

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREEmissionsminderung
Thermische Abfallbehandlung
Grundlagen
Emission control
Thermal waste treatment
Fundamentals

VDI 3460

Blatt 1 / Part 1

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 | 4 | Preliminary note | 4 |
| 1 Anwendungsbereich | 4 | 1 Scope | 4 |
| 2 Begriffe | 8 | 2 Terms and definitions | 8 |
| 3 Technologie | 14 | 3 Technology | 14 |
| 3.1 Allgemeine Ziele der thermischen Abfallbehandlung | 14 | 3.1 General objectives of thermal waste treatment | 14 |
| 3.2 Abfallarten | 14 | 3.2 Waste categories | 14 |
| 3.2.1 Siedlungsabfälle | 14 | 3.2.1 Municipal solid waste | 14 |
| 3.2.2 Gefährliche Abfälle | 18 | 3.2.2 Hazardous waste | 18 |
| 3.2.3 Ersatzbrennstoffe | 19 | 3.2.3 Refuse-derived fuels | 19 |
| 3.2.4 Klärschlämme | 23 | 3.2.4 Sewage sludge | 23 |
| 3.2.5 Altholz | 25 | 3.2.5 Waste wood | 25 |
| 3.2.6 Krankenhausspezifische Abfälle | 25 | 3.2.6 Clinical waste | 25 |
| 3.3 Aufbau und Betrieb von thermischen Abfallbehandlungsanlagen | 28 | 3.3 Configuration and operation of thermal waste treatment plants | 28 |
| 3.3.1 Prinzipieller Aufbau der Anlagen | 28 | 3.3.1 Basic plant configuration | 28 |
| 3.3.2 Anlieferung der Abfälle | 30 | 3.3.2 Waste delivery | 30 |
| 3.3.3 Lagerung | 33 | 3.3.3 Storage | 33 |
| 3.3.4 Aufbereitungs- und Vorschaltanlagen | 37 | 3.3.4 Pretreatment and front-end processing systems | 37 |
| 3.3.5 Beschickungseinrichtungen | 37 | 3.3.5 Feed systems | 37 |
| 3.3.6 Thermische Behandlungssysteme | 41 | 3.3.6 Thermal treatment systems | 41 |
| 3.3.7 Entascher/Entschlacker | 65 | 3.3.7 Bottom ash/slag discharger | 65 |
| 3.3.8 Abgaskühlung und Wärmenutzung | 66 | 3.3.8 Flue gas cooling and heat recovery | 66 |
| 3.3.9 Abgasreinigung | 68 | 3.3.9 Flue gas cleaning | 68 |
| 3.3.10 Ableitung der Abgase | 68 | 3.3.10 Discharge of flue gases | 68 |
| 3.3.11 Mess- und Regeleinrichtungen | 69 | 3.3.11 Instrumentation | 69 |
| 3.4 Thermische Abfallbehandlung durch Mitverbrennung in Produktionsanlagen | 69 | 3.4 Thermal waste treatment by co-incineration in production plants | 69 |
| 3.4.1 Kraftwerke | 70 | 3.4.1 Power plants | 70 |
| 3.4.2 Zementwerke | 72 | 3.4.2 Cement plants | 72 |
| 3.4.3 Kalkwerke | 75 | 3.4.3 Lime industry | 75 |
| 3.4.4 Hüttenwerke | 76 | 3.4.4 Iron and steel plants | 76 |

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Fachbereich Umweltschutztechnik

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3: Emissionsminderung II
VDI-Handbuch Energietechnik

| | Seite | | Page |
|--|------------|---|------------|
| 4 Maßnahmen zur Emissionsminderung . . . | 77 | 4 Emission control measures | 77 |
| 4.1 Allgemeine Hinweise | 77 | 4.1 General notes | 77 |
| 4.2 Emissionsminderung bei der Annahme und Lagerung von Abfällen | 78 | 4.2 Emission control in the waste reception and storage areas | 78 |
| 4.2.1 Annahme- und Übernahmestation | 78 | 4.2.1 Receiving and transfer stations | 78 |
| 4.2.2 Lager für Feststoffe | 78 | 4.2.2 Solids storage area | 78 |
| 4.2.3 Lager für pastöse Abfälle | 79 | 4.2.3 Storage of pasty waste | 79 |
| 4.2.4 Lager für flüssige Abfälle | 80 | 4.2.4 Storage of liquid waste | 80 |
| 4.2.5 Tanklager für gefährliche Abfälle | 80 | 4.2.5 Tank farms for hazardous waste | 80 |
| 4.2.6 Tankcontainer-Entleerstation für gefährliche Abfälle | 80 | 4.2.6 Tank container emptying station for hazardous waste | 80 |
| 4.2.7 Gebindelager und Gebindebehand- lung für gefährliche Abfälle | 81 | 4.2.7 Drummed hazardous waste storage and drum treatment | 81 |
| 4.3 Emissionsminderung im Bereich der Aufbereitungs- und Vorschaltanlagen | 81 | 4.3 Emission control in the pretreatment and front-end processing area | 81 |
| 4.4 Emissionsminderung im Bereich von Feuerung und Dampferzeuger | 82 | 4.4 Emission control in the area of the incineration system and steam generator | 82 |
| 4.4.1 Beschickung | 82 | 4.4.1 Feed system | 82 |
| 4.4.2 Feuerung | 83 | 4.4.2 Incineration system | 83 |
| 4.4.3 Dampferzeuger | 90 | 4.4.3 Steam generator | 90 |
| 4.5 Emissionsminderung durch Abgasreinigung | 91 | 4.5 Secondary emission control measures | 91 |
| 4.5.1 Technische Einrichtungen und Verfahren zur Emissionsminderung | 91 | 4.5.1 Emission control equipment and processes | 91 |
| 4.5.2 Verbreitete Schaltungsvarianten der einzelnen Reinigungsstufen | 112 | 4.5.2 Common configurations of the individual flue gas cleaning stages | 112 |
| 4.5.3 Hinweise zur Auswahl von Abgasreinigungsverfahren | 119 | 4.5.3 Information on the selection of flue gas cleaning technologies | 119 |
| 4.6 Emissionsminderung durch Mess-, Steuer- und Regeltechnik zur gesicherten Betriebsführung | 132 | 4.6 Emission control through instrumentation and control systems for reliable process control | 132 |
| 4.6.1 Vorbemerkung | 132 | 4.6.1 Preliminary note | 132 |
| 4.6.2 Hauptregelkreise | 134 | 4.6.2 Main control loops | 134 |
| 4.6.3 Messungen zur Feuerungs- leistungsregelung | 136 | 4.6.3 Measurements for combustion control | 136 |
| 4.6.4 Messungen im Bereich des Kessels und des Wasser-Dampf-Kreislaufs | 138 | 4.6.4 Measurements in the area of the boiler and the water-steam circuit | 138 |
| 4.6.5 Abgasmessungen am Kesselende | 141 | 4.6.5 Flue gas measurements at the boiler outlet | 141 |
| 4.6.6 Messungen im Bereich der Abgasreinigung | 142 | 4.6.6 Measurements in the area of the flue gas cleaning system | 142 |
| 4.6.7 Emissionsmessungen im Reingas vor Schornstein | 145 | 4.6.7 Clean gas emission measure- ments at the stack inlet | 145 |
| 4.6.8 Hilfs- und Nebenanlagen | 145 | 4.6.8 Auxiliary systems | 145 |
| 4.6.9 Messungen zur energetischen Bewertung | 146 | 4.6.9 Measurements for energy efficiency assessments | 146 |
| 4.6.10 Einzelmessungen und manuelle Messungen | 146 | 4.6.10 Individual measurements and manual measurements | 146 |
| 4.6.11 Ausblicke, Entwicklungen | 147 | 4.6.11 Outlooks, trends | 147 |
| 5 Rechtliche Rahmenbedingungen der emissionsbegrenzenden Maßnahmen | 153 | 5 Legal framework for emission control measures | 153 |
| 5.1 Abgase | 153 | 5.1 Flue gases | 153 |
| 5.2 Abwässer | 159 | 5.2 Wastewater | 159 |
| 5.3 Abfälle | 163 | 5.3 Residues | 163 |

| | Seite | | Page |
|---|------------|---|------------|
| 6 Anleitung für Emissionsmessungen | 164 | 6 Emission measurement instructions | 164 |
| 6.1 Aufgabenstellung | 164 | 6.1 Objective | 164 |
| 6.2 Wiederkehrende Einzelmessungen | 165 | 6.2 Recurrent individual measurements | 165 |
| 6.2.1 Messplanung | 165 | 6.2.1 Measurement planning | 165 |
| 6.2.2 Durchführung der Messungen | 170 | 6.2.2 Execution of measurements | 170 |
| 6.2.3 Bezugsgrößen | 170 | 6.2.3 Reference quantities | 170 |
| 6.2.4 Messungen im Bereich der Nachbrennzone | 170 | 6.2.4 Measurements in the area of the secondary combustion zone | 170 |
| 6.2.5 Komponentenspezifische Messungen | 172 | 6.2.5 Component-specific measurements | 172 |
| 6.2.6 Auswertung der Messungen | 172 | 6.2.6 Evaluation of measured data | 172 |
| 6.2.7 Messbericht | 176 | 6.2.7 Measurement report | 176 |
| 6.3 Eignungsprüfung und Bekanntgabe, Funktionsprüfung und Kalibrierung der automatischen Messeinrichtungen (QAL1/QAL2/AST) | 177 | 6.3 Suitability test and notification, annual surveillance test and calibration of automated measuring systems (QAL1/QAL2/AST) | 177 |
| 6.3.1 Aufgabenstellung | 177 | 6.3.1 Objective | 177 |
| 6.3.2 Eignungsprüfungen (QAL1) | 178 | 6.3.2 Suitability tests (QAL1) | 178 |
| 6.3.3 Jährliche Funktionsprüfung (AST) | 180 | 6.3.3 Annual surveillance test (AST) | 180 |
| 6.3.4 Kalibrierung und Validierung der automatischen Messeinrichtung (QAL2) | 181 | 6.3.4 Calibration and validation of automated measuring systems (QAL 2) | 181 |
| 6.3.5 Referenzmessverfahren SRM | 185 | 6.3.5 Standard reference method (SRM) | 185 |
| 6.3.6 Hinweis zum Einsatz von AMS für Staub | 185 | 6.3.6 Notes on the use of AMS for particulate monitoring | 185 |
| 6.3.7 Hinweis zum Einsatz von Quecksilber-AMS | 186 | 6.3.7 Notes on the use of mercury AMS | 186 |
| 6.3.8 Kalibrierung der Messeinrichtung für die Temperatur in der Nachbrennzone | 187 | 6.3.8 Calibration of the AMS for minimum temperature monitoring in the secondary combustion zone | 187 |
| 6.3.9 Auswertung der Messungen mittels Emissionswertrechner | 188 | 6.3.9 Evaluation of measured data by means of electronic evaluation unit | 188 |
| 6.3.10 Messbericht | 190 | 6.3.10 Measurement report | 190 |
| 6.4 Laufende Qualitätssicherung durch den Betreiber (QAL3) | 190 | 6.4 Ongoing quality assurance by the operator (QAL 3) | 190 |
| 6.4.1 Fachkunde und Dokumentation | 190 | 6.4.1 Competency and documentation | 190 |
| 6.4.2 Regelkarten | 191 | 6.4.2 Control charts | 191 |
| 6.4.3 Wartungsarbeiten | 192 | 6.4.3 Maintenance | 192 |
| 7 Feste und flüssige Rückstände | 192 | 7 Solid and liquid residues | 192 |
| 7.1 Allgemeine Hinweise | 192 | 7.1 General notes | 192 |
| 7.2 Art und Entsorgung der Rückstände | 195 | 7.2 Residue types and disposal | 195 |
| 7.2.1 Schlacke/Asche aus dem Feuerraum | 195 | 7.2.1 Bottom ash/slag from the furnace | 195 |
| 7.2.2 Asche/Stäube aus Kessel und Abgasreinigung | 203 | 7.2.2 Ash/dust from boiler and flue gas cleaning systems | 203 |
| 7.2.3 Abwässer | 204 | 7.2.3 Wastewater | 204 |
| 7.2.4 Reaktionsprodukte und beladene Adsorbentien aus der Abgas- reinigung | 206 | 7.2.4 Reaction products and spent adsorbents from flue gas cleaning | 206 |
| 7.2.5 Verbrauchte Katalysatormasse | 208 | 7.2.5 Spent catalysts | 208 |
| 7.2.6 Sonstige Rückstände | 208 | 7.2.6 Other residues | 208 |

| | Seite | | Page |
|--|-------|---|------|
| 8 Kosten/Erlöse der thermischen Abfallbehandlung | 209 | 8 Cost of/revenues from thermal waste treatment activities | 209 |
| 8.1 Investitionskosten | 210 | 8.1 Capital cost | 210 |
| 8.2 Betriebskosten und Erlöse | 210 | 8.2 Operating costs and revenues | 210 |
| 8.3 Maßnahmen zur Kostenoptimierung | 213 | 8.3 Cost optimisation measures | 213 |
| 9 Beurteilung der Entwicklungsstufe neuer Verfahren | 214 | 9 Assessment of the development status of emerging technologies | 214 |
| 10 Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs | 217 | 10 Abnormal operating conditions and major accidents | 217 |
| 10.1 Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs | 218 | 10.1 Abnormal operating conditions | 218 |
| 10.2 Störfälle | 220 | 10.2 Major accidents | 220 |
| Anhang Auszug aus einer beispielhaften Messstellenliste einer Siedlungsabfallverbrennungsanlage | 222 | Annex Excerpt from an example instrument list of a municipal solid waste incinerator | 224 |
| Schrifttum | 226 | Bibliography | 226 |
| Bennennungsindex englisch – deutsch | 234 | Term index English – German | 234 |

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.de/richtlinien), 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/3460.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gibt einen Überblick über den Stand der Technik der Emissionsminderung bei der thermischen Abfallbehandlung (Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse) sowie Hinweise für den Bau und den Betrieb insbesondere von Abfallverbrennungsanlagen. Der Grundgedanke der Richtlinienausschüsse ist ein

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

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/3460.

1 Scope

This standard provides an overview of the state of the art in controlling emissions from thermal waste treatment activities (combustion, gasification, pyrolysis) along with information on the construction and operation of waste incineration plants in particular. The basic idea underlying the standards committees is to

enger Erfahrungsaustausch zwischen Anlagenbetreibern, Herstellern, beratenden Ingenieuren und Fachbehörden, damit auch unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten umweltverträgliche Anlagen nach dem Stand der Technik gebaut und betrieben werden können.

Ein sehr breit gefächertes Spektrum von Abfällen wird thermisch behandelt, wobei der eigentliche thermische Vorgang in der Regel nur ein Teil eines komplexen Abfallbehandlungssystems ist. Deshalb ist die vorliegende Richtlinie ein Teil einer Reihe, die sich von der Abfallsammlung (VDI 2160) bis zur Abfalllagerung (VDI 3860) mit den unterschiedlichen Verwertungs- und Beseitigungsthemen befasst.

Diese Richtlinie befasst sich mit der thermischen Behandlung folgender Abfallarten:

- *Siedlungsabfälle*
In der Regel werden gemischte und weitgehend unbehandelte Haushaltsabfälle in Verbrennungsanlagen behandelt. In den für die Verbrennung von nicht gefährlichen industriellen und gewerblichen Abfällen vorgesehenen Verbrennungsanlagen werden auch bestimmte Abfälle aus Industrie und Gewerbe verbrannt.
- *gefährliche Abfälle*
Die Verbrennung gefährlicher Abfälle erfolgt sowohl an Industriestandorten, vorrangig der chemischen Industrie, als auch in für diesen Zweck errichteten gewerblichen Anlagen.
- *Ersatzbrennstoffe (EBS)*
Es handelt sich um Siedlungsabfälle und andere Abfälle, die gesondert gesammelt, vorbehandelt oder anderweitig aufbereitet wurden, sodass sie andere Merkmale aufweisen als gemischter Abfall. Diese gezielt aufbereiteten Brennstoffe aus Abfall werden in Ersatzbrennstoffkraftwerken eingesetzt, die meist in die Wärme- und Stromversorgung von Industriestandorten eingebunden sind.
- *Klärschlämme*
An einigen Standorten werden Klärschlämme getrennt von anderen Abfällen in speziell dafür errichteten Verbrennungsanlagen verbrannt, an anderen Anlagenstandorten wird der Klärschlamm nach mechanischer oder thermischer Entwässerung anderen Abfällen, z.B. Siedlungsabfällen, oder auch Regelbrennstoffen zugemischt und in Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle, in Kraftwerken oder Produktionsanlagen mitverbrannt.
- *Altholz*
Die Richtlinie legt hier den Schwerpunkt auf die thermische Behandlung von Althölzern, die den Abfällen zuzuordnen sind.

maintain an intensive experience exchange between plant operators, manufacturers, engineering consultants and authorities so as to ensure that plants are built and operated in accordance with the state of the art and in compliance with the environmental regulations, while at the same time considering cost-benefit aspects.

A very broad spectrum of wastes is subjected to thermal treatment, the thermal process itself typically representing only one part of a complex waste treatment system. For this reason, this standard represents one part of a series of standards ranging from waste collection (VDI 2160) through to waste landfilling (VDI 3860) and covering diverse recovery and disposal options.

This standard deals with the thermal treatment of the following waste categories:

- *municipal solid waste (MSW)*
MSW incinerators typically treat largely unprepared mixed household waste. Incinerators destined for the combustion of non-hazardous industrial and commercial waste also treat defined waste streams generated by industry and commerce.
- *hazardous waste*
Hazardous waste is incinerated both at industrial sites, mainly in the chemical industry, and at commercial facilities exclusively built for this purpose.
- *refuse-derived fuels (RDF)*
Refuse-derived fuels are municipal solid waste and other waste streams that have been source-segregated, pretreated or otherwise prepared so that their characteristics are different from those of mixed waste. Fuels recovered from waste under controlled conditions are used in RDF-fired power plants that are generally integrated into the heat and electricity supply infrastructure of industrial sites.
- *sewage sludge*
At some sites, sewage sludge is incinerated separately from other wastes in dedicated sewage sludge incineration plants. At other sites, the sewage sludge is admixed to other waste streams, e.g. municipal solid waste or conventional fuels, and co-burned at municipal solid waste incinerators, power stations or production plants.
- *waste wood*
This standard puts the focus on the thermal treatment of waste wood falling within the legal waste definition.