriften usw. . . . . 39

5.4 Design . . . . . 21  
 5.4.1 Fundamentals of design . . . . . 24  
 5.4.2 Design of small plants for residential buildings with flow rates up to 1000 m<sup>3</sup>/h . . . . . 28  
 5.4.3 Design of large plants for flow rates over 1000 m<sup>3</sup>/h . . . . . 31  
 5.5 Installation, selection of materials, dismantling . . . . . 32  
 5.5.1 Installation . . . . . 32  
 5.5.2 Material . . . . . 33  
 5.5.3 Dismantling . . . . . 34  
 5.6 Control strategies . . . . . 34  
 5.7 Economic efficiency . . . . . 36  
 5.7.1 Economic calculations . . . . . 36  
 5.7.2 Operational costs . . . . . 37  
 5.7.3 Capital costs and investment costs . . . . . 37  
 5.7.4 Maintenance costs . . . . . 38  
**Annex** Associated standards, guidelines, regulations, etc. . . . . 39

**Vorbemerkung**

Der Untergrund kann als Wärmequelle, Kältequelle 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 bzw. 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 einigen 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. Sie stoßen in Deutschland auf großes Interesse. Gründe dafür sind sicherlich, dass die Wärmepumpe bezüglich des Primärenergiebedarfs beim gegenwärtigen Stand der Technik mit realisierbaren Einsparungen von 30 % bis 45 % gegenüber dem Ölkessel und 20 % bis 35 % im Vergleich zum Gasbrennwertkessel die effizientere Technik darstellt. Des Weiteren entstehen durch den Einsatz der Elektro-Wärmepumpen im Gegensatz zur Öl- und Gasheizung die Schadstoffemissionen nicht vor Ort, sondern im Wesentlichen in modernen, mit aufwändigen Abgasreinigungsanlagen ausgerüsteten Kraftwerken. Dadurch wird ein wesentlicher Beitrag zur Senkung der Immissionen in dicht bebauten Wohngebieten geleistet.

**Preliminary note**

The subsurface zone can be used as a source of heat or cold, and it can also be used for the storage of thermal energy. Because of the large volume of space available for development and also because of the uniform temperature level, this zone is well suited for many applications in the low-temperature range.

Environmental heat and ground heat is extracted from the subsurface by means of horizontally or vertically arranged geothermal heat exchanger systems or by pumping up groundwater and is used for heating purposes (most often via heat pumps). In addition to space heating, such heat pump systems can also be used to cool down spaces. Some systems already provide direct cooling from the ground in the summer months without using a heat pump.

Ground-coupled heat pumps are in wide use in North America and Europe. They are attracting great interest in Germany. The reasons for this are clear: Given the present state of the art, in terms of the primary energy requirement the heat pump is the more efficient technology – it can operate 30 % to 45 % more cheaply than an oil-fired boiler and 20 % to 35 % more cheaply than a gas-fired boiler. In addition, in contrast to oil and gas-fired systems, the use of electric-powered heat pumps does not generate the emission of pollutants on site but mainly in modern power plants which are equipped with sophisticated waste gas cleaning facilities. This makes a significant contribution to the reduction of immissions in heavily built-up areas.

Der Untergrund kann auch als thermischer Speicher zur Heizung bzw. Kühlung dienen. Wärme aus regenerativen Quellen (Sonne, Erdwärme und Ähnliches) oder Abwärme, die ansonsten 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.

Die Richtlinie wendet sich an planende und ausführende Unternehmen, an Komponenten-Hersteller (z. B. für Wärmepumpen, Rohrleitungen, Wärmedämmmaterialien usw.), an Genehmigungsbehörden, 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 Untergrundes sicherzustellen. Damit können wirtschaftlich und technisch zufriedenstellende Anlagen gewährleistet werden, die auch bei langfristigem Betrieb störungsfrei und ohne Umweltbeeinträchtigung arbeiten.

Die Richtlinie VDI 4640 besteht aus vier Blättern:

Blatt 1 Definitionen, Genehmigungen, Umweltaspekte

Blatt 2 Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

Blatt 3 Unterirdische thermische Energiespeicher

**Blatt 4** Direkte Nutzungen

## 1 Geltungsbereich

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

*Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen* (siehe Blatt 2)

- a) Wärmepumpenanlagen zum Heizen
- b) 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.

- c) Kältemaschinen zum Kühlen

The ground can also be used as a thermal storage zone for heating or cooling. Heat from regenerative sources (sun, geothermal energy, and similar) or waste heat which would otherwise be lost, can be stored and used at a later time. The same can also be done with environmental cold which can be stored for cooling purposes. Finally, it is also possible to create buffer or redundant storage capacity in district heating systems or for industrial processes. Underground thermal energy storage is particularly suitable for storing large quantities of heat and cold over long periods of time.

The guideline is intended for planning and construction firms, manufacturers of components (e. g. for heat pumps, piping, thermal insulation materials, etc), licensing authorities, energy consultants and for persons providing instruction/training in this field. Proceeding from the current state of the art, the goal of the guideline is to ensure correct design, suitable choice of materials, and correct production of boreholes for Underground Thermal Energy Storage (UTES) systems as well as their proper installation and incorporation into energy supply facilities. This will ensure that these systems operate trouble-free in an economically and technically satisfactory manner, also over long periods of time, without having a negative impact on the environment.

Guideline VDI 4640 consists of four parts:

Part 1 Definitions, licenses, environmental aspects

Part 2 Ground-coupled heat pump systems

Part 3 Underground Thermal Energy Storage (UTES)

**Part 4** Direct uses

## 1 Scope

Guideline VDI 4640 relates to the thermal use of the subsurface down to a depth of approx. 400 m. The following applications are dealt with in the guideline:

*Ground-coupled heat pump systems* (see Part 2)

- a) Heat pump systems for heating purposes
- b) Heat pump systems for heating and cooling purposes

**Note:** In cooling mode, the cooling can be accomplished via the heat pump and/or directly from the subsurface, thus bypassing the heat pump

- c) Chilling equipment for cooling purposes

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

- Als Erdreichwärmeübertrager sind Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und weitere spezielle Erdreichwärmeübertragerbauarten in Verwendung.
- Das Grundwasser kann über Brunnen aus Aquifere, aber auch aus Gruben oder der Entwässerung von Tunnelbauwerken stammen.

*Unterirdische thermische Energiespeicher* (siehe Blatt 3)

a) Speicher zum Heizen

Als Wärmequelle kommen zum Einsatz z. B. Solarthermie, Abwärme, Umweltwärme.

b) Speicher zum Kühlen (Kältequelle: Umweltkälte)

c) 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 Blatt 4)

Eine Wärmepumpe oder Kälteaggregat wird hier nicht eingeschaltet:

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

**2 Abkürzungen und Definitionen**

**2.1 Abkürzungen**

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| AB    | Abluft vom Raum                     |
| AU    | Außenluft (identisch Umgebungsluft) |
| FO    | Fortluft                            |
| L-EWT | Luft-Erdwärmetauscher               |
| RLT   | Raumlufttechnik                     |
| WRG   | Wärmerückgewinnung                  |
| ZU    | Zuluft                              |

The heat is transported via ground heat exchangers or directly by the groundwater (see Part 4):

- The types of ground heat exchanger used are: ground heat collectors, ground source heat exchangers and other special types of ground heat transfer system
- The groundwater can be taken via wells from aquifers, but also from mines or from the drainage of tunnel works

*UTES systems* (see Part 3)

a) Storage systems for heating purposes

Possible heat sources are: solar heating, waste heat, environmental heat.

b) Storage systems for cooling purposes (cold source: environmental cold)

c) Storage systems for heating and cooling purposes

- combined with heat pumps
- without heat pumps, using environmental cold/heat

The heat is transported via ground heat exchangers or directly by the groundwater (aquifer storage).

*Direct uses* (see Part 4)

No heat pump or cooling/chilling unit is used in these cases:

- Cooling with groundwater
- Heating with groundwater
- Heating/cooling air below the ground

**2 Abbreviations and definitions**

**2.1 Abbreviations**

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| AB    | Exhaust air from room             |
| AU    | Outside air (same as ambient air) |
| FO    | Exhaust air                       |
| L-EWT | Earth-air heat exchanger          |
| RLT   | Ventilation and air-conditioning  |
| WRG   | Heat recovery                     |
| ZU    | Supply air                        |