

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Methoden zur Bewertung von
Abfallbehandlungsverfahren
Beispielberechnungen

Methods for evaluation of
waste treatment processes
Samples calculations

VDI 3925
Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	4
3 Begriffe	4
4 Abkürzungen	4
5 Beispiel zum Methodenvergleich	5
5.1 Bilanzdaten des Beispiels	7
5.2 Methodenbezogene Randbedingungen für die Berechnungen	8
5.3 Stoffflussanalyse	20
5.4 Statistische Entropieanalyse	27
5.5 Energetische Bewertung	27
5.6 Exergetische Bewertung	33
5.7 Kumulierter Energieaufwand	37
5.8 Ökobilanz	41
5.9 Ökoeffizienzanalyse	50
5.10 Kosten-Nutzen-Analyse	53
Anhang Ergänzende Tabellen zu Abschnitt 5.9	68
Schrifttum	74

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	2
2 Normative references	4
3 Terms and definitions	4
4 Abbreviations	4
5 Example of method comparison	5
5.1 Balance data for the example	7
5.2 Method-related boundary conditions for the calculations	8
5.3 Material flow analysis	20
5.4 Statistical entropy analysis	27
5.5 Energy evaluation	27
5.6 Exergy evaluation	33
5.7 Cumulative energy demand	37
5.8 Life cycle assessment	41
5.9 Eco-efficiency analysis	50
5.10 Cost-benefit analysis	53
Annex Supplementary tables to Section 5.9	71
Bibliography	74

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
Fachbereich Ressourcenmanagement

VDI-Handbuch Ressourcenmanagement in der Umwelttechnik
VDI-Handbuch Energietechnik

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/3925.

Einleitung

Die Richtlinienreihe VDI 3925 soll Anwendern helfen, unterschiedliche Bewertungsmethoden zur Entscheidungsunterstützung in der Abfallwirtschaft zu nutzen. Die Richtlinie verfolgt das Ziel, die Anwendung von geeigneten wissenschaftlich-technischen Bewertungsmethoden auf abfallwirtschaftliche Fragen zu beschreiben. Dabei werden die vorhandenen Methoden näher gebracht und deren Einsatz, Komplexität, Möglichkeiten und Grenzen demonstriert. Die Identifizierung der optimalen Bewertungsmethode ist explizit nicht Ziel der Richtlinie. Vielmehr sollen die spezifischen Vor- und Nachteile bei der Anwendung der jeweiligen Methode herausgearbeitet werden. VDI 3925 Blatt 1 erläutert Begriffe und Grundlagen unterschiedlicher Bewertungsmethoden, insbesondere in Bezug auf Fragestellungen und Systemgrenzen, und stellt die Methodik wichtiger Bewertungsansätze ausführlich vor.

In dieser Richtlinie wird zur Demonstration der Anwendung der einzelnen Bewertungsverfahren ein konkretes, praxisnahes Beispiel (zwei thermische Abfallbehandlungsanlagen) betrachtet. Dass die Abfallverbrennung mit Nutzung der Energie in nahezu allen Belangen einer Deponierung der Abfälle (auch bei Deponiegasnutzung und Einhaltung der Anforderungen der Europäischen Deponierichtlinie (1999/31/EG)) überlegen ist, zeigen zahlreiche wissenschaftliche Fachartikel (z.B. [1]) und wird in dieser Richtlinie nicht weiter diskutiert.

1 Anwendungsbereich

Bei dem in dieser Richtlinie zugrunde gelegten Praxisbeispiel handelt es sich um den Verfahrens-

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/3925.

Introduction

The series of standards VDI 3925 is intended to help users use different evaluation methods to support their decision-making in waste management. The goal of the standard is to describe the application of suitable scientific and technical evaluation methods for waste management problems. The standard introduces the available methods and demonstrates their application, complexity, potentials, and limits. Identifying the optimal evaluation method is explicitly not the goal of the standard. Rather, discussion will highlight the specific advantages and disadvantages in the application of the respective methods. VDI 3925 Part 1 of the standard explains definitions and fundamentals of different evaluation methods, in particular in relation to questions and system boundaries, and gives a detailed introduction to the methodology of important evaluation methods.

In this standard, a concrete practical example (two thermal waste treatment plants) is examined to demonstrate the application of the individual evaluation methods. The fact that waste incineration and use of the resulting energy is preferable to waste disposal in almost all aspects (even in the case of the use of disposal gas and compliance with the requirements with the European Landfill Directive (1999/31/EC)) has been demonstrated by numerous scientific articles (e.g. [1]) and is therefore not discussed in this standard.

1 Scope

In the practical example used in this standard two thermal waste incineration process plants both with

vergleich zwischen zwei thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit Rostfeuerung. Durch Betrachtung der gleichen Technologie (in unterschiedlichen Entwicklungsstufen) wird die Objektivität des Vergleichs gewahrt, da kein Verfahren gegenüber anderen bevorzugt oder abgewertet wird. Eine solche Bewertung kann seriös nur unter den konkreten Rahmenbedingungen des jeweiligen Einzelfalls erfolgen. Die beiden betrachteten Anlagen unterscheiden sich im Wesentlichen in der Zielenergie (Strom und/oder Wärme) sowie in der Rauchgasbehandlung.

Die für die Bewertung notwendigen Betriebsdaten, z.B. thermische Leistung, Verfügbarkeit, Luftzahl, orientieren sich an existierenden Anlagen, um die Realitätsnähe des Beispiels zu erhöhen. Allerdings ergaben sich aus dem Anspruch, mit dem gleichen Beispiel den Rechengang mehrerer Methoden zu demonstrieren, bestimmte Anforderungen an die benötigten Informationen. Diese konnten vom vorliegenden Datensatz zu einer realen Anlage allein nicht komplett erfüllt werden. Daher wurden Daten und Informationen aus verschiedenen Quellen zu einer einheitlichen Datengrundlage zusammengestellt. Im Rahmen der Erarbeitung dieser Richtlinie war es jedoch weder möglich noch beabsichtigt, damit eine repräsentative Darstellung von Anlagentypen oder Technologien vorzulegen. Aus diesem Grund können die Berechnungsergebnisse der Richtlinie nicht als sachliche Aussagen zu realen Anlagen oder typischen Verfahren der Abfallwirtschaft interpretiert werden. Sie können und sollen vielmehr die einzelnen Arbeitsschritte mit den jeweils notwendigen Annahmen und den verwendeten Daten sowie den Rechengang einzelner Bewertungsmethoden im Detail zeigen und dabei auch auf methodische Probleme und deren Lösungsmöglichkeiten aufmerksam machen. Anhand der Darstellung der mit unterschiedlichen Methoden generierten Berechnungsergebnisse kann darüber hinaus auch veranschaulicht werden, welche Arten von Aussagen von der jeweiligen Bewertungsmethode prinzipiell erwartet werden können. Insgesamt bietet die praxisnahe Demonstration von Vorgehensweisen, notwendigen Voraussetzungen und typischen Ergebnissen unterschiedlicher Methoden in dieser Richtlinie damit eine zusätzliche Hilfestellung für Akteure der Abfallwirtschaft, um die Auswahl einer Methode für den eigenen Anwendungsfall zu unterstützen und sich mit der Durchführung der gewählten Methode vertraut zu machen.

grate firing are compared. The consideration of both technologies (at various stages of development) preserves the objectivity of the comparison, as both procedures are treated equally. A serious evaluation of this type can only take place under the concrete framework conditions of the individual case. The two units under consideration essentially differ in target energy (electricity and/or heat) and in flue gas treatment.

The operational data required for the evaluation, e.g., thermal power, operational availability, air to fuel ratio are based on existing units to make the example more realistic. However, particular requirements arose for the necessary information due to the demand to demonstrate the different assessment methods using the same example. These could not be fulfilled from the available practical data set sourced from just one actual plant. Therefore, data and information from different sources was compiled into one unified data basis. In the development of this standard, it was neither possible nor intended to give a representative overview of plant types or technologies. For this reason, the calculation results of this standard cannot be interpreted as actual statements on real units or typical waste management procedures. This standard focusses rather on the individual work steps including the necessary assumptions and the applied data, the calculation procedures for individual assessment methods in detail, and thereby draw attention to methodical problems and ways of solving them. This standard also demonstrates which types of statements can be expected from the different assessment and calculation methods. Overall, the practice-based demonstration of procedures, necessary prerequisites, and typical results of different methods in this standard offer additional assistance for those involved in waste management to help select a method for individual cases of application and to make themselves familiar with the execution of the chosen method.

2 Normative Verweise

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 3925 Blatt 1:2016-09 Methoden zur Bewertung von Abfallbehandlungsverfahren

2 Normative references

The following referenced document is indispensable for the application of this standard:

VDI 3925 Part 1:2016-09 Methods for evaluation of waste treatment processes