

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Abgasreinigung
Minderung von anorganischen und
organischen Spurenstoffen in Abgasen von
Verbrennungsprozessen (Rauchgasen)

VDI 3927

Blatt 2 / Part 2

Waste gas cleaning
Reduction of inorganic and organic trace
species in combustion flue gases

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesan-
zeiger 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 authorita-
tive. No guarantee can be given with respect to the English trans-
lation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	3	Introduction	3
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Begriffe	4	2 Terms and definitions	4
3 Abkürzungen	12	3 Abbreviations	12
4 Rechtlicher Hintergrund	13	4 Legal background	13
5 Allgemeine Hinweise	14	5 General notes	14
6 Thematisch relevante VDI-Richtlinien	15	6 Thematically relevant VDI Standards	15
7 Grundlagen	16	7 Fundamentals	16
7.1 Stoffgruppen	16	7.1 Substance groups	16
7.2 Stoffbeschreibungen	17	7.2 Description of substances	17
8 Katalytische Verfahren	40	8 Catalytic processes	40
8.1 Verfahrenstechnische Grundlagen	40	8.1 Process principles	40
8.2 Ausgeführte Anlagen	45	8.2 Implemented systems	45
8.3 Energie- und Betriebsmittelverbräuche	48	8.3 Energy and utility consumption levels	48
8.4 Sicherheitstechnische Besonderheiten	48	8.4 Special safety aspects	48
9 Adsorptionsverfahren	50	9 Adsorption processes	50
9.1 Verfahrenstechnische Grundlagen	50	9.1 Process principles	50
9.2 Technische Ausführungen und Leistungsdaten	53	9.2 Commercial systems and performance data	53
9.3 Verarbeitung/Verwertung der beladenen Adsorbentien	60	9.3 Reuse/disposal of spent adsorbents	60
9.4 Energie- und Betriebsmittelverbräuche	62	9.4 Energy and utility consumption levels	62
9.5 Sicherheitstechnische Besonderheiten	62	9.5 Special safety aspects	62

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Fachbereich Umweltschutztechnik

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 6: Abgasreinigung – Staubtechnik

	Seite
10 Absorptionsverfahren	64
10.1 Verfahrenstechnische Grundlagen	64
10.2 Technische Ausführungen	66
10.3 Energie- und Betriebsmittelverbräuche	66
11 Abwasser aus der Abgasreinigung	66
11.1 Allgemeines	66
11.2 Verfahrenstechnische Grundlagen der Abwasserreinigung	67
11.3 Ausgeführte Anlagen	68
12 Verfahrenstechnische Besonderheiten der Quecksilberminderung	73
12.1 Allgemeines	73
12.2 Rohgasseitige Verfahren zur Optimierung der Quecksilberminderung in Wäschern	74
12.3 Quecksilberminderung durch Absorption in der Wäsche	78
12.4 Ausgeführte Anlagen	92
12.5 Energie- und Betriebsmittelverbräuche	92
12.6 Sicherheitstechnische Besonderheiten.	94
13 Andere Verfahren	94
13.1 Kondensationsverfahren	95
13.2 Katalytische Kombinationsverfahren (Filter-schichtreaktoren mit katalytisch wirkendem Filtermedium)	97
13.3 Adsorption an ein Polymer	99
13.4 Schwefelrückführung	99
14 Betrieb der Abscheideanlagen.	102
Schrifttum	103
Benennungsindex englisch – deutsch	110

	Seite
10 Absorption processes	64
10.1 Process principles	64
10.2 Implemented systems	66
10.3 Energy and utility consumption levels	66
11 Scrubber effluent treatment	66
11.1 General	66
11.2 Process principles of scrubber effluent treatment.	67
11.3 Implemented systems	68
12 Special process features of mercury removal	73
12.1 General	73
12.2 Raw-gas side techniques to optimise mercury removal in wet scrubbers	74
12.3 Mercury removal by absorption in the wet scrubber	78
12.4 Implemented systems	92
12.5 Energy and utility consumption levels	92
12.6 Special safety aspects	94
13 Other processes	94
13.1 Condensation process	95
13.2 Catalytic combination process (Filter cake reactors using a catalytically active filter medium)	97
13.3 Adsorption on a polymer	99
13.4 Sulphur recirculation	99
14 Operation of flue gas cleaning systems	102
Bibliography	103
Term index English – German	110

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/3927.

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/3927.

Einleitung

Anorganische und organische Spurenstoffe stehen insbesondere wegen ihrer Persistenz in der besonderen Aufmerksamkeit des Gesetzgebers und der Allgemeinheit. Es sind noch nicht für alle Stoffe Grenzwerte benannt. Doch machen zunehmend empfindliche Messtechniken eine Erfassung bis hin zu geringsten Konzentrationen möglich, sofern man die relevanten Stoffe und Stoffgruppen eines Abgases kennt. Für die in VDI 3927 Blatt 1 behandelten Schadstoffe liegen zum Teil langjährige Erfahrungen mit der Abgasreinigung vor. Für die Abgasreinigung von Spurenstoffen werden jedoch immer wieder neue Erkenntnisse mitgeteilt und neue Forschungsergebnisse veröffentlicht. Die dafür entwickelten Verfahren werden ständig verfeinert und hinsichtlich der Wirksamkeit optimiert. Die Minderung anorganischer und organischer Spurenstoffe steht in Wechselwirkung mit den in der Richtlinie VDI 3927 Blatt 1 behandelten Schadstoffen. Der Gedanke der simultanen Minderung möglichst vieler Substanzen steht im Vordergrund der Entwicklungen. Daher ist eine differenziertere Betrachtungsweise unter Hinzuziehen chemischer und physikalischer Grundlagen ungleich wichtiger als bei den in VDI 3927 Blatt 1 behandelten Schadstoffen, die auch üblicherweise in bedeutend höheren Konzentrationen vorliegen. In Kenntnis dieser Grundlagen kann auch eine Relevanzdiskussion konkreter und sachlicher geführt werden.

In dieser Richtlinie werden nur diejenigen Anteile an Spurenstoffen betrachtet, die nicht in Rostaschen oder Kesselaschen eingebunden sind. Die darin enthaltenen Spurenstoffe sind üblicherweise stabil in eine feste Matrix eingebaut und gelangen nicht ins Abgas. Im Rahmen der Entsorgung entsprechend abgeschiedener Fraktionen ist vor allem das Potenzial ihrer Elution zu betrachten. Jedoch wird das Ableiten von Abwasser als Emissionspfad im Zusammenhang mit absorptiven Verfahren betrachtet, da neue Erkenntnisse zur Relevanz einzelner Spurenstoffe wie auch deren Verbleib erweiterte Betrachtungen notwendig machen.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie VDI 3927 Blatt 2 behandelt Verfahren der Abgasreinigung zur Minderung anorganischer und organischer Spurenstoffe.

In erster Linie gelten die folgenden Ausführungen für Abgase aus Feuerungs- oder Verbrennungsanlagen gemäß 13. BImSchV oder 17. BImSchV, die Anlagen zur Energieumwandlung oder zur energetischen Verwertung von Abfällen betreffen und deren thermische Prozesse mit Sauerstoffüberschuss betrieben werden.

Introduction

Inorganic and organic trace species are substances of major concern to the regulator and the general public because of their persistence. To date, not all the species are regulated by limit values. However, as measuring technologies are becoming ever more sensitive, trace species can be detected down to minute concentrations, provided that the relevant substances and substance groups are known. While many years of experience are available with the control of the air pollutant emissions covered by VDI 3927 Part 1, ever new findings are reported and new research results published for the control of trace species emissions. The processes developed for this purpose are being continuously refined and optimised for efficiency. There is an interaction between the removal of inorganic and organic trace species and the pollutants covered by VDI 3927 Part 1. Current development efforts focus on a multi-pollutant removal strategy. For this reason, a differentiated approach taking into consideration the fundamental chemical and physical mechanisms involved is much more important for trace species removal than for the control of the air pollutants covered by VDI 3927 Part 1, which are usually also present in much higher concentrations. Moreover, the knowledge of the underlying chemical and physical mechanisms will provide a sounder and more objective basis for the relevance discussion.

This standard only addresses those trace species fractions that are not trapped in the bottom or boiler ash. The trace species present in these combustion residues are normally firmly bound in a solid matrix and are not released back to the flue gas. An assessment of the elution potential of these solid residues is critical to the selection of their disposal route. By contrast, the emission pathway via the waste water of the absorption processes will be addressed, as new findings on the relevance of individual trace species and their fate require an extended analysis.

1 Scope

Standard VDI 3927 Part 2 covers flue gas cleaning processes for the removal of inorganic and organic trace species.

The process technologies presented apply primarily to combustion flue gases from utility boilers or waste incinerators as per the 13th or 17th BImSchV (German Federal Immission Control Ordinance), i.e. energy conversion or waste-to-energy plants using thermal processes that are operated with an oxygen excess.

Auf Prozessanlagen können diese Ausführungen nur bedingt übertragen werden. Dabei spielen prozessinterne Kreisläufe eine spezifische Rolle, die in den einschlägigen VDI-Richtlinien (z.B. VDI 3460, VDI 3462 Blatt 4, VDI 3462 Blatt 5, VDI 2094, VDI 2578) ausführlich beschrieben sind. Gleichwohl sind einzelne Technologien, die in dieser VDI 3927 Blatt 2 vorgestellt werden, auch für Nachreinigungsschritte hinter Prozessanlagen anwendbar, soweit sie aufgrund besonderer standortbedingter behördlicher Auflagen erforderlich werden. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn gemäß 17. BImSchV eine Mitverbrennung in Prozessanlagen vorgenommen wird.

Nach einer ausführlichen Darstellung der physikalischen und chemischen Grundlagen der relevanten Stoffgruppen bzw. ausgewählter Einzelstoffe aus diesen Gruppen werden dem Stand der Technik entsprechende verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Minderung dieser Stoffe in Abgasen beschrieben und anhand von Beispielen erläutert.

Diese Beispiele dienen der Veranschaulichung der theoretischen Ausführungen sowie einem besseren Verständnis der fachspezifischen Zusammenhänge und stellen bezüglich der ausgewählten Anlagenarten weder eine Wertung noch eine präjudizierende Aussage zu notwendigen Emissionsminderungsmaßnahmen dar. Die dargestellten Messwerte und Betriebsergebnisse gelten nur für den jeweiligen Anwendungsfall und dürfen nur als Beispiele angesehen werden. Eine unmittelbare Übertragbarkeit auf Anlagen mit anderen Randbedingungen oder auf andere Anlagenarten ist deshalb nicht ohne Weiteres zulässig. Daher erfolgt auch keine vergleichende technische und ökonomische Bewertung.

In dieser Richtlinie werden die Emissionen aus Verbrennungsmotoren und Vergasungsverfahren nicht behandelt.

Die Richtlinie VDI 3927 Blatt 1 behandelt Verfahren der Abgasreinigung zur Minderung folgender gas- und aerosolförmiger luftfremder Stoffe: Schwefeloxide, Stickstoffoxide und Halogenide aus Abgasen von Feuerungs- und Verbrennungsprozessen.

The technologies presented in this standard have limited applicability to process plants, since here intraprocess material loops as described in detail in the relevant VDI Standards (e.g. VDI 3460, VDI 3462 Part 4, VDI 3462 Part 5, VDI 2094, VDI 2578) play a key role. Nevertheless, some of the technologies presented in this standard VDI 3927 Part 2 can also be used as add-on air pollution control measures downstream of process plants if required due to special location-specific regulatory requirements. This applies in particular to the co-incineration of waste streams in process plants as regulated by the 17th BImSchV.

Following a detailed discussion of the physical and chemical mechanisms of these substance groups or selected individual species, state-of-the art process options for their removal from combustion flue gases will be presented and described by practical examples.

The selected examples are intended to elucidate the theoretical descriptions and to facilitate the understanding of the specific interactions. They should not be understood as a weighting or as a prejudicial statement on necessary emission control measures. The measured data and operating results indicated relate exclusively to the specific application and should be viewed as examples only. Their direct application to systems operating under other conditions or to other plant types is therefore subject to limitations and not valid. This is also the reason why a comparative technical and economic evaluation of the individual control technologies has been dispensed with.

Not included in the scope of this standard are emissions from combustion engines and gasification processes.

Standard VDI 3927 Part 1 describes flue gas cleaning processes for the removal of the following gaseous air pollutants and aerosols: sulphur oxides, nitrogen oxides and halogenides from flue gases generated by fossil-fired utility boilers and waste incinerators