

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Emissionsminderung  
Thermische Abfallbehandlung  
Energieumwandlung  
Emission control  
Thermal waste treatment  
Energy conversion

VDI 3460

Blatt 2 / Part 2

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
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>3</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, Abkürzungen und Indizes . . . . .</b>	<b>5</b>	<b>4 Symbols, abbreviations and indices . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>5 Grundlagen . . . . .</b>	<b>7</b>	<b>5 General indices . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>6 Energieumwandlung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen – Systemgrenzen, Bilanzierung, Wirkungsgrade und energiebezogene Emissionen . . . . .</b>	<b>13</b>	<b>6 Energy conversion in thermal waste treatment plants – system boundaries, balancing, efficiencies and energy-related emissions . . . . .</b>	<b>13</b>
6.1 Bilanzgrenzen und zugehörige Ströme (Stoff-, Massen-, Energieströme) . . . . .	13	6.1 Balancing boundaries and the associated flows (substance, mass and energy flows). . . . .	13
6.2 Bilanzieren . . . . .	16	6.2 Balancing . . . . .	16
6.3 Allgemeine Definition eines Wirkungsgrads $\eta$ . . . . .	18	6.3 General definition of efficiency $\eta$ . . . . .	18
6.4 Thermischer Wirkungsgrad . . . . .	21	6.4 Thermal efficiency. . . . .	21
6.5 Elektrischer Wirkungsgrad. . . . .	21	6.5 Electrical efficiency . . . . .	21
6.6 Gesamtwirkungsgrad. . . . .	21	6.6 Total efficiency . . . . .	21
6.7 Allgemeine Definition einer energiebezogenen Emission $\epsilon$ . . . . .	21	6.7 General definition of an energy-related emission $\epsilon$ . . . . .	21
6.8 Bezugszustände . . . . .	22	6.8 Reference conditions . . . . .	22
6.9 Datenkategorien . . . . .	23	6.9 Data categories . . . . .	23
6.10 Äquivalenzwerte . . . . .	24	6.10 Equivalence values . . . . .	24
6.11 Kompatibilitätsbetrachtungen . . . . .	25	6.11 Compatibility verification . . . . .	25
<b>7 Ermittlung von Wirkungsgraden bei der Energieumwandlung in thermischen Anlagen zur Abfallbehandlung . . . . .</b>	<b>26</b>	<b>7 Calculation of efficiencies during energy conversion in thermal waste treatment plants. . . . .</b>	<b>26</b>
7.1 Anlagenwirkungsgrad (Zielenergie). . . . .	26	7.1 Plant efficiency (target energy) . . . . .	26
7.2 Netto-Anlagenwirkungsgrad (Netto-Zielenergie) . . . . .	27	7.2 Net plant efficiency (net target energy) . . . . .	27
7.3 Primärwirkungsgrad. . . . .	28	7.3 Primary efficiency. . . . .	28

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
7.4 Netto-Primärwirkungsgrad . . . . .	29
7.5 Aufwandsgrad . . . . .	32
<b>8 Ermittlung von energiebezogenen Emissionen beim Einsatz von Abfall in thermischen Anlagen . . . . .</b>	<b>33</b>
8.1 Ermittlung energiebezogener Emissionen . . . . .	33
8.2 Berechnung des CO <sub>2</sub> -Emissionsmassenstroms . . . . .	34
8.3 Methode 1 – Einzelfallermittlung der energiebezogenen Emissionen . . . . .	39
8.4 Methode 2 – Mittelwertbestimmung der energiebezogenen Emissionen . . . . .	42
<b>Anhang Beispiele . . . . .</b>	<b>56</b>
Schrifttum . . . . .	60

	Page
7.4 Net primary efficiency . . . . .	29
7.5 Demand rate . . . . .	32
<b>8 Calculation of energy-related emissions from the firing of waste in thermal plants . . . . .</b>	<b>33</b>
8.1 Calculation of energy-related emissions . . . . .	33
8.2 Calculation of the CO <sub>2</sub> emission mass flow . . . . .	34
8.3 Method 1 – Single-case calculation of energy-related emissions . . . . .	39
8.4 Method 2 – Calculating the mean values of energy-related emissions . . . . .	42
<b>Annex Examples . . . . .</b>	<b>57</b>
Bibliography . . . . .	60

**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](http://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](http://www.vdi.de/3460).

**Einleitung**

Die Richtlinie VDI 3460 Blatt 2 behandelt die **Methoden zur Bilanzierung** unterschiedlicher Prozesse zur thermischen Abfallbehandlung in Verbrennungsanlagen und zur Abfallmitverbrennung in industriellen Prozessen (z.B. in Kraftwerken, Zementwerken, Stahlwerken) im Hinblick auf die Energieumwandlung und die energiebezogenen Emissionen. Sie wendet sich besonders an die Betreiber und die genehmigenden und überwachenden Behörden.

Dabei nimmt die vorliegende Richtlinie Bezug auf die Richtlinie VDI 3460 Blatt 1. Sie vertieft und erweitert den Regelungs- und Informationsumfang auf die Bewertung der Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung.

**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](http://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](http://www.vdi.de/3460).

**Introduction**

The standard VDI 3460 Part 2 deals with the **methods of balancing** different processes for thermal waste treatment in incinerators and for the co-incineration of waste in industrial processes (e.g. in power stations, cement works and steel mills) with regard to energy conversion and energy-related emissions. It is targeted particularly at operators and the authorities responsible for approvals and monitoring.

The present standard refers to standard VDI 3460 Part 1. It deepens and extends the scope of regulation and information to include the assessment of energy conversion in thermal waste treatment.

Diese Richtlinie basiert auf der früheren Ausgabe VDI 3460 Blatt 2:2007-08, enthält die Korrekturen aus der Berichtigung von November 2007 und wurde redaktionell überarbeitet.

## 1 Anwendungsbereich

Für eine vergleichende energiebezogene Bewertung der Emissionen bei der thermischen Abfallbehandlung ist es erforderlich, eine Bilanzierungsmethode mit definierten Bilanzräumen festzulegen und alle für die Bilanzierung erforderlichen zu- und abgeführten Stoff- und Energieströme zu betrachten [4; 28; 30; 38]. Auf diese Weise wird eine eindeutige energiebezogene Bewertung der Emissionen der thermischen Abfallbehandlung im Vergleich mit anderen Prozessen zur Energie- oder Stoffumwandlung ermöglicht. Bei einer Erweiterung des Emissionsbegriffs auf den Ausstoß klimarelevanter Stoffe wird so eine normierte Bewertung der Be- oder Entlastung der CO<sub>2</sub>-Bilanz durch Verbrennung und Substitution fossiler Energieträger erleichtert.

Wie in der Verfahrenstechnik allgemein üblich, werden für den Vergleich der Energieumwandlungen Kennwerte herangezogen und für in Betrieb befindliche Anlagengruppen der thermischen Abfallbehandlung beispielhaft dokumentiert.

Damit wird eine Bewertung der durch die thermische Abfallbehandlung bereitgestellten Nutzenergie und der auf diese Weise erreichten Substitution von Primärenergieträgern ermöglicht [32; 34; 35]. Zum besseren Verständnis der Herleitungen sind im Anhang Zahlenbeispiele für eine existierende Anlage aufgeführt.

Weiter ist mit der vorliegenden Richtlinie z.B. auch die vor kurzem im Zusammenhang mit den Urteilen des Europäischen Gerichtshofes [2; 42] ausgelöste Fragestellung über die Abgrenzung der energetischen Verwertung von Abfällen von der Beseitigung von Abfällen zu beantworten.

Die Methoden folgender VDI-Richtlinien werden berücksichtigt:

- VDI 3460 Blatt 1
- VDI 4600
- VDI 4600 Blatt 1
- VDI 4660 Blatt 1
- VDI 4660 Blatt 2
- VDI 4661

Über die Anwendungen bei der Ermittlung energie-spezifischer Emissionen hinaus gewinnt die Bilanzierung von Stoff- und Energieströmen bei der thermischen Behandlung von Abfällen auch unter mehreren

This standard is based on the former edition VDI 3460 Part 2:2007-08, it contains the corrections as per Corrigendum of November 2007 and has been improved editorially.

## 1 Scope

For a comparative energy-related assessment of emissions during thermal waste treatment, it is necessary to define a balancing method with specified balance spaces and cover all the incoming and outgoing substance and energy flows required for balancing [4; 28; 30; 38]. This then permits an unambiguous energy-based assessment of emissions from thermal waste treatment in comparison with other processes of energy or substance conversion. If the concept of emission is extended to climate-affecting substances, it becomes easier to assess the positive and negative effects of the combustion and substitution of fossil energy carriers on the CO<sub>2</sub> balance.

As conventionally practised in process engineering, characteristic values will be used for the comparison of energy conversions and examples of them will be documented for the types of thermal waste treatment plant in operation.

In this way, it is possible to assess the useful energy yielded by thermal waste treatment and the substitution of primary energy carriers achieved as a result [32; 34; 35]. In order to demonstrate the plausibility of the calculations, the annex gives quantified examples of an existing incineration plant.

Furthermore, the issue of distinguishing between energy recovery from waste and the disposal of waste, which was recently raised in connection with the ruling of the European Court of Justice [2; 42], is now addressed by the present standard.

This standard refers to the methods of the following VDI Standards:

- VDI 3460 Part 1
- VDI 4600
- VDI 4600 Part 1
- VDI 4660 Part 1
- VDI 4660 Part 2
- VDI 4661

Above and beyond uses in the calculation of energy-specific emissions, the balancing of substance and energy flows in the thermal treatment of waste is gaining in importance in several other respects. A

anderen Aspekten an Bedeutung. Insbesondere für Monoverbrennungsanlagen findet man in der aktuellen Literatur eine wachsende Zahl von Beispielen.

Deshalb widmet die Europäische Kommission, vertreten durch das „European IPPC Bureau“, der Betrachtung der Energieeffizienz bei der thermischen Abfallbehandlung zwei spezielle Kapitel in einem umfangreichen Referenzdokument zur „Besten Verfügbaren Technik“ (BREF).

Diese Vorgehensweise wird im BREF „Abfallverbrennung“ beschrieben. Über deren Anwendung gibt es mehrere Veröffentlichungen (z.B. [20; 25]). Die Berechnung basiert auf einer formalisierten Erfassung der üblicherweise verfügbaren, energierelevanten Daten; sie definiert ausführlich Einbindung und Zuordnung der Parameter und liefert die Berechnungsformeln. Die richtige Anwendung setzt eine übereinstimmende Auffassung von Systemgrenzen sowie ein detailliertes Verständnis des jeweiligen Verfahrens oder der Anlage voraus, ansonsten führen irrtümliche Zuordnungen oder lückenhafte Einbezüge zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Die durch die Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs [2; 42] ausgelöste Debatte über die Fragestellung der Abgrenzung der energetischen Verwertung von Abfällen von der Beseitigung von Abfällen führt auf die Bilanzierung der Energieströme, um im Einzelfall das betrachtete Behandlungsverfahren als „Verwertung“ oder „Beseitigung“ zu qualifizieren. Zur Beurteilung dieser Fragestellung ist die eindeutige Festlegung von Bilanzgrenzen mittels schematischer Darstellung der Stoff- und Energieströme für die jeweils betrachtete Anlage in Übereinstimmung mit dem Anlagenschema eine zwingende Voraussetzung (z.B. [4; 6; 30; 31; 32]).

In einem von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vorgelegten Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rats über Abfälle vom 21.12.2005 (Abfallrahmenrichtlinie 2006/12/EG) wird eine Berechnungsgleichung für die Ermittlung der Energieeffizienz vorgestellt. Diese Ermittlungs- und Bewertungsvorschrift entspricht in der derzeit vorliegenden Form nicht den Regeln zur Ermittlung einer Energieeffizienz [38]. Sie befand sich zum Zeitpunkt der Verabschiedung dieser VDI-Richtlinie (Dezember 2006) noch in einer kontroversen inhaltlichen und politischen Diskussion [39; 40; 41]. Sie konnte deshalb in dieser Richtlinie als gesicherter Stand der Technik nicht berücksichtigt werden.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Der aktuelle Stand der Technik, basierend auf der hier angeführten Diskussion, wird in VDI 3460 Blatt 1 abgebildet. Da die entsprechende politische Formel die Anwendung dieser Richtlinie jedoch nicht berührt, bleibt der Inhalt an dieser Stelle unverändert bestehen.

growing number of examples of mono-incineration plants in particular can be found in the literature.

For this reason, the European Commission, represented by the European IPPC Bureau, has devoted two chapters of its extensive Best Available Technique Reference Document (BREF) to the subject of energy efficiency in thermal waste treatment.

This procedure is described in the Waste Incineration BREF. There are several publications on its application (e.g. [20; 25]). The calculation is based on formalized treatment of the conventionally available energy-relevant data, defines exhaustively the integration and assignment of the parameters and supplies the calculation formulae. Essential for correct application are agreement on the system boundaries and a detailed understanding of the process or plant in question. Failing this, erroneous assignments and omissions can yield different results.

The debate on the demarcation of energy recovery from waste from the disposal of waste initiated by the rulings of the European Court of Justice [2; 42] has encouraged the balancing of energy flows so that the treatment method can be classified as “recovery” or “disposal” in each case. For the assessment of this issue, it is absolutely essential for the balancing boundaries to be clearly defined with the aid of schematic diagrams of substance and energy flows for the plant in question in conformity with the plant configuration (e.g. [4; 6; 30; 31; 32]).

In a proposal submitted by the European Commission for a directive of the European Parliament and of the Council of 21.12.2005 (Waste Framework Directive 2006/12/EC), an equation for calculating energy efficiency is presented. In its present form, this calculation and assessment method does not comply with the rules for the calculation of energy efficiency [38]. At the time of the passing of this VDI Standard (December 2006), it was still the subject of a heated political debate [39; 40; 41] and has not therefore been adopted in this standard as an established state of the art.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The state of the art, based on the discussion that is mentioned here, is described in VDI 3460 Part 1. Because the appropriate political formula does not apply to the application of this standard, the content persists without any changes at that point.