

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Thermische Nutzung des Untergrunds  
Thermal-Response-Test (TRT)  
Thermal use of the underground  
Thermal response test (TRT)

VDI 4640  
Blatt 5 / Part 5

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard 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
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>3</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Begriffe .....</b>	<b>3</b>	<b>3 Terms and definitions .....</b>	<b>3</b>
<b>4 Formelzeichen und Abkürzungen .....</b>	<b>4</b>	<b>4 Symbols and abbreviations .....</b>	<b>4</b>
<b>5 Thermal-Response-Test .....</b>	<b>6</b>	<b>5 Thermal response test .....</b>	<b>6</b>
5.1 Grundlage.....	6	5.1 Basis .....	6
5.2 Theoretischer Hintergrund.....	7	5.2 Theoretical background.....	7
<b>6 Praktische Durchführung.....</b>	<b>12</b>	<b>6 Practical implementation .....</b>	<b>12</b>
6.1 TRT-Gerät und Aufbau.....	12	6.1 TRT equipment and set-up .....	12
6.2 Anforderungen an Sensoren und Messdatenerfassung .....	15	6.2 Demands on sensors and measurement data acquisition .....	15
6.3 Durchführung eines Thermal- Response-Tests .....	18	6.3 Implementation of a thermal response test.....	18
<b>7 Auswertung und Dokumentation.....</b>	<b>24</b>	<b>7 Evaluation and documentation.....</b>	<b>24</b>
7.1 Auswertung der Messdaten nach der Linienquellentheorie .....	24	7.1 Evaluation of measurement data based on the line source theory.....	24
7.2 Hinweis auf andere Auswerteverfahren ...	34	7.2 Note on other evaluation methods .....	34
7.3 Korrekter Umgang mit den Ergebnissen..	35	7.3 Correct treatment of results.....	35
7.4 Dokumentation der Ergebnisse .....	37	7.4 Documentation of the results .....	37
<b>8 Erweiterte Methoden und ergänzende Messungen zum Thermal-Response-Test ....</b>	<b>38</b>	<b>8 Extended methods and measurements supplementing the thermal response test....</b>	<b>38</b>
8.1 Messung tiefenaufgelöster Temperaturprofile .....	39	8.1 Measurement of depth-resolved temperature profiles.....	39
8.2 Tiefenaufgelöster Thermal-Response- Test.....	43	8.2 Depth-resolved Thermal response test.....	43
8.3 Test zum Ausschluss vertikaler Durchlässigkeit im Bohrlochringraum....	44	8.3 Test for exclusion of vertical permeability in the borehole annular space.....	44
8.4 Test zur Bestimmung der tatsächlichen Sondenlänge .....	44	8.4 Test for determination of actual heat exchanger length.....	44
8.5 Mehrfachpulstest.....	47	8.5 Multiple pulse test.....	47
<b>Anhang A Beispiel eines Fragebogens zu Standortdaten.....</b>	<b>52</b>	<b>Annex A Sample site data questionnaire .....</b>	<b>55</b>
<b>Anhang B Anforderungen an den Messbericht....</b>	<b>58</b>	<b>Annex B Demands on measurement report.....</b>	<b>61</b>
Schrifttum .....	64	Bibliography .....	64

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)  
Fachbereich Energietechnik

VDI-Handbuch Energietechnik

## 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 Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

## Einleitung

Die möglichst genaue Kenntnis des Untergrunds und seiner thermischen Eigenschaften ist eine wichtige Voraussetzung für eine detaillierte Auslegung von Erdwärmesondenanlagen als Wärmequelle, Wärmesenke oder als Wärmespeicher (siehe VDI 4640 Blatt 2 und Blatt 3). Ein In-situ-Messverfahren, genannt „Thermal-Response-Test“ (TRT) bzw. „Geothermal-Response-Test“ (GRT), ermöglicht eine derartige Standortuntersuchung.

Die Richtlinie behandelt die theoretischen Grundlagen, den experimentellen Aufbau einer Messanlage, die Durchführung der Messung und die Auswertung eines Thermal-Response-Tests. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem theoretischen Ansatz der Linienquelle. Darüber hinaus wird auch auf zusätzliche Messungen eingegangen, mit denen vertiefte Erkenntnisse über den Untergrund gewonnen werden können. Intention der Richtlinie ist es, ein zuverlässiges Verfahren anzugeben, mit dem konkrete Werte der thermischen Untergrundparameter für die Auslegung gewonnen werden können.

Dabei werden die effektive Wärmeleitfähigkeit des Gesteins über die gesamte Länge einer Sonde und der thermische Bohrlochwiderstand (der Wärmedurchgangswiderstand der Erdwärmesonde vom Fluid an das Gestein unter Testbedingungen) ermittelt (siehe Abschnitt 7.3).

Prinzipiell kann dieses Messverfahren auf unterschiedliche Konstruktionen von geothermischen Wärmeübertragern angewandt werden. Diese Richtlinie behandelt ausschließlich das Verfahren für Erdwärmesonden. Für den Einsatz bei anderen Geothermie-Wärmeübertragern, z.B. Energiepfähle, Erdwärmekollektoren, sind dafür geeignete Messaufbauten, Betriebsweisen und Auswerteverfahren notwendig, die hier nicht betrachtet werden.

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard 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 standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

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

## Introduction

The most accurate possible knowledge of the underground and its thermal properties is an important prerequisite for the detailed design of borehole heat exchanger systems as heat source, heat sink or heat reservoir (see VDI 4640 Part 2 and Part 3). An in-situ measuring method called thermal response test (TRT) or geothermal response Test (GRT) enables such a site investigation.

This standard deals with the theoretical principles, the experimental set-up of a measuring system, the performance of measurements, and the evaluation of a thermal response test. Emphasis is placed on the theoretical approach of the line source model. In addition, further measurements are discussed which enable gaining a deeper knowledge of the underground. The intention of the standard is to outline a reliable procedure with which concrete values for underground thermal parameters can be obtained for design purposes.

The effective thermal conductivity of the ground over the entire length of a heat exchanger as well as the borehole thermal resistance (the heat transfer resistance from fluid to formation around the ground heat exchanger under test conditions) are determined (see Section 7.3).

In principle, this measuring procedure can be applied to different geothermal heat exchanger types. This standard deals exclusively with the method as applied to borehole heat exchangers. For use with other geothermal heat exchangers, for example energy piles or ground heat collectors, suitable measuring set-ups, operating modes and evaluation procedures are required, which are not considered here.

Als Ergebnis des TRT erhält man keine spezifischen Entzugsleistungen, sondern Werte der thermischen Eigenschaften des Untergrunds und des getesteten Geothermie-Wärmeübertragers (hier: Erdwärmesonde).

Diese sind Eingangsgrößen für entsprechende Auslegungsverfahren zur Bestimmung zulässiger Entzugsleistungen und Entzugsarbeiten bzw. Wärmeintragsleistungen und -arbeiten. In erster Linie werden die mit einem TRT ermittelten Größen zur Auslegung von Anlagen verwendet. Unter bestimmten Voraussetzungen kann dieses Verfahren aber auch zur Abnahme, zur Betriebsüberwachung oder zur Fehlersuche eingesetzt werden.

Die Richtlinienreihe VDI 4640 besteht zurzeit aus folgenden Blättern:

Blatt 1 Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

Blatt 2 Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

Blatt 3 Unterirdische thermische Energiespeicher

Blatt 4 Direkte Nutzungen

**Blatt 5** Thermal-Response-Test (TRT)

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/4640](http://www.vdi.de/4640).

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschreibt ein Messverfahren zur Ermittlung von thermischen Eigenschaften des Untergrunds und der Wärmeübertragungseigenschaften des im Untergrund eingebauten Wärmeübertragers im Falle von Erdwärmesonden. Diese Größen dienen als Grundlage und Eingabegrößen für die Auslegung einer derartigen Anlage.

Specific heat extraction values are not obtained from the TRT, but rather values for the thermal properties of the underground and of the tested geothermal heat exchanger (here: borehole heat exchanger).

These values are input variables for appropriate design procedures used to determine permissible heat extraction/extraction energy values and heat input/input energy values. The variables ascertained with a TRT primarily are used to design systems. Under certain conditions, though, this method also can be employed for acceptance testing, operational monitoring or troubleshooting.

The series of standards VDI 4640 consists at the moment of following parts:

Part 1 Fundamentals, approvals, environmental aspects

Part 2 Ground source heat pump systems

Part 3 Underground thermal energy storage

Part 4 Direct uses

**Part 5** Thermal response test (TRT)

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/4640](http://www.vdi.de/4640).

## 1 Scope

This standard describes a measuring method for determining thermal properties of the underground and the heat transfer characteristics of the heat exchanger installed in the underground in the specific case of borehole heat exchangers. These variables serve as basis and input variables for system design.