

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEUREUmweltmeteorologie  
Bodengebundene Fernmessung der Temperatur  
Radioakustische Sondierungssysteme (RASS)

VDI 3786

Blatt 18 / Part 18

Environmental meteorology  
Ground-based remote sensing of temperature  
Radio-acoustic sounding systems (RASS)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 guideline has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).**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 . . . . .	3	Preliminary note . . . . .	3
Einleitung . . . . .	3	Introduction . . . . .	3
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>4</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2 Formelzeichen . . . . .</b>	<b>5</b>	<b>2 Symbols . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>3 Abkürzungen . . . . .</b>	<b>9</b>	<b>3 Abbreviations . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>4 Grundlagen des RASS . . . . .</b>	<b>10</b>	<b>4 RASS fundamentals . . . . .</b>	<b>10</b>
4.1 Einführung . . . . .	10	4.1 Introduction. . . . .	10
4.2 Zusammenhang zwischen Temperatur und Schallgeschwindigkeit . . . . .	11	4.2 Relationship between temperature and sound velocity . . . . .	11
4.3 Reflexion von Radarwellen an akustischen Wellen . . . . .	14	4.3 Reflection of radar waves from acoustic waves . . . . .	14
4.4 Doppler-RASS . . . . .	17	4.4 Doppler RASS . . . . .	17
4.5 Bragg-RASS. . . . .	19	4.5 Bragg RASS . . . . .	19
4.6 Trennung von Radialwind und Schallgeschwindigkeit. . . . .	21	4.6 Separation of the radial wind from the sound velocity . . . . .	21
4.7 Erfassen vertikaler Temperaturprofile. . . . .	21	4.7 Determination of vertical temperature profiles . . . . .	21
4.8 Verbesserung der Messgenauigkeit von RASS-Verfahren . . . . .	23	4.8 Improvement of RASS precision. . . . .	23
4.9 Erfassen von Windprofilen aus dem RASS-Signal . . . . .	24	4.9 Determination of wind profiles from the RASS signal . . . . .	24
4.10 Erfassen von Turbulenzprofilen aus dem RASS-Signal. . . . .	26	4.10 Determination of turbulence profiles from the RASS signal . . . . .	26
4.11 Höhenauflösung. . . . .	26	4.11 Height resolution . . . . .	26
4.12 Reichweite. . . . .	29	4.12 Maximum range . . . . .	29
4.13 Signalanalyse . . . . .	31	4.13 Signal analysis . . . . .	31
4.14 Antennenkonfigurationen . . . . .	32	4.14 Antenna configurations. . . . .	32
<b>5 Verfahrensmerkmale . . . . .</b>	<b>33</b>	<b>5 Characteristics of the method . . . . .</b>	<b>33</b>
5.1 Messgrößen . . . . .	33	5.1 Measurement variables . . . . .	33
5.2 Zielgrößen. . . . .	33	5.2 Target variables. . . . .	33

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Fachbereich Umweltmeteorologie

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

	Seite		Page	
5.3	Hilfsgrößen . . . . .	34	5.3 Auxiliary variables . . . . .	34
5.4	Definition der Verfahrenskenngrößen . . . . .	34	5.4 Definition of performane characteristics . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Geräteausführungen . . . . .</b>	<b>37</b>	<b>6 Equipment design . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Messplanung und Anforderungen an den Einsatzort . . . . .</b>	<b>39</b>	<b>7 Planning of RASS measurements and site requirements . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Messbeispiele . . . . .</b>	<b>39</b>	<b>8 Selected RASS measurements . . . . .</b>	<b>39</b>
8.1	Temperaturprofile . . . . .	39	8.1 Temperature profiles . . . . .	39
8.2	Kombinierte Wind- und Temperaturmessung . . . . .	41	8.2 Combined measurements of wind and temperature . . . . .	41
8.3	Grenzschicht und Turbulenz. . . . .	41	8.3 Boundary layer and turbulence . . . . .	41
<b>9</b>	<b>Qualitätssicherung und Systemüberwachung . . . . .</b>	<b>48</b>	<b>9 Quality assurance and system surveillance . . . . .</b>	<b>48</b>
9.1	Automatische Qualitätsprüfung, statistische Filterung. . . . .	48	9.1 Automated data quality check, statistical filtering . . . . .	48
9.2	Systemüberwachung. . . . .	48	9.2 System surveillance. . . . .	48
<b>10</b>	<b>Verfahrenskenngrößen ausgewählter Geräte . . . . .</b>	<b>49</b>	<b>10 Performance characteristics of selected systems . . . . .</b>	<b>49</b>
10.1	Auswahlkriterien für verschiedene RASS-Ausführungen . . . . .	49	10.1 Selection criteria for different RASS implementations . . . . .	49
10.2	Vergleichsmessungen . . . . .	50	10.2 Comparison measurements . . . . .	50
10.3	Verfügbarkeit . . . . .	52	10.3 Availability . . . . .	52
<b>11</b>	<b>Wartung und Störungen . . . . .</b>	<b>52</b>	<b>11 Maintenance and interferences . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Definition von Genauigkeitskenngrößen. . . . .</b>	<b>55</b>	<b>Annex A</b> <b>Definition of accuracy characteristics . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>Anhang B</b>	<b>Signalanalyse . . . . .</b>	<b>57</b>	<b>Annex B</b> <b>Signal analysis . . . . .</b>	<b>57</b>
B1	Doppler-RASS . . . . .	57	B1 Doppler RASS . . . . .	57
B2	Bragg-RASS . . . . .	57	B2 Bragg RASS . . . . .	57
B3	Auszug aus VDI 3786 Blatt 17 WPR. . . . .	57	B3 Extract from VDI 3786 Part 17 WPR. . . . .	57
<b>Anhang C</b>	<b>Temperatur- und Feuchteabhängigkeit der Schallabsorption. . . . .</b>	<b>62</b>	<b>Annex C</b> <b>Dependence of atmospheric acoustic absorption on temperature and humidity . . . . .</b>	<b>62</b>
Schrifttum . . . . .		63	Bibliography . . . . .	63

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

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-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

Die Richtlinienreihe VDI 3786 ist in mehrere Blätter gegliedert. In den Richtlinien VDI 3786 Blatt 11 (Doppler-Sodar), Blatt 14 (Doppler-Lidar) und Blatt 17 (Wind-Profil-Radar) werden bodengebundene Fernmessverfahren vorgestellt, die zur Ermittlung von vertikalen Profilen des Windvektors dienen.

Mit dem hier beschriebenen RASS-Verfahren (Radio-Acoustic Sounding System, deutsch radioakustisches Sondierungssystem) werden vorrangig Profile der Lufttemperatur bestimmt. Darüber hinaus lassen sich RASS-Verfahren bei modifizierter Betriebsweise auch zur Erfassung von Profilen des dreidimensionalen Windvektors und der Turbulenz einsetzen. Diese Anwendungen werden in den Richtlinien VDI 3786 Blatt 11 und Blatt 17 detailliert beschrieben.

Mit RASS werden Verfahren bezeichnet, mit denen die Schallgeschwindigkeit in einem begrenzten Messvolumen aus der Reflexion ausgesendeter elektromagnetischer Wellen an gleichzeitig ausgesendeten Schallwellen ermittelt werden kann. Der Ort des Messvolumens wird aus der Abstrahlrichtung und der Laufzeit zwischen dem Aussenden des Sendesignals und dem Empfang des Streusignals bestimmt.

Die Richtlinie greift bei der Definition von Radar-Kenngrößen auf die Richtlinie VDI 3786 Blatt 17 und bei der Berücksichtigung der Mittelungsdauer auf die Richtlinie VDI 3786 Blatt 1 zurück. Sicherheitstechnische Probleme werden nicht behandelt, hier wird auf einschlägige Normen und gesetzliche Vorgaben verwiesen: 26. BImSchV, BEMFV, BGV B 11, BGR B 11, DIN VDE 0848. Zusätzlich sind zum Be-

## Preliminary note

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

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

A catalogue of all available parts of this guideline series can be accessed on the internet at [www.vdi.de/3786](http://www.vdi.de/3786).

## Introduction

The guideline series VDI 3786 is divided into several parts. Guidelines VDI 3786 Part 11 (Doppler sodar), Part 14 (Doppler lidar), and Part 17 (Wind profiler radar) present ground-based remote measurement methods for the determination of wind vertical profiles.

The purpose of the radio-acoustic sounding system (RASS) described in this guideline, is predominantly the determination of profiles of atmospheric temperature. When operated in a modified mode, RASS devices can also be used for the measurement of vertical profiles of the three-dimensional wind vector and of atmospheric turbulence. These applications are described in detail in guidelines VDI 3786 Part 11 and Part 17.

RASS is a family of methods that provide information about the sound velocity in a confined measurement volume from the reflection of electromagnetic waves on sound waves transmitted simultaneously with those. The location of the volume in which the reflection occurs is determined from the direction into which the transmitters are pointed and from the propagation time elapsed between the transmitted and received backscattered radiation.

For the definition of the radar characteristics this guideline refers to guideline VDI 3786 Part 17, for the consideration of the averaging interval to guideline VDI 3786 Part 1. Safety aspects are not treated here; instead, reference is made to the corresponding standards and regulations: 26. BImSchV, BEMFV, BGV B 11, BGR B 11, DIN VDE 0848. In addition, the national regulations on the allocation of operating

trieb von Radar-Systemen die nationalen Frequenzzulassungsvorschriften besonders zu beachten (in Deutschland: RegTP 321 ZV 044; enthält auch Hinweise auf internationale Zulassungsvorschriften).

## 1 Anwendungsbereich

RASS-Verfahren haben sich seit vielen Jahren für die Fernmessung von vertikalen Profilen der Temperatur bewährt. Sie ergänzen die konventionelle Messtechnik, da sie für eine große Anzahl von Messaufgaben geeignet sind, die mit punktförmig messenden In-situ-Verfahren nicht adäquat gelöst werden können oder wo der Einsatz von Messmasten oder Messtürmen aus technischen, administrativen oder Kostengründen nicht infrage kommt.

Besonders vorteilhaft ist der Einsatz von RASS-Verfahren zur

- Temperaturmessung in Atmosphärenschichten bis zu einigen Kilometern Höhe
- Messung der thermischen Stabilität der Atmosphäre
- Verfolgung des Aufbaus und Zerfalls konvektiver Grenzschichten (Mischungsschichthöhe)
- Erfassung der Höhe und Struktur von stabilen Grenzschichten
- Erfassung der Höhe und Stärke von abgehobenen Inversionen
- Messung der turbulenten Flüsse in der atmosphärischen Grenzschicht
- Messung von Windprofilen an Standorten mit hohem Geräuschpegel, an denen der Einsatz von Sodar-Verfahren nur eingeschränkt möglich ist, und an Standorten mit hohem Störecho-Potenzial, das auch den Einsatz von Radar erschwert
- Messung unter Allwetterbedingungen

Besondere Bedeutung haben folgende Einsatzgebiete:

- Routinemessungen der Temperatur an aerologischen Stationen
- Gewinnung von Daten zur Ausbreitungsrechnung, z.B. für Genehmigungsverfahren nach BImSchG, 9. BImSchV und TA Luft: Ausbreitungszeitreihen (TA Luft, Anhang 3 Nr. 1), Monin-Obukhov-Länge (TA Luft, Anhang 3 Nr. 8.4), Mischungsschichthöhe (TA Luft, Anhang 3 Nr. 8.5)
- Gewinnung von Daten für Standortgutachten für den Immissionsschutz und Umweltverträglichkeitsprüfungen
- Flugsicherheit, Flugwetterberatung (quantitative Erfassung auch extremer Bodeninversionen)

frequencies shall be observed when using radar systems. For Germany, this is the standard RegTP 321 ZV 044 in which reference is made to certain international regulations as well.

## 1 Scope

RASS systems have successfully been used for many years for the remote determination of vertical temperature profiles. They complement conventional instrumentation as they lend themselves to a large number of measurement tasks that cannot be fulfilled adequately with in-situ or point measurement devices or for which masts or towers are not suitable for technical, administrative or economical reasons.

The use of RASS systems is particularly advantageous for

- measurement of temperature in atmospheric layers up to several kilometers height
- determination of the thermal stability of the atmosphere
- pursuit of the development and decay of convective boundary layers (height of the mixing layer)
- determination of the height and structure of stable boundary layers
- determination of the altitude and strength of detached inversions
- measurement of turbulent flows in the atmospheric boundary layer
- measurement of wind profiles in noisy areas or in sites with potentially large radar echoes where the use of sodar and radar systems is restricted

- measurements in heavy weather conditions

The following applications are particularly important:

- routine temperature profiling from aerological stations
- production of data for the use in numerical dispersion models, e.g., in connection with licensing procedures under BImSchG, 9. BImSchV and TA Luft: time series calculation (TA Luft, Annex 3 Clause 1), Monin-Obukhov length (TA Luft, Annex 3 Clause 8.4), height of the mixing layer (TA Luft, Annex 3 Clause 8.5)
- production of data for site approval certificates for ambient air quality control and environmental compatibility assessment
- flight safety and aviation weather services including the quantitative determination even of extreme ground inversions