

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Messen von Immissionen
Messen von Außen- und Innenraumluft
Messen von schwerflüchtigen und persistenten halogenorganischen Verbindungen (POP) mit GC-HRMS
Ambient air measurement
Outdoor and indoor air measurement
Measurement of semi-volatile and persistent organic pollutants (POPs) with GC-HRMS

VDI 2464
Blatt 4 / Part 4

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	4	1 Scope	4
2 Normative Verweise	6	2 Normative references	6
3 Begriffe	7	3 Terms and definitions	7
4 Abkürzungen	8	4 Abbreviations	8
5 Grundlagen des Verfahrens	9	5 Fundamentals of the method	9
6 Geräte und Betriebsmittel	10	6 Equipment and materials	10
6.1 Geräte für die Probenahme	10	6.1 Sampling equipment	10
6.2 Betriebsmittel für die Probenahme.....	13	6.2 Materials for sampling.....	13
6.3 Geräte für die Analyse	18	6.3 Analytical equipment.....	18
6.4 Chemikalien für die Analyse.....	18	6.4 Analytical chemicals.....	18
6.5 Isotopenmarkierte Standards.....	19	6.5 Isotope-labelled standards.....	19
7 Durchführung der Probenahme	19	7 Performing the sampling	19
8 Analyse	21	8 Analysis	21
8.1 Extraktion.....	21	8.1 Extraction.....	21
8.2 Probenaufarbeitung	22	8.2 Sample processing	22
9 Identifizierung und Quantifizierung	23	9 Identification and quantification	23
9.1 Gaschromatografie/ Massenspektrometrie	23	9.1 Gas chromatography/ mass spectrometry	23
9.2 Aufstellen der Analysefunktion	33	9.2 Setting up the analytical function	33
9.3 Kalibrierung und Überprüfung des GC-MS-Systems	33	9.3 Calibration and verification of the GC-MS system	33
9.4 Überprüfung des Verfahrens, Blindwertbestimmung	34	9.4 Method verification, blank determination	34
9.5 Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze	35	9.5 Limit of detection and quantification limit.....	35
9.6 Quantifizierung	36	9.6 Quantification	36
9.7 Wiederfindung	36	9.7 Recovery.....	36
9.8 Berechnung und Angabe der Ergebnisse .	37	9.8 Calculating and reporting the results	37
10 Verfahrenskenngrößen	38	10 Performance characteristics	38
10.1 Bestimmungsgrenzen	38	10.1 Quantification limits	38
10.2 Kontrolle des Durchbruchvolumens	41	10.2 Controlling the breakthrough volume	41
10.3 Störung.....	41	10.3 Disruptions.....	41

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

Fachbereich Umweltmesstechnik

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

Inhalt	Seite
Anhang A Glasfaserfilterexposition auf der Zugspitze	43
Anhang B Durchbruchs- und Verlustuntersuchungen auf der Zugspitze.....	44
Anhang C Ergebnisse einer Innenraumprobenahmekampagne	56
Anhang D Summenchromatogramme selektiver Ionenmassen der nativen und isotoopenmarkierten Verbindungen einer Außenluftprobe.....	62
Anhang E Strukturen.....	64
Schrifttum	70

Contents	Page
Annex A Glass fibre filter exposure on the Zugspitze	43
Annex B Breakthrough and loss investigations on the Zugspitze.....	44
Annex C Results of an indoor sampling campaign.....	56
Annex D Multiple-ion chromatograms of selected ion masses of the native and isotope-labelled compounds of an ambient air sample.....	62
Annex E Structures.....	64
Bibliography.....	70

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 Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2464.

Einleitung

Persistente, also langlebige, organische Verbindungen, auch POP (Persistent Organic Pollutants) genannt, können sich aufgrund ihrer Lipophilie und ihrer geringen Abbaubarkeit in der Biosphäre anreichern. Die atmosphärische Verfrachtung dieser Substanzen aus den Emissions- oder Anwendungsgebieten vor allem in kalte Regionen haben dazu geführt, dass diese Stoffe mittlerweile nicht nur in höheren Lagen der Alpen [1] oder der Rocky Mountains [2], sondern auch in den entlegensten Gebieten der Erde, z.B. in der Arktis und Antarktis, nachweisbar sind [3].

Obwohl die Minimierungsbemühungen in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem teilweise erfolgten Produktionsstopp und Einsatzverbot insbesondere in Europa und Nordamerika geführt haben, sind sie in den verschiedenen Umweltmedien immer noch stark verbreitet.

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 can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2464.

Introduction

Persistent, i.e. long-lasting, organic compounds, also referred to as POPs (persistent organic pollutants), can accumulate in the biosphere due to their lipophilic properties and their low degradability. The atmospheric transport of these substances from the point of emission or use, first and foremost in cold regions, has resulted in these substances being detectable now not only in the higher reaches of the Alps [1] or the Rocky Mountains [2], but also in the most remote parts of the earth, e.g. in the Arctic and the Antarctic [3].

Although mitigation efforts over the past two decades have resulted in a partial discontinuation of production and prohibition on use, especially in Europe and North America, they are still significantly widespread in various environmental media.

Die Wirkungsweisen von POP sind immer noch nicht vollständig aufgeklärt, besonders das öko- und humantoxikologische Potenzial und mögliche endokrine Wirkungen betreffend. Eine hinreichende Beurteilung der Gesundheits- und Umweltrisiken dieser langlebigen organischen Verbindungen kann aufgrund der derzeit verfügbaren Erkenntnisse nicht für alle der hier betrachteten Stoffe in ausreichendem Maß vorgenommen werden. Aus Vorsorgegründen wird daher empfohlen, das Vorkommen dieser Stoffe in der Umwelt zu beobachten [4].

Mit der POP-/Stockholmer Konvention [5] werden die Herstellung und der Gebrauch von neun Organochlorpestiziden (Aldrin, Chlordan, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorbenzol (auch als Nebenprodukt), Mirex, Toxaphen), einer Gruppe von Industriechemikalien (polychlorierte Biphenyle, PCB) sowie zwei Gruppen unerwünschter Nebenprodukte (polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane, PCDD/PCDF) eingeschränkt bzw. oder verboten. Diese Stoffe und Stoffgruppen werden auch als das „schmutzige Dutzend“ („dirty dozen“) bezeichnet.

2009 wurde die POP-Liste unter der Stockholmer Konvention [5] um neun Stoffe erweitert. Dazu gehören die Pestizide bzw. Pestizidnebenbestandteile Chlordecon, α -Hexachlorcyclohexan, β -Hexachlorcyclohexan und Lindan (γ -Hexachlorcyclohexan) sowie die Industriechemikalien Hexabrombiphenyl, Tetrabromdiphenylether und Pentabromdiphenylether, Hexabromdiphenylether und Heptabromdiphenylether, Pentachlorbenzol (auch als Nebenprodukt) und Perfluorooctansulfonsäure (inklusive der Salze und Perfluorooctansulfonylfluorid). 2011 wurde die Konvention um technisches Endosulfan und damit verbundene Isomere ergänzt. Das Flammenschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCDD) wurde 2013 neu aufgenommen. 2015 wurden Polychlorierte Naphthaline (PCN), Hexachlorbutadien (HCBd) und Pentachlorphenol (PCP) inklusive seiner Salze und Ester in die POP-Konvention aufgenommen.

Die Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) umfasst Verbindungen, deren Grundgerüst aus zwei und mehr kondensierten Benzolringen besteht. Die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sind in Kerogen und Kerogenprodukten bereits enthalten und entstehen als Nebenprodukte unvollständiger Verbrennung organischer Materialien, z.B. Holz und fossile Rohstoffe. Wichtige Emittenten sind derzeit Kohle- und Ölkraftwerke, Verbrennungsmotoren und Kleinf Feuerungsanlagen. Hauptexposition für den Menschen kann das Rauchen und die Aufnahme über gebrillte,

The modes of action of POPs are still not completely understood, in particular with regard to their ecotoxic and human toxic potential and possible endocrine effects. Given the current state of knowledge, an adequate assessment of the health and environmental risks of these long-lasting organic compounds cannot be conducted satisfactorily for all the substances considered here. For precautionary reasons, therefore, it is advisable to monitor the presence of these substances in the environment [4].

Under the Stockholm Convention on persistent organic pollutants [5], the production and use of nine organochlorine pesticides (aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene (also as a by-product), Mirex, Toxaphene), a group of industrial chemicals (polychlorinated biphenyls, PCBs), and two groups of undesirable by-products (polychlorinated dibenzop-dioxins and dibenzofurans, PCDDs/PCDFs) are restricted or prohibited. These substances and substance groups are also referred to as the “dirty dozen”.

The Stockholm Convention’s POPs list [5] was extended in 2009 by nine further substances. They include the pesticides and minor constituents of pesticides chlordecone, α -hexachlorocyclohexane, β -hexachlorocyclohexane, and lindane (γ -hexachlorocyclohexane), and the industrial chemicals hexabromobiphenyl, tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenylether, hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, pentachlorobenzene (also as a by-product), and perfluorooctanesulfonic acid (including its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride). The Convention was supplemented in 2011 by adding technical endosulfan and associated isomers. The flame retardant hexabromocyclododecane (HBCDD) was newly added in 2013. Polychlorinated naphthalene (PCN), hexachlorobutadiene (HCBd), and pentachlorophenol (PCP) inclusive its salts and esters were added to the list in 2015.

The group of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) comprises compounds whose basic structure consists of two or more condensed benzene rings. Polycyclic aromatic hydrocarbons are already contained in kerogen and kerogen products, being generated as by-products of incomplete combustion of organic substances, e.g. wood and fossil raw materials. Currently, important emitters include coal and oil power stations, internal combustion engines, and small-scale furnaces. The main exposure for humans can be smoking and absorption from grilled, toasted, or smoked foods.

getoastete oder geräucherte Lebensmittel sein. Einige PAK sind starke Karzinogene und/oder Mutagene.

Seitdem die US-EPA insgesamt 16 Verbindungen als prioritäre Stoffe spezifiziert hat, gilt die Analytik dieser Stoffliste international als Referenz bei der Bearbeitung umweltrelevanter Fragestellungen (z.B. Quellenzuordnung und -suche von POP-Belastungen in der Umwelt).

Die in der Stockholmer Liste ebenfalls aufgeführten Stoffgruppen und Verbindungen PCDD/PCDF, Toxaphene und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) werden in dieser Richtlinie nicht beschrieben. Für die Analyse von PCDD/PCDF muss, um eine ausreichende Bestimmungsgrenze zu erreichen, ein wesentlich höheres Probenvolumen gesammelt werden. Dies gilt in noch stärkerem Maße für bromierte Flammschutzmittel. Weiterhin ist ein zusätzlicher Reinigungsschritt notwendig, der in dem hier beschriebenen Verfahren nicht vorgesehen ist. Für die Analyse von PCDD/PCDF ist somit die Einhaltung der Richtlinie VDI 3498 Blatt 1 und Blatt 2 erforderlich. Toxaphene kommen in Mitteleuropa in der Außenluft nur in geringen Konzentrationen vor und erfordern eine aufwendigere Analytik. PFOS erfordert für die GC-MS-Analyse eine Derivatisierung oder eine LC/MS-Analyse, beides wird hier nicht beschrieben.

Wenn allein die PCB analysiert werden sollen, wird die Anwendung der Richtlinien VDI 2464 Blatt 1 und Blatt 2 empfohlen, analog wird für die alleinige Analyse von PBDE und HBCDD die Anwendung von VDI 2464 Blatt 3 empfohlen.

1 Anwendungsbereich

In dieser Richtlinie werden Handlungsanweisungen zur Ermittlung der Konzentration der in Tabelle 1 in Abschnitt 5 zusammengestellten Verbindungen in der Außenluft und der Innenraumluft festgelegt.

Das Verfahren beinhaltet die Probenahme und Analytik von zahlreichen persistenten halogenorganischen Verbindungen (POPs) der Stockholmer Liste mit GC-HRMS als Summe von Gas- und Partikelphase in der Luft. Dabei wird die Analyse mehrerer Substanzgruppen kombiniert und damit die Analyse und Bewertung von Mischexpositionen unter Zeit- und Kostenersparnis und mit einem großen Informationsgewinn ermöglicht. Wegen der Vielzahl der Analyten und weil nicht für alle Analyten Doppelbestimmungen möglich waren, ist es notwendig, bei zukünftigen quantitativen Analysen die entsprechenden Verfahrenskenngrößen (z.B. Messunsicherheiten, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen) und den Anwendungsbereich eigenständig zu ermitteln.

Some PAHs are powerful carcinogens and/or mutagens.

Since the USA's EPA has specified a total of 16 compounds as priority substances, the analytics of this substance list are deemed internationally as a reference in dealing with environmentally relevant issues (e.g. source classification and identification for POPs pollution in the environment).

The substance groups and compounds PCDDs/PCDFs, Toxaphene, and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS), also included in the Stockholm list, are not described in this standard. The analysis of PCDDs/PCDFs requires a significantly higher sample volume to be collected in order to achieve an adequate quantification limit. This applies even more strongly to brominated flame retardants. Moreover, an additional purification step is needed, which is not envisaged in the method described here. The analysis of PCDDs/PCDFs, therefore, requires compliance with VDI 3498 Part 1 and Part 2. In central Europe, Toxaphene is present in the ambient air only in low concentrations, and requires more elaborate analysis. PFOS requires for GC-MS analysis a derivatisation or LC/MS analysis, neither of which is described here.

If only PCBs are to be analysed, it is recommended to implement VDI 2464 Part 1 and Part 2. Analogously, the implementation of VDI 2464 Part 3 is recommended for the exclusive analysis of PBDEs and HBCDD.

1 Scope

This standard provides instructions for determining the concentration of the compounds listed in Table 1 (Section 5) in the ambient air and the indoor air.

The method includes the sampling and analysis of numerous persistent organohalogen compounds (POPs) from the Stockholm list using GC-HRMS as a sum of the gaseous and particulate phase in the air. The analysis of several substance groups is combined, making possible the analysis and evaluation of mixed exposures, benefitting from time- and cost-savings and from a significant information gain. Due to the large number of analytes and because duplicate measurements were not possible for all the analytes, future quantitative analyses will require separate determination of the relevant method parameters (e.g. measurement uncertainties, detection and quantification limits) and of the scope.

Die Stoffgruppe der PAK kann in den Anwendungsbereich einbezogen werden.

Für Außenluft beschreibt die Richtlinie ein Verfahren zur Langzeitprobenahme bis zu einem Zeitraum von drei Monaten mit einem Probenahmenvolumen von 200 m³ bis 1500 m³ in Reinluftgebieten sowie ländlichen Hintergrundgebieten. Erfahrungen für den Einsatz an Standorten in der Nähe von (potenziellen) POP-Emissionsquellen, z.B. Ballungsräumen, liegen bisher nicht vor. Für die Bestimmung der in dieser Richtlinie betrachteten Stoffe muss an solchen Standorten die Abscheidewirksamkeit des Verfahrens für den höheren Konzentrationsbereich belegt werden.

Bei der Probenahme können durch reaktive Luftbestandteile, z.B. Ozon-, OH-, HO₂-, RO₂- und NO₃-Radikale insbesondere PAK transformiert werden (siehe Anhang A bis Anhang C) [5 bis 9]. Dieser Transformationsanteil hängt ab von der Probenahmedauer und möglicherweise von der Konzentration dieser reaktiven Luftbestandteile, die aufgrund meteorologischer Bedingungen stark variieren kann. Für Benzo[a]pyren [8; 9], Benzo[a]anthracen und Anthracen [6; 7; 10] dürfen Probenahmezeiten von 24 h nicht überschritten werden, da auffällige Verlusten festgestellt wurden.

Das hier beschriebene Verfahren dient nicht der Überwachung des in der EU geltenden Immissionszielwerts für Benzo[a]pyren von 1 ng/m³ im Jahresmittel. Dieses muss nach dem in der 39. BImSchV festgelegten Verfahren der Norm DIN EN 15549:2008-06 erfolgen. In der Norm DIN CEN/TS 16645 ist die Analyse von weiteren partikelgebundenen PAK beschrieben.

Bei dem hier beschriebenen Verfahren können aufgrund seiner Komplexität jedoch zum Teil nicht die Qualitätsanforderungen an die Nachweisempfindlichkeit erbracht werden, wie dies beispielsweise in VDI 2464 Blatt 2 und Blatt 3 für die einzelnen Verbindungsklassen (dioxinähnliche PCB, PBDE) sowie VDI 3498 Blatt 1 und Blatt 2 (PCDD/F) sichergestellt ist. Wenn die Nachweisgrenzen des hier beschriebenen Verfahrens für die Analyse der dioxinähnlichen PCB oder der PBDE und PCDD/F nicht ausreichend ist, muss daher auf VDI 2464 Blatt 2 oder VDI 2464 Blatt 3 sowie VDI 3498 Blatt 1 und Blatt 2 zurückgegriffen werden.

The substance group of PAHs can be included in the scope.

For ambient air, the standard describes a method for long-term sampling over a period of up to three months with a sampling volume of 200 m³ to 1500 m³ in clean air and remote rural regions. Thus far, no experience is available for implementation at sites in the vicinity of (potential) POPs emission sources, e.g. conurbations. Determining the substances considered in this standard at such sites, requires verification of the method's separation efficiency in the higher concentration range.

During sampling, PAHs in particular can be transformed by reactive air components, e.g. ozone, OH-, HO₂-, RO₂-, and NO₃ radicals (see Annex A to Annex C) [5 to 9]. This transformed fraction depends on the sampling duration and possibly on the concentration of these reactive air components, which can vary considerably due to meteorological conditions. For benzo[a]pyrene [8; 9], benzo[a]anthracene, and anthracene [6; 7; 10], sampling times of 24 hours are not allowed to be exceeded since significant loss rates have been recorded.

The method described here is not intended for monitoring the EU's current immission target for benzo[a]pyrene of 1 ng/m³ as an annual mean. Such monitoring has to be done in accordance with the DIN EN 15549:2008-06 method stipulated in the 39th Ordinance to Implement the Federal Immission Control Act (39. BImSchV). DIN CEN/TS 16645 describes the analysis of further particle-bonded PAHs.

Due to the complexity of the method described here, however, the quality requirements in terms of detection sensitivity cannot always be met, as for example is ensured in VDI 2464 Part 2 and Part 3 for the separate compound classes (dioxin-like PCBs, PBDEs) and in VDI 3498 Part 1 and Part 2 (PCDD/F). If the detection limits of the method described here are inadequate for the analysis of dioxin-like PCBs, PBDEs, or PCDD/F, therefore, VDI 2464 Part 2 or VDI 2464 Part 3, as well as VDI 3498 Part 1 and Part 2 have to be resorted to.

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 EN ISO 16000-1:2006-06 Innenraumluftverunreinigungen; Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (Indoor air; Part 1: General aspects of sampling strategy (ISO 16000-1:2004); German version EN ISO 16000-1:2006)

DIN EN ISO 16000-12:2008-08 Innenraumluftverunreinigungen; Teil 12: Probenahmestrategie für polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) (Indoor air; Part 12: Sampling strategy for polychlorinated biphenyls (PCBs), polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (ISO 16000-12:2008); German version EN ISO 16000-12:2008)

DIN ISO 12884:2000-12 Außenluft; Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe; Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien und anschließender gaschromatographischer/massenspektrometrischer Analyse (ISO 12884:2000) (Ambient air; Determination of total (gas and particle phase) polycyclic aromatic hydrocarbons; Collection on sorbent-backed filters with gas chromatographic/mass spectrometric analysis (ISO 12884:2000))

VDI 2463 Blatt 7:2014-05 Messen von Partikeln; Erfassung von Schwebstaub und gasförmigen chemischen Verbindungen in Außenluft und Innenraumluft; Aktive Probenahme mittels Low-Volume-Sampler (LVS) (Particulate matter measurement; Determination of suspended particulate matter and gaseous chemical compounds in ambient air and indoor air; Active sampling via low-volume sampler (LVS))

VDI 2463 Blatt 8:2014-05 Messen von Partikeln; Erfassung von Schwebstaub in Außenluft und Innenraumluft; Nicht fraktionierendes Probenahmesystem für Low-Volume-Sampler (LVS) (Particulate matter measurement; Determination of suspended particulate matter in ambient air and indoor air; Non-fractionating sampling system for low-volume samplers (LVS))

VDI 2464 Blatt 1:2009-09 Messen von Immissionen; Messen von Innenraumluft; Messen von poly-

chlorierten Biphenylen (PCB); GC-MS-Verfahren für PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (Ambient air measurement; Indoor air measurement; Measurement of polychlorinated biphenyls (PCBs); GC-MS method for PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180)

VDI 2464 Blatt 2:2009-09 Messen von Immissionen; Messen von Innenraumluft; Messen von polychlorierten Biphenylen (PCB); HR-GC/HR-MS-Verfahren für coplanare PCB (Ambient air measurement; Indoor air measurement; Measurement of polychlorinated biphenyls (PCBs); HR-GC/HR-MS method for coplanar PCBs)

VDI 2464 Blatt 3:2012-07 Messen von Immissionen; Messen von Innenraumluft; Messen von polybromierten Diphenylethern, Hexabromcyclododecan und Hexabrombenzol mit GC-MS (Ambient air measurement; Indoor air measurement; Measurement of polybrominated diphenylether, hexabromocyclododecane and hexabromobenzene by GC-MS)

VDI 3498 Blatt 1:2002-07 Messen von Immissionen; Messen von Innenraumluft; Messen von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen; Verfahren mit großem Filter (Ambient air measurement; Indoor air measurement; Measurement of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans; Method using large filters)

VDI 3498 Blatt 2:2002-07 Messen von Immissionen; Messen von Innenraumluft; Messen von polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen in der Außen- und Innenraumluft; Verfahren mit kleinem Filter (Ambient air measurement; Indoor air measurement; Measurement of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans; Method using small filters)

VDI 4300 Blatt 1:1995-12 Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Allgemeine Aspekte der Messstrategie (Indoor-air pollution measurement; General aspects of measurement strategy)

VDI 4300 Blatt 2:1997-12 Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (Indoor-air pollution measurement; Measurement strategy for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and polychlorinated biphenyle (PCBs))