

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Emissionen aus stationären Quellen  
Ermittlung der Messunsicherheit von Messwerten bei  
Emissionsmessungen mit manuellen oder  
automatischen Messverfahren

VDI 4219

Stationary source emissions  
Determination of the measurement uncertainty of  
measured values obtained by emission measurements  
with manual or automated measurement methods

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 .....	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>5</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>5</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>5</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>5</b>	<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Formelzeichen und Abkürzungen.....</b>	<b>8</b>	<b>4 Symbols and abbreviations.....</b>	<b>8</b>
<b>5 Grundlagen.....</b>	<b>8</b>	<b>5 Principles.....</b>	<b>8</b>
5.1 Allgemeines.....	8	5.1 General.....	8
5.2 Unsicherheitsquellen.....	9	5.2 Sources of uncertainty.....	9
5.3 Verfahrensverifizierung.....	10	5.3 Method verification.....	10
5.4 Gültigkeitsbereich der Messunsicherheit.....	11	5.4 Range of validity of the measurement uncertainty.....	11
<b>6 Ermittlung der Messunsicherheit bei der Verfahrensverifizierung.....</b>	<b>12</b>	<b>6 Determination of measurement uncertainty during method verification.....</b>	<b>12</b>
6.1 Allgemeines.....	12	6.1 General.....	12
6.2 Indirekter Ansatz mit Analyse der Teilschritte des Messverfahrens.....	13	6.2 Indirect approach with analysis of the sub-steps of the measurement method.....	13
6.3 Dokumentation der Unsicherheitsermittlung bei der Verfahrensverifizierung.....	16	6.3 Documentation of uncertainty determination during method verification.....	16
<b>7 Ermittlung der Messunsicherheit im konkreten Anwendungsfall.....</b>	<b>16</b>	<b>7 Determination of the measurement uncertainty in the specific application.....</b>	<b>16</b>
7.1 Allgemeines.....	16	7.1 General.....	16
7.2 Messunsicherheit im konkreten Anwendungsfall.....	18	7.2 Measurement uncertainty in the specific application.....	18
7.3 Dokumentation der Ermittlung der Messunsicherheit im konkreten Anwendungsfall.....	18	7.3 Documentation of the measurement uncertainty in the specific application.....	18
<b>Anhang A</b> Beispiel für die Ermittlung der Messunsicherheit mit dem indirekten Ansatz (Analyse der Teilschritte des Messverfahrens).....	<b>20</b>	<b>Annex A</b> Example of uncertainty determination using the indirect approach (analysis of the sub-steps of the measurement method).....	<b>20</b>

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

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

Inhalt	Seite	Contents	Page
A1 Allgemeines .....	20	A1 General.....	20
A2 Grundlagen zur Bestimmung der Unsicherheitsbeiträge von Messgrößen.....	20	A2 Principle of the determination of the uncertainty contributions of measurands ....	20
A3 Kombination der Unsicherheitsbeiträge der einzelnen Messgrößen.....	22	A3 Combination of the uncertainty contributions of the individual measurands .....	22
A4 Beispielrechnung.....	38	A4 Example calculation.....	38
<b>Anhang B</b> Beispiel für die Ermittlung der Unsicherheit von SO <sub>2</sub> -Messungen mit Sauerstoffbezug.....	40	<b>Annex B</b> Example of uncertainty determination of SO <sub>2</sub> measurements under oxygen reference conditions .....	40
B1 Einleitung.....	40	B1 Introduction .....	40
B2 Problembeschreibung.....	40	B2 Problem specification .....	40
B3 Statistische Analyse .....	41	B3 Statistical analysis.....	41
B4 Schätzung der Varianzen und Kovarianzen.....	42	B4 Estimation of variances and covariances .....	42
B5 Anwendungsbeispiel.....	43	B5 Example .....	43
<b>Anhang C</b> Direkter Ansatz mit Doppelbestimmungen.....	46	<b>Annex C</b> Direct approach based on paired measurements.....	46
C1 Problembeschreibung und Ermittlung der Eingangsdaten.....	46	C1 Problem specification and determination of input data .....	46
C2 Statistische Analyse .....	47	C2 Statistical analysis.....	47
C3 Schätzung der Varianz .....	48	C3 Estimation of the variance .....	48
C4 Berechnung der Unsicherheitsparameter ....	49	C4 Calculation of uncertainty parameters .....	49
C5 Dokumentation.....	49	C5 Documentation.....	49
<b>Anhang D</b> Beispiel für die Ermittlung der Messunsicherheit mit dem direkten Ansatz (Doppelbestimmungen) zur Verifizierung der Ergebnisse des indirekten Ansatzes .....	50	<b>Annex D</b> Example of uncertainty determination using the direct approach (paired measurements) to verify the results of the indirect approach.....	50
D1 Einleitung.....	50	D1 Introduction .....	50
D2 Problembeschreibung.....	50	D2 Problem specification .....	50
D3 Statistische Analyse .....	52	D3 Statistical analysis.....	52
D4 Schätzung der Varianzen und Kovarianzen.....	53	D4 Estimation of variances and covariances .....	53
D5 Beispielrechnung.....	54	D5 Example calculation.....	54
<b>Anhang E</b> Beispiel für die Ermittlung der Messunsicherheit mit dem direkten Ansatz (Doppelbestimmungen an mehreren Anlagen) zur Verifizierung der Ergebnisse des indirekten Ansatzes .....	55	<b>Annex E</b> Example of uncertainty determination using the direct approach (paired measurements at several plants) to verify the results of the indirect approach.....	55
E1 Einleitung.....	55	E1 Introduction .....	55
E2 Problembeschreibung.....	55	E2 Problem specification .....	55
E3 Statistische Analyse .....	58	E3 Statistical analysis.....	58
E4 Schätzung der Varianzen und Kovarianzen.....	58	E4 Estimation of variances and covariances .....	58
E5 Beispielrechnung.....	59	E5 Example calculation.....	59
<b>Anhang F</b> Statistische Analyse unter Einbeziehung von Kovarianzen.....	60	<b>Annex F</b> Statistical analysis including covariances.....	60
<b>Anhang G</b> Statistische Gültigkeit.....	61	<b>Annex G</b> Statistical validity.....	61
<b>Anhang H</b> Datenträger .....	63	<b>Annex H</b> Data carrier.....	63
Schrifttum .....	64	Bibliography .....	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](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.

Weitere aktuelle Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/4219](http://www.vdi.de/4219).

## Einleitung

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist die Rechtsgrundlage für gesetzlich geregelte Emissionsmessungen. Bei Anlagen mit geringen Emissionsmassenströmen sollen die Emissionen für alle im Genehmigungsbescheid festgelegten luftverunreinigenden Stoffe mit erstmaligen und wiederkehrenden Messungen ermittelt werden. Genehmigungsbedürftige Anlagen mit hohen Emissionsmassenströmen und besondere nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind mit automatischen Emissionsmessenrichtungen auszurüsten, die eine Überwachung der festgelegten Emissionsbegrenzungen erlauben. In beiden Fällen fordern die einschlägigen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zum BImSchG die Ermittlung der Unsicherheit der Messergebnisse (siehe beispielsweise 13. BImSchV, 17. BImSchV, TA Luft).

Bei stichprobenartigen Emissionsmessungen und bei der Kalibrierung von automatischen Messeinrichtungen (AMS) kommen Standardreferenzverfahren (SRM) zum Einsatz, die in VDI-Richtlinien und DIN-Normen festgelegt sind, oder andere validierte Messverfahren, wenn standardisierte Verfahren nicht zur Verfügung stehen. Bei der Validierung von Messverfahren im Rahmen der Standardisierung werden die relevanten Verfahrenskenngrößen ermittelt. Akkreditierte Prüflaboratorien sind gehalten, diese Verfahrenskenngrößen vor der Anwendung des Verfahrens zu verifizieren.

Bei der Kalibrierung von AMS nach DIN EN 14181 wird die Unsicherheit der mit dem SRM ermittelten Messwerte durch den in DIN EN 14181 verwendeten Ansatz zur Ermittlung der Messunsicherheit direkt erfasst und berücksichtigt. Bei stichprobenartigen Emissionsmessungen besteht

## 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.

Further current information is available on the Internet at [www.vdi.de/4219](http://www.vdi.de/4219).

## Introduction

The Federal Immission Control Act (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) is the legal basis for mandatory emission measurements. For plants with low emission mass flows, the emissions for all air pollutants stipulated in the licensing notice shall be determined by initial and recurrent measurements. Plants subject to licensing that have high emission mass flows and certain installations not subject to licensing shall be equipped with automated emission measuring systems that allow monitoring of the specified emission limits. In both cases, the relevant ordinances and administrative regulations to BImSchG require the determination of the uncertainty of the measurement results (see, for example, 13. BImSchV, 17. BImSchV, TA Luft).

For random emission measurements and for the calibration of automated measuring systems (AMS), either standard reference methods (SRM) that are specified in VDI Standards and DIN Standards, or, if such standardized methods are not available, other validated measurement methods are used. The validation of a measurement method as part of the standardization process provides the relevant performance characteristics. Accredited testing laboratories are obliged to verify these performance characteristics before applying the method.

When calibrating AMS according to DIN EN 14181, the uncertainty of the measured values determined by the SRM is directly determined and taken into account by the uncertainty approach of DIN EN 14181. For random emission measurements, there is the need to separately determine the

dagegen die Notwendigkeit, die Unsicherheit der mit dem verwendeten SRM ermittelten Messergebnisse getrennt zu ermitteln.

### Änderungen zur VDI 4219:2009

Die erste Ausgabe der VDI 4219 aus dem Jahr 2009 behandelte die Ermittlung der Unsicherheit von Emissionsmessungen mit diskontinuierlichen Messverfahren. Dabei handelt es sich um manuelle und häufig nasschemische Messverfahren.

Für diese Verfahren beschrieb die VDI 4219:2009 mit einem indirekten Ansatz auf Basis einer statischen Modellgleichung und einem direkten Ansatz auf Basis von Doppelbestimmungen zwei gleichwertige Ansätze zur Ermittlung der Messunsicherheit.

Seit Veröffentlichung der VDI 4219:2009 wurden für viele Messkomponenten direkt messende automatische Messverfahren entwickelt, die in Normen und Richtlinien beschrieben sind. Insbesondere für diese automatischen Messverfahren ist die Gleichwertigkeit von indirektem und direktem Ansatz nicht gegeben, weil bei Doppelbestimmungen mit zwei identischen Analysatoren viele Unsicherheitsquellen nicht mehr getrennt erfasst werden können. Darüber hinaus hat die Praxis gezeigt, dass auch bei manuellen Messverfahren eine vollständige Erfassung aller Unsicherheitsquellen durch Doppelbestimmungen häufig nicht gegeben ist.

Weiterhin hat die Praxis gezeigt, dass bei einer nicht repräsentativen Erfassung der Messgröße durch nicht normgerechte Messstrecken eine Quantifizierung des resultierenden Unsicherheitsbeitrags, wie in der VDI 4219:2009 beschrieben, nur schwer möglich ist.

In der VDI 4220 Blatt 2 wird vor diesem Hintergrund nur gefordert, im Messbericht auf nicht normkonforme Messstrecken und auf Möglichkeiten zur Verbesserung der Messbedingungen hinzuweisen, damit die zuständige Behörde diese veranlassen kann.

Die vorliegende Richtlinie berücksichtigt die dargestellte Situation und enthält die folgenden wesentlichen Änderungen:

- Ermittlung der Messunsicherheit von Messwerten bei Emissionsmessungen ausschließlich mit dem indirekten Ansatz
- Berücksichtigung manueller und automatischer Messverfahren
- Anwendung des direkten Ansatzes auf Basis von Doppelbestimmung nur zur Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse, die mit dem indirekten Ansatz gewonnen wurden

uncertainty of the measurement results obtained with the SRM.

### Changes to VDI 4219:2009

The first edition of VDI 4219 from 2009 dealt with the determination of the uncertainty of emission measurements with discontinuous measurement methods. These are manual and often wet-chemical measurement methods.

For these methods, VDI 4219:2009 described two equivalent approaches for determining the measurement uncertainty by an indirect approach based on a static model equation and a direct approach based on paired measurements.

Since the publication of VDI 4219:2009, directly measuring automated measurement methods have been developed for many measured components, which are described in standards and guidelines. Particularly for these automated measurement methods, the equivalence of the indirect and the direct approach is not given, because in the case of paired measurements with two identical analysers, many sources of uncertainty can no longer be determined separately. In addition, practice has shown that even with manual measurement methods, a complete coverage of all sources of uncertainty by paired measurements is often not possible.

Furthermore, practice has shown that in the case of a non-representative determination of the measurement and by non-standardized measurement sections, a quantification of the resulting uncertainty contribution, as described in VDI 4219:2009, is only possible with difficulty.

Against this background, VDI 4220 Part 2 only requires that non-standardized measurement sections and possibilities for improving the measuring conditions be indicated in the measurement report so that the competent authority can arrange for them.

The present standard takes the presented situation into account and contains the following essential changes:

- determination of the measurement uncertainty of measured values for emission measurements exclusively with the indirect approach
- consideration of manual and automated measurement methods
- application of the direct approach on the basis of paired measurements only for checking the plausibility of results obtained with the indirect approach

- detailliertere Behandlung des Gültigkeitsbereichs der bei der Verfahrensverifizierung ermittelten Messunsicherheit
- Vereinfachung der Darstellung der statistischen Modellgleichung im Hauptteil der Richtlinie durch Streichung der in der Praxis meist vermeidbaren Kovarianzen und Darstellung einer vollständigen Modellgleichung in einem Anhang der Richtlinie
- Streichung der Quantifizierung des Unsicherheitsbeitrags durch eine nicht repräsentative Erfassung der Messgröße durch nicht normgerechte Messstrecken
- more detailed treatment of the range of validity of the measurement uncertainty determined during method verification
- simplification of the presentation of the statistical model equation in the main part of the standard by deletion of the covariances, which are mostly avoidable in practice, and presentation of a complete model equation in an annex of the standard
- deletion of the quantification of the uncertainty contribution by a non-representative determination of the measurand by non-standardized measurement sections

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie legt Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit von Messwerten, die bei stichprobenartigen Emissionsmessungen mit manuellen oder automatischen Messverfahren ermittelt werden, fest.

Die nach dieser Richtlinie ermittelte Messunsicherheit kann beispielsweise zur Beurteilung von Messergebnissen für Einzelmessungen zur Überwachung von Emissionsgrenzwerten verwendet werden.

Die in dieser Richtlinie beschriebene Vorgehensweise zur Ermittlung der Messunsicherheit gilt für die Anwendung von Standardreferenzverfahren oder anderen validierten Messverfahren in dem vom Anwender festgelegten Gültigkeitsbereich.

Diese Richtlinie setzt die allgemeinen Empfehlungen des *Leitfadens zur Angabe der Unsicherheit beim Messen* (ISO/IEC Guide 98-3) sowie die grundsätzlichen Anforderungen der DIN EN ISO 20988 um.

## 1 Scope

This standard specifies methods for determining the measurement uncertainty of measured values obtained by random emission measurements with manual or automated measurement methods.

The measurement uncertainty determined in accordance with this standard can be used, for example, to assess the results of individual measurements for monitoring emission limit values.

The procedure for determining measurement uncertainty as described in this standard applies to the use of standard reference methods or other validated measurement methods within the range of validity specified by the user.

This standard implements the general recommendations of the *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (ISO/IEC Guide 98-3) and the specific requirements of DIN EN ISO 20988.