

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Umweltmeteorologie
Meteorologische Messungen
Strahlung
Environmental meteorology
Meteorological measurements
Radiation

VDI 3786
Blatt 5 / Part 5

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

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

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

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 |
|--|-------|
| Vorbemerkung | 3 |
| Einleitung | 3 |
| 1 Anwendungsbereich | 4 |
| 2 Normative Verweise | 5 |
| 3 Begriffe | 5 |
| 4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes ... | 10 |
| 5 Standortwahl und Aufstellung | 12 |
| 6 Messgeräte | 14 |
| 6.1 Pyrheliometer | 16 |
| 6.2 Pyranometer | 19 |
| 6.3 Pyrgeometer | 21 |
| 6.4 Strahlungsbilanzmesser | 24 |
| 6.5 Spektralradiometer | 26 |
| 6.6 Messung der Sonnenscheindauer | 28 |
| 6.7 Zusatzeinrichtungen | 31 |
| 6.8 Lichttechnische Messgeräte | 32 |
| 7 Durchführung der Messung, Überprüfung und Wartung | 33 |
| 7.1 Installation von Strahlungsmessgeräten | 33 |
| 7.2 Kalibrierung von Strahlungsmessgeräten | 34 |
| 7.3 Überprüfen und Warten | 35 |
| 7.4 Prüfung der Datenqualität | 37 |
| 8 Messaufgaben und Auswerteverfahren | 38 |
| 8.1 Zeitlich hoch aufgelöste Messungen – Tagesgang | 39 |
| 8.2 Klimatologische Strahlungsauswertung | 40 |
| 8.3 Strahlung auf geneigte Flächen | 40 |
| 8.4 Aerosoloptische Dicke als integrale Größe über die Säule | 41 |
| 8.5 Strahlungstemperatur | 42 |
| 8.6 Sonnenscheindauer | 43 |

| Contents | Page |
|--|------|
| Preliminary note..... | 3 |
| Introduction..... | 3 |
| 1 Scope | 4 |
| 2 Normative references | 5 |
| 3 Terms and definitions | 5 |
| 4 Symbols, abbreviations, and indices | 10 |
| 5 Site selection and installation | 12 |
| 6 Measuring equipment | 14 |
| 6.1 Pyrheliometer..... | 16 |
| 6.2 Pyranometer..... | 19 |
| 6.3 Pyrgeometer..... | 21 |
| 6.4 Net radiation meter | 24 |
| 6.5 Spectral radiometer..... | 26 |
| 6.6 Measurement of sunshine duration | 28 |
| 6.7 Supplementary equipment | 31 |
| 6.8 Optical instruments..... | 32 |
| 7 Performing the measurement, checking, and maintenance | 33 |
| 7.1 Installation of radiation-measuring equipment | 33 |
| 7.2 Calibration of radiation-measuring equipment | 34 |
| 7.3 Checking and maintenance | 35 |
| 7.4 Verifying data quality | 37 |
| 8 Measurement tasks and evaluation methods | 38 |
| 8.1 Measurements with high temporal resolution – Daily plot | 39 |
| 8.2 Climatological radiation analysis..... | 40 |
| 8.3 Radiation on tilted surfaces..... | 40 |
| 8.4 Aerosol optical depth as integral quantity over the column | 41 |
| 8.5 Radiation temperature..... | 42 |
| 8.6 Sunshine duration | 43 |

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss

Fachbereich Umweltmeteorologie

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

| | |
|--|----|
| 9 Verfahrenskenngrößen und technische Daten | 44 |
| 9.1 Verfahrenskenngrößen..... | 44 |
| 9.2 Störeinflüsse..... | 45 |
| Anhang Berechnungsansätze für Strahlungsbilanzmessgeräte mit zwei Thermosäulen und PE-Haube..... | 47 |
| Schrifttum | 48 |
| Benennungindex englisch – deutsch..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 9 Performance characteristics and technical data | 44 |
| 9.1 Performance characteristics | 44 |
| 9.2 Interfering effects..... | 45 |
| Annex Calculation methods for net radiation meters with two thermopiles and a PE dome | 47 |
| Bibliography | 48 |
| Term index English – German..... | 51 |

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), 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/3786.

Einleitung

Der meteorologisch bedeutsame Spektralbereich der Sonnenstrahlung umfasst den sogenannten *kurzwelligen* (solaren) Bereich von 0,3 μm bis 3 μm , auf den etwa 96 % der gesamten extraterrestrischen Sonnenstrahlung entfallen. Das Maximum der spektralen Verteilung der Sonnenstrahlung liegt bei 0,5 μm . 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 μm bis 100 μm . In Bild 1a werden beide spektrale Bereiche dargestellt, die sich in Abhängigkeit von den atmosphärischen Bestandteilen von etwa 3 μm bis 5 μm (mit sehr geringen Bestrahlungsstärken) überlappen.

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 (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), aber auch durch Aerosolpartikel; relativ geringe Streuung
- im *sichtbaren* Bereich
Streuung an Molekülen und Aerosolpartikeln, schwache Absorption durch Aerosolpartikel, Ozon (O_3) 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) 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/3786.

Introduction

The meteorologically significant spectral range of solar radiation comprises the *shortwave* (solar) range from 0,3 μm to 3 μm , which is approximately 96 % of the entire extra-terrestrial solar radiation. The maximum of the spectral distribution of solar radiation is at 0,5 μm . 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 μm to 100 μm . Figure 1a shows both spectral ranges, which overlap from about 3 μm to 5 μm (with very low irradiances) depending on the atmospheric components.

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 (H_2O) and carbon dioxide (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 (O_3), and other trace gases

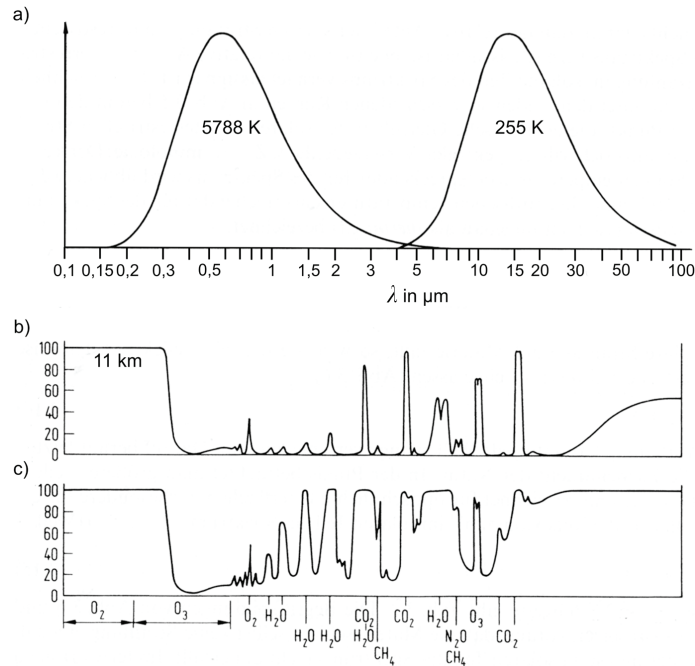


Bild 1. Strahlungsprozesse in der Atmosphäre (nach [1])

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

- a) Schwarzkörperstrahlung nach dem planckschen 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

- a) black-body radiation according to 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

- im *ultravioletten* Bereich
Streuung an Molekülen und Aerosolpartikeln sowie stärkere Absorption durch Ozon (O₃), Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und andere Spurengase
- Die Grenzwellenlängen der solaren und terrestrischen Strahlung variieren in Abhängigkeit von diesen Extinktionsprozessen.

- in the *ultraviolet* range
scattering at molecules and aerosol particles and stronger absorption by ozone (O₃), sulphur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), and other trace gases
- The cut-off wavelengths of solar and terrestrial radiation vary depending on these extinction processes.

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

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

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

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 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 Global-

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; 4th Federal Immission Safety Ad-

strahlung, 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.

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 betreibende Firmen 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, Ökologie und der Meteorologie, insbesondere der Strahlungs- und Stadtklimatologie. Eingeschlossen sind auch Untersuchungen der Wirkung der Strahlung im technischen und biologischen Bereich. Sie kann auch für Strahlungsmessungen an Fotovoltaikanlagen verwendet werden [6].

Bei Fragen, die über den Anwendungsbereich dieser Richtlinie hinausgehen, wird auf Lehrbücher und weiterführende Literatur [1; 4; 7 bis 10] verwiesen. Auf lichttechnische Größen wird nicht im Einzelnen eingegangen, stattdessen sei auf DIN EN 13032-1 verwiesen.

ministrative Regulation – 4. 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.

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 building services technology, ecology, and meteorology, in particular radiation and urban climatology. It also covers investigations into the effects of radiation in the technical and biological fields. It can also be used for radiation measurements on photovoltaic systems [6].

For topics that go beyond the scope of this standard, refer to textbooks and further literature [1; 4; 7 to 10]. Photometric variables are not discussed in detail; refer to DIN EN 13032-1.