

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Umweltmeteorologie  
Meteorologische Messungen  
Strahlung

VDI 3786  
Blatt 5 / Part 5

Environmental meteorology  
Meteorological measurements  
Radiation

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.*

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung.....	2
Einleitung.....	2
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes.....</b>	<b>9</b>
<b>5 Standortwahl und Aufstellung.....</b>	<b>11</b>
<b>6 Messgeräte.....</b>	<b>12</b>
6.1 Pyrheliometer.....	13
6.2 Pyranometer.....	16
6.3 Pyrgeometer.....	18
6.4 Strahlungsbilanzmesser.....	20
6.5 Spektralradiometer.....	22
6.6 Messung der Sonnenscheindauer.....	24
6.7 Zusatzeinrichtungen.....	27
6.8 Lichttechnische Messgeräte.....	28
<b>7 Durchführung der Messung, Überprüfung und Wartung.....</b>	<b>29</b>
7.1 Installation von Strahlungsmessgeräten.....	29
7.2 Kalibrierung von Strahlungsmessgeräten.....	29
7.3 Überprüfen und Warten.....	31
7.4 Prüfung der Datenqualität.....	32
<b>8 Messaufgaben und Auswerteverfahren.....</b>	<b>34</b>
8.1 Zeitlich hoch aufgelöste Messungen – Tagesgang.....	35
8.2 Klimatologische Strahlungsauswertung.....	35
8.3 Strahlung auf geneigte Flächen.....	35
8.4 Aerosoptische Dicke als integrale Größe über die Säule.....	37
8.5 Strahlungstemperatur.....	38
8.6 Sonnenscheindauer.....	39
<b>9 Verfahrenskenngrößen und technische Daten.....</b>	<b>39</b>
9.1 Verfahrenskenngrößen.....	39
9.2 Störeinflüsse.....	41
<b>Anhang</b> Berechnungsansätze für Strahlungsbilanzmessgeräte mit zwei Thermosäulen und PE-Haube.....	42
Schrifttum.....	43
Benennungsindex englisch – deutsch.....	46

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative references.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Symbols, abbreviations and indices.....</b>	<b>9</b>
<b>5 Site selection and installation.....</b>	<b>11</b>
<b>6 Measuring equipment.....</b>	<b>12</b>
6.1 Pyrheliometer.....	13
6.2 Pyranometer.....	16
6.3 Pyrgeometer.....	18
6.4 Net radiation meter.....	20
6.5 Spectral radiometer.....	22
6.6 Measurement of sunshine duration.....	24
6.7 Supplementary equipment.....	27
6.8 Optical instruments.....	28
<b>7 Performing the measurement, checking and servicing.....</b>	<b>29</b>
7.1 Installation of radiation measuring equipment.....	29
7.2 Calibration of radiation measuring equipment.....	29
7.3 Checking and servicing.....	31
7.4 Verifying data quality.....	32
<b>8 Measurement tasks and evaluation methods.....</b>	<b>34</b>
8.1 Measurements with high temporal resolution – daily plot.....	35
8.2 Climatological radiation analysis.....	35
8.3 Radiation on tilted surfaces.....	35
8.4 Aerosol optical depth as integral quantity over the column.....	37
8.5 Radiation temperature.....	38
8.6 Sunshine duration.....	39
<b>9 Performance characteristics and technical data.....</b>	<b>39</b>
9.1 Performance characteristics.....	39
9.2 Interfering effects.....	41
<b>Annex</b> Calculation methods for net radiation meters with two thermopiles and a PE dome.....	42
Bibliography.....	43
Term index English – German.....	46

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL  
Fachbereich Umweltmeteorologie

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b: Umweltmeteorologie  
VDI-Handbuch Energietechnik  
VDI-Handbuch Wärme-/Heiztechnik

## 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 Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3786](http://www.vdi.de/3786).

## Einleitung

Der meteorologisch bedeutsame Spektralbereich der Sonnenstrahlung umfasst den sogenannten *kurzwelligen* Bereich von 0,3  $\mu\text{m}$  bis 3  $\mu\text{m}$ , auf den etwa 96 % der gesamten extraterrestrischen Sonnenstrahlung entfallen. Das Maximum der spektralen Verteilung der Sonnenstrahlung liegt bei 0,5  $\mu\text{m}$ . Die Sonne strahlt dabei nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz mit einer Temperatur von ca. 6000 K. Die Erde emittiert ebenfalls Strahlung bei einer Strahlungstemperatur von ca. 255 K an der Obergrenze der Atmosphäre, die sogenannte terrestrische oder langwellige Strahlung im Spektralbereich von etwa 3  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$ . In Bild 1a werden beide spektralen Bereiche dargestellt.

Die Schwächung der Sonnenstrahlung während ihres Durchgangs durch die Atmosphäre, aber auch der emittierten langwelligen Strahlung, erfolgt im Wesentlichen durch folgende Prozesse (Bild 1b und Bild 1c):

- im *infraroten* Bereich:  
Absorption vor allem durch Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), aber auch durch Aerosolpartikel; relativ geringe Streuung
- im *sichtbaren* Bereich:  
Streuung an Molekülen und Aerosolpartikeln, schwache Absorption durch Aerosolpartikel, Ozon ( $\text{O}_3$ ) und andere Spurengase
- im *ultravioletten* Bereich:  
Streuung an Molekülen und Aerosolpartikeln sowie stärkere Absorption durch Ozon ( $\text{O}_3$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und andere Spurengase

## 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 can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/3786](http://www.vdi.de/3786).

## Introduction

The meteorologically significant spectral range of solar radiation comprises the *shortwave* range from 0,3  $\mu\text{m}$  to 3  $\mu\text{m}$ , which is approximately 96 % of the entire extra-terrestrial solar radiation. The maximum of the spectral distribution of solar radiation is at 0,5  $\mu\text{m}$ . The sun's radiation follows the Stefan-Boltzmann law with a temperature of approximately 6000 K. The earth also emits radiation, at a radiation temperature of approximately 255 K at the upper limit of the atmosphere, referred to as terrestrial or longwave radiation, in the spectral range from approximately 3  $\mu\text{m}$  to 100  $\mu\text{m}$ . Figure 1a shows both spectral ranges.

The attenuation of the solar radiation during its passage through the atmosphere, but also of the emitted longwave radiation, proceeds essentially by the following processes (Figure 1b and Figure 1c):

- in the *infrared* range:  
absorption mainly by water vapour ( $\text{H}_2\text{O}$ ) and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) but also by aerosol particles; relatively little scattering
- in the *visible* range:  
scattering at molecules and aerosol particles, weak absorption by aerosol particles, ozone ( $\text{O}_3$ ) and other trace gases
- in the *ultraviolet* range:  
scattering at molecules and aerosol particles and stronger absorption by ozone ( $\text{O}_3$ ), sulphur dioxide ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ) and other trace gases

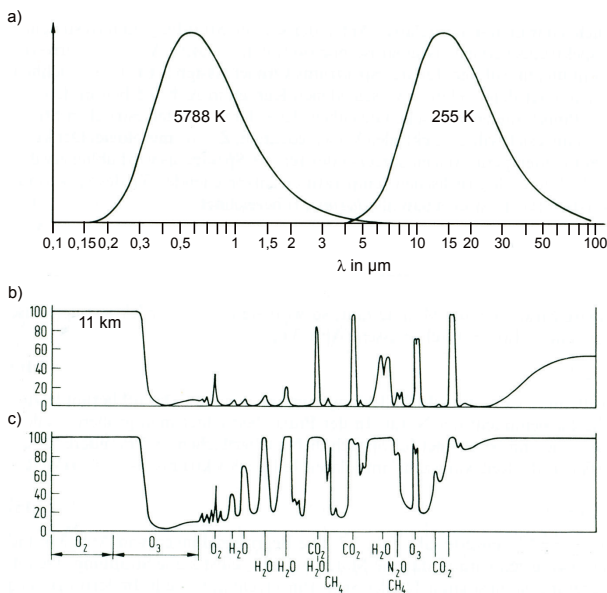


Bild 1. Strahlungsprozesse in der Atmosphäre (nach [1], geändert)

- a) plancksches Strahlungsgesetz für die Temperaturen des solaren und terrestrischen Strahlungsspektrums an der Obergrenze der Atmosphäre (auf gleiche Flächen normierte Darstellung)
- b) Absorption in % der Absorptionsbanden verschiedener Luftbeimengungen in 11 km Höhe
- c) Absorption in % der Absorptionsbanden verschiedener Luftbeimengungen an der Erdoberfläche

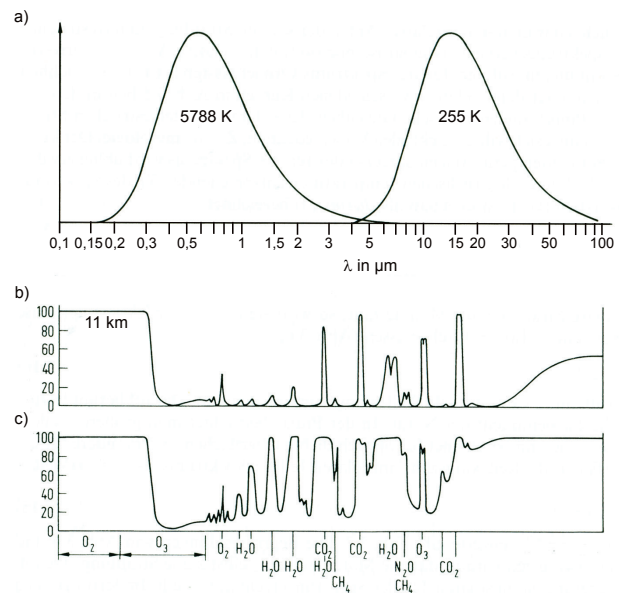


Figure 1. Radiation processes in the atmosphere (according to [1], revised)

- a) Planck's radiation law for the temperatures of the solar and terrestrial radiation spectra at the upper limit of the atmosphere (normalised for equal areas)
- b) absorption in % of the absorption bands of various atmospheric pollutants at 11 km altitude
- c) absorption in % of the absorption bands of various atmospheric pollutants at the earth's surface

Die Richtlinie umfasst Messgeräte für alle Strahlungsbereiche im thermisch-optischen Bereich und deren Anwendung.

Strahlungsphysikalische Grundgrößen sind in DIN 5031-1 definiert. Formelzeichen für Meteorologie und Geophysik sind in DIN 1304-2 enthalten.

## 1 Anwendungsbereich

Meteorologische Messungen für Zwecke der Luftreinhaltung sind sowohl zur Beurteilung von Emissions- und Immissionsvorgängen notwendig und werden somit zur Überwachung der Luftgüte durchgeführt (BImSchG, 4. BImSchVwV). Hierzu gehören insbesondere die Messung der Globalstrahlung, der direkten Sonnenstrahlung und der Strahlungsbilanz.

Mithilfe von Messungen der Strahlungskomponenten sowie bestimmter Anteile im Spektrum lassen sich Aussagen über den Gehalt der Luft an gas- und aerosolförmigen Beimengungen [2] sowie über die fotochemische Bildung von sekundären Luftverunreinigungen [3] gewinnen. Die Messung der Lufttrübung mittels künstlicher Lichtquellen wird in der Richtlinie VDI 3786 Blatt 6 behandelt.

This standard covers measuring equipment for all radiation ranges in the thermal-optical range and its applications.

Fundamental physical variables associated with radiation are defined in DIN 5031-1. Symbols used in meteorological and geophysical formulae can be found in DIN 1304-2.

## 1 Scope

Meteorological measurements designed for the purpose of air pollution control are necessary for assessing both emission and ambient air pollution processes, and are therefore carried out for air quality monitoring (German Federal Immission Safety Act – BImSchG; 4<sup>th</sup> Federal Immission Safety Administrative Regulation – 4<sup>th</sup> BImSchVwV). This includes in particular measurement of the global radiation, of direct solar radiation and of the net radiation.

By measuring the radiation components and certain parts of the spectrum, it is possible to obtain information about the content of gaseous and aerosol-like pollutants in the air [2] and about the photochemical formation of secondary air pollutants [3]. Air turbidity measurements using artificial light sources are discussed in VDI 3786 Part 6.

Messungen der Strahlungsbilanz können zur Abschätzung des vertikalen Austauschs und der Ausbreitung von Luftbeimengungen verwendet werden (z. B. Ausbreitungsklassen) [4; 5].

Diese Richtlinie wendet sich an Betreiber von Messstationen zur Messung der Strahlung und ihrer Komponenten sowohl für Zwecke der Luftreinhaltung als auch für die Bedürfnisse von Landwirtschaft, Energietechnik, Bau- und Gebäudetechnik und der Meteorologie, insbesondere der Strahlungsklimatologie. Eingeschlossen sind auch Untersuchungen der Wirkung der Strahlung im technischen und biologischen Bereich.

Bei Fragen, die über den Anwendungsbereich dieser Richtlinie hinausgehen, wird auf Lehrbücher und weiterführende Literatur [1; 4; 6; 7] verwiesen. Auf lichttechnische Größen wird nicht im Einzelnen eingegangen, stattdessen sei auf DIN 5032-1 verwiesen.

Measurements of the net radiation can be used to estimate the vertical exchange and the dispersion of air pollutants (e.g. dispersion classes) [4; 5].

This standard is addressed to the operators of measuring stations used to measure the radiation and its components, both for the purpose of air pollution control and to meet the needs of agriculture, energy generation, building and construction technology and meteorology, in particular radiation climatology. It also covers investigations into the effects of radiation in the technical and biological fields.

For topics that go beyond the scope of this standard, refer to textbooks and further literature [1; 4; 6; 7]. Photometric variables are not discussed in detail; refer to DIN 5032-1.

---

## 2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

DIN 1304-2:1989-09 Formelzeichen; Formelzeichen für Meteorologie und Geophysik (Letter symbols for physical quantities; symbols to be used in meteorology and geophysics)

DIN 5031-1:1982-03 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik (Optical radiation physics and illumina-

ting engineering; quantities, symbols and units of radiation physics)

DIN 5031-3:1982-03 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik (Optical radiation physics and illuminating engineering; quantities, symbols and units of illuminating engineering)

DIN 5032-1:1999-04 Lichtmessung; Teil 1: Photometrische Verfahren (Photometry; Part 1: Methods of measurement)

VDI 3786 Blatt 1:2013-08 Umweltmeteorologie; Meteorologische Messungen; Grundlagen (Environmental meteorology; Meteorological measurements; Fundamentals)