

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURETerahertzsysteme  
Zeitbereichsspektrometer (TDS-Systeme)  
Terahertz systems  
Time domain spectroscopy (TDS) systems

VDI/VDE 5590

Blatt 2 / Part 2

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 Funktionsbeschreibung der Zeitbereichsspektrometer, Aufbau und Systemkomponenten</b> .....	<b>5</b>	<b>5 Functional description of the time domain spectrometers, structure, and system components</b> .....	<b>5</b>
5.1 Funktionsweise von Sendern .....	6	5.1 Functionality of transmitters.....	6
5.2 Funktionsweise von Empfängern.....	9	5.2 Functionality of receivers .....	9
5.3 Möglichkeiten der Zeitbereichserfassung (Abtast- Messverfahren) .....	11	5.3 Possibilities of time-domain acquisition (sampling measurement method).....	11
5.4 Datenerfassung und -auswertung .....	16	5.4 Data acquisition and processing .....	16
<b>6 Messvorschrift/spezifische Definition von Begriffen</b> .....	<b>16</b>	<b>6 Measurement rule/specific definition of terms</b> .....	<b>16</b>
6.1 Impulsverlauf und Spektrum.....	17	6.1 Waveform and spectrum.....	17
6.2 Signal-Rausch-Verhältnis und Dynamikbereich.....	20	6.2 Signal-to-noise ratio and dynamic range .....	20
6.3 Linearität.....	23	6.3 Linearity.....	23
6.4 Leistungsmessung.....	23	6.4 Power measurement.....	23
<b>7 Anwendungen der Terahertz- Zeitbereichsspektrometer</b> .....	<b>24</b>	<b>7 Applications of terahertz time-domain spectrometers</b> .....	<b>24</b>
7.1 Spektroskopie.....	24	7.1 Spectroscopy.....	24
7.2 Schichtdickenmesstechnik .....	26	7.2 Coating thickness measurement.....	26
7.3 Bildgebung .....	28	7.3 Imaging.....	28
7.4 Messungen im Nahfeld .....	29	7.4 Measurements in the near field.....	29
<b>8 Terahertzoptiken</b> .....	<b>30</b>	<b>8 Terahertz optics</b> .....	<b>30</b>
8.1 Messungen in Transmissionskonfigurationen .....	31	8.1 Measurements in transmission configuration.....	31
8.2 Messungen in Reflexionskonfigurationen.....	32	8.2 Measurements in reflection configuration.....	32
8.3 Messungen des Polarisationszustands.....	34	8.3 Polarisation state measurements .....	34
Schrifttum .....	36	Bibliography .....	36

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Optische Technologien

VDI/VDE-Handbuch Optische Technologien

## 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.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/5590](http://www.vdi.de/5590).

## Einleitung

Im Mittelpunkt dieser Richtlinie stehen Terahertz-Zeitbereichsspektrometer, auch Terahertz-TDS-Systeme genannt. Das sind aktive Systeme und sie nutzen verschiedene Techniken sowohl zur Erzeugung als auch zur zeitaufgelösten Messung von breitbandigen Terahertzpulsen. Die dazugehörigen Terahertz-Amplituden- und -Phasenspektren werden nach einer zeitlichen Abtastung über eine Fouriertransformation berechnet.

In dieser Richtlinie wird ein Überblick über die Funktionsweisen von Zeitbereichsspektrometern gegeben, die eingesetzten Messverfahren werden näher erläutert sowie die benötigten Begriffe und Kenngrößen definiert. Die Richtlinie konzentriert sich dabei auf Systeme, die auf sogenannten Abtast-Messverfahren (Sampling-Messverfahren) basieren. Bei diesen Abtastverfahren wird durch das zeitliche Triggern des Empfängers der Verlauf des Impulses innerhalb eines gewünschten Zeitintervalls diskret abgetastet. In der Regel erfolgt die Abtastung über mehrere aufeinanderfolgende Impulse hinweg. Das Abtastverhalten sowie die benötigten Verzögerungen der Abfragezeitpunkte in Bezug zu den erzeugten Impulsen kann durch mechanische, elektrische oder optische Methoden bestimmt werden. Elektrische und optische Verzögerungsmethoden ermöglichen hierbei hohe Messgeschwindigkeiten. Mechanische Methoden erreichen im Vergleich zu elektrischen und optischen eine höhere Genauigkeit, die allerdings mit einer geringen Abtastgeschwindigkeit einhergeht. In Abschnitt 5 werden die unterschiedlichen Methoden im Einzelnen detailliert vorgestellt.

## 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.

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/5590](http://www.vdi.de/5590).

## Introduction

This standard focuses on terahertz time-domain spectrometers, also called terahertz TDS systems. These are active systems and they use various techniques for both the generation and time-resolved measurement of broadband terahertz pulses. The associated terahertz amplitude and phase spectra are calculated after temporal sampling via a Fourier transform.

This standard provides an overview of the functions of time-domain spectrometers, explains the measurement methods used in more detail, and defines the necessary terms and parameters. The standard concentrates on measurement systems that are based on so-called sampling measurement methods. With these sampling methods, the waveform of the pulse is discretely sampled within the desired time interval by temporally triggering the receiver. Usually, the sampling takes place over several successive pulses. The sampling behaviour as well as the required delays of the sampling times in relation to the generated pulses can be determined by mechanical, electrical, or optical methods. Electrical and optical delay methods allow high measurement speeds. Compared to electrical and optical methods, mechanical methods achieve a higher accuracy, which, however, goes hand in hand with a low sampling speed. Section 5 presents the different methods in detail.

Neben den Abtast-Messverfahren gibt es auch sogenannte Echtzeit- oder Einzelimpuls-Messverfahren, die in dieser Richtlinie nicht betrachtet werden. Auch Verfahren zur zeitaufgelösten Messung der Impulsleistung, die beispielsweise mit Schottky-Dioden arbeiten, werden hier nicht vorgestellt.

Das Prinzip der Zeitbereichsspektroskopie unterscheidet sich klar von Messungen mit sogenannten Frequenzbereichs-Messverfahren. Diese gewinnen das Spektrum durch die Verwendung schmalbandiger Terahertzstrahlung, deren Frequenz während der Messung durchgestimmt wird, wie bei aktiven CW- und FMCW-Spektrometern. Für diese Messverfahren ist ein weiteres Blatt der Richtlinienreihe VDI/VDE 5590 geplant. Die unterschiedlichen Terahertz-Messverfahren werden im VDI-Statusreport „Terahertzsysteme und Anwendungsfelder“ mit ihren typischen Anwendungsfeldern vorgestellt [1].

Kommerziell erhältliche Terahertz-Zeitbereichsspektrometer sind vorrangig fasergebunden realisiert, um die Anforderungen an Robustheit, Flexibilität, Kosten, Kompaktheit und Strahlenschutz zu optimieren.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie definiert Kenngrößen und Messverfahren, um Terahertzsysteme für die Zeitbereichsspektroskopie zu spezifizieren. Hiermit können Hersteller ihre Systeme übereinstimmend beschreiben und anwendende Personen Systeme einfacher vergleichen.

In addition to the sampling measurement methods, there are also so-called real-time or single-pulse measurement methods, which are not considered in this standard. Methods for time-resolved measurement of pulse power, which work with Schottky diodes, for example, are also not presented here.

The principle of time-domain spectroscopy is different from measurements with so-called frequency-domain measurement methods. These obtain the spectrum by using narrowband terahertz radiation whose frequency is tuned during the measurement, as in active CW and FMCW spectrometers. A further Part of the series of standards VDI/VDE 5590 is planned for these measurement methods. The different terahertz measurement methods are presented in the VDI Status Report “Terahertzsysteme und Anwendungsfelder” with their typical fields of application [1].

Commercially available terahertz time-domain spectrometers are primarily fibre-based to optimise the requirements for robustness, flexibility, cost, compactness, and radiation protection.

## 1 Scope

This standard defines parameters and measurement methods to specify terahertz systems for time-domain spectroscopy. This allows manufacturers to describe their systems consistently and users to compare systems more easily.