

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Fernmessverfahren
Messungen in der Atmosphäre nach dem
Passiv-FTIR-Prinzip
Messen gasförmiger Emissionen und Immissionen
Remote sensing
Atmospheric measurements using
passive FTIR spectroscopy
Emission and ambient air measurements

VDI 4211

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	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Begriffe	3	2 Terms and definitions	3
3 Grundlage des Verfahrens	5	3 Basis of the method	5
3.1 Prinzip	5	3.1 Principle	5
3.2 Strahlungstransportmodell	6	3.2 Radiative transfer model	6
3.3 Strahlungstemperatur	9	3.3 Radiation temperature	9
4 Messsysteme	10	4 Measuring systems	10
4.1 Allgemeines	10	4.1 General	10
4.2 FTIR-Spektrometer	10	4.2 FTIR spectrometer	10
4.3 Messanordnungen	12	4.3 Measurement set-up	12
5 Spektrometrische Messung	15	5 Spectrometric measurement	15
5.1 Allgemeines	15	5.1 General	15
5.2 Apparatefunktion	16	5.2 Instrumental line shape	16
5.3 Radiometrische Kalibrierung	22	5.3 Radiometric calibration	22
6 Fernerkundung von Gasen bei Umgebungstemperatur	25	6 Remote sensing of gases at ambient temperature	25
6.1 Randbedingungen	25	6.1 Boundary conditions	25
6.2 Identifikation von Gasen	30	6.2 Identification of gases	30
6.3 Quantifizierung von Gasen	32	6.3 Quantification of gases	32
6.4 Mindestanforderungen	35	6.4 Minimum requirements	35
6.5 Ablaufschema	36	6.5 Flow diagram	36
6.6 Durchführung und Qualitätssicherung	36	6.6 Procedure and quality assurance	36
6.7 Beispiel – Messung von Ammoniak	38	6.7 Example – Measurement of ammonia	38

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

Fachbereich Umweltmesstechnik

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5: Analysen- und Messverfahren II

Inhalt	Seite
7 Fernerkundung von Gasen bei hohen Temperaturen	39
7.1 Allgemeines	39
7.2 Einfluss des Hintergrunds	41
7.3 Mindestanforderungen	41
7.4 Durchführung der Messung	42
7.5 Beispiele	44
8 Fernerkundung von Gasen mithilfe der Sonne als Strahlungsquelle	51
8.1 Allgemeines	51
8.2 Durchführung der Messungen	52
8.3 Auswertung der Messungen	54
8.4 Mindestanforderungen	57
8.5 Beispiel – Bestimmung diffuser VOC-Emissionen mit Solar Occultation Flux (SOF)	58
9 Wartungs- und Kontrollmaßnahmen	59
10 Dokumentation	60
Anhang A Nachweisgrenzen und rausch- äquivalente Säulendichte	60
Anhang B Apparatefunktion eines realen Fourierspektrometers	63
Schrifttum	64

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.

Einleitung

Fouriertransformations-Infrarot(FTIR)-Fernmessverfahren finden vielfältige Anwendungsmöglichkeiten zur Messung gasförmiger Emissionen und Immissionen. Das mit künstlicher Strahlungsquelle arbeitende *aktive* FTIR-Verfahren ist in DIN EN 15483 beschrieben. Es hat sich inzwischen in mehreren kommerziellen Realisierungen in der Messtechnik etabliert.

Contents	Page
7 Remote sensing of high-temperature gases	39
7.1 General	39
7.2 Effect of the background	41
7.3 Minimum requirements	41
7.4 Measurement procedure	42
7.5 Examples	44
8 Remote sensing of gases with the sun as the radiation source	51
8.1 General	51
8.2 Measurement procedure	52
8.3 Evaluation of measurements	54
8.4 Minimum requirements	57
8.5 Example – Determination of diffuse VOC emissions with Solar Occultation Flux (SOF)	58
9 Maintenance and control measures	59
10 Documentation	60
Annex A Detection limits and the noise- equivalent concentration pathlength	60
Annex B Instrumental line shape of a real Fourier spectrometer	63
Bibliography	64

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 specified (www.vdi.de/richtlinien) in the VDI Notices.

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

Introduction

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) processes are used in wide-ranging ways for emission and ambient air measurements. The *active* FTIR method is described in DIN EN 15483. This has meanwhile become established in several commercial measuring equipment applications.

In den letzten Jahren hat sich der Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit auf die *passiven* FTIR-Verfahren verlagert, die mit natürlichen, in der jeweiligen Messsituation vorhandenen Strahlungsquellen arbeiten. Diese Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sowohl stationär als auch mobil eingesetzt werden, sehr schnell orientierende Messdaten über einen großen Messbereich zur Verfügung stellen können und quantitative Bestimmungen definierter Substanzen ermöglichen.

Passive Verfahren werden eingesetzt für Messungen an Punktquellen (z.B. Pipelines, Schornsteine, Fackeln, Gasturbinen), z.B. zur Identifizierung und Quantifizierung von Gefahrstoffwolken, zur Quellsuche, zum Aufspüren von Leckagen und zur gezielten Messung von Emissionen sowie für Überwachungs- und Kontrollaufgaben auf Flächen (diffuse Quellen: Industriegelände, öffentliche Einrichtungen).

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschreibt die Anwendung von bodengestützten passiven FTIR-Fernmessverfahren zur Messung gasförmiger Emissionen und Immissionen in der Atmosphäre. Dabei werden drei prinzipiell unterschiedliche Verfahren vorgestellt: solche, die die gasförmigen Komponenten bei Umgebungstemperatur messen, solche, die die gasförmigen Komponenten bei hohen Temperaturen ($> 70\text{ °C}$) messen und solche, die die Sonne als Strahlungsquelle verwenden. Die Richtlinie behandelt das Messprinzip, die Gerätetechnik, die Durchführung der Messungen und die Auswertung der Messergebnisse. Weiterhin nennt sie Verfahrenskenngrößen und Mindestanforderungen für die verschiedenen Gerätetypen.

In the last few years, the focus of research and development activity has shifted to *passive* FTIR methods, i.e. those making use of natural radiation sources present in the respective measurement situation. Characteristic of these methods is that they can be put to stationary or mobile use, are capable of very quickly generating indicative data over a large measurement range, and permit quantitative determinations of defined substances.

Passive methods are used for measurements at point sources (e.g. pipelines, chimneys, flares, and gas turbines), e.g. for identifying and quantifying clouds of hazardous substances, in tracing sources or leakages, for the targeted measurement of emissions, and for monitoring and control tasks on surfaces (diffuse sources: industrial sites, public facilities).

1 Scope

This standard describes the application of ground-based passive FTIR remote sensing for the measurement of emissions into the atmosphere and ambient air. Three fundamentally different methods are presented: those that measure gaseous components at ambient temperature; those that measure gaseous components at high temperatures ($> 70\text{ °C}$); and those that use the sun as the radiation source. This standard deals with the measurement principle, the equipment, the measurement procedure, and the evaluation of the measurement results. It also quotes the performance characteristics and the minimum requirements for the various instrument types.