

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Methoden zur Bewertung von
Abfallbehandlungsverfahren

Methods for evaluation of
waste treatment processes

VDI 3925

Blatt 1 / Part 1

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	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Begriffe	3	2 Terms and definitions	3
3 Abkürzungen	11	3 Abbreviations	11
4 Fragestellungen für Bewertungsmethoden ..	12	4 Considerations for evaluation methods	12
4.1 Werte und Ziele.....	12	4.1 Values and goals.....	12
4.2 Leitfragen und Bewertungsmethoden	15	4.2 Key questions and evaluation methods....	15
4.3 Zielsetzungen bei der Methodenauswahl .	18	4.3 Objectives of method selection.....	18
5 Abfallbehandlungsverfahren	20	5 Waste treatment processes	20
5.1 Deponierung.....	20	5.1 Landfilling	20
5.2 Mechanisch-biologische Abfallbehandlung.....	23	5.2 Mechanical-biological waste treatment	23
5.3 Energetische Nutzung	31	5.3 Energy from waste.....	31
5.4 Behandlung und stoffliche Verwertung ausgewählter Abfälle aus privaten Haushaltungen.....	36	5.4 Treatment and material recovery of selected waste from private households	36
5.5 Integrierte Abfallwirtschaft.....	38	5.5 Integrated waste management.....	38
6 Systemgrenzen	44	6 System boundaries	44
6.1 Anwendungszweck	44	6.1 Purpose	44
6.2 Methodik.....	46	6.2 Methodology.....	46
6.3 Beispiele zu Systemgrenzen.....	48	6.3 Examples of system boundaries.....	48
7 Methodik	50	7 Methodology	50
7.1 Stoffflussanalyse	50	7.1 Material flow analysis.....	50
7.2 Statistische Entropieanalyse.....	64	7.2 Statistical entropy analysis.....	64
7.3 Energetische Bewertung	69	7.3 Energy evaluation	69
7.4 Exergie	82	7.4 Exergy.....	82
7.5 Kumulierter Energieaufwand (KEA)	96	7.5 Cumulative Energy Demand (KEA).....	96
7.6 CO ₂ -THG-Bilanz	102	7.6 CO ₂ and greenhouse gas balance	102
7.7 Ökobilanz.....	118	7.7 Life cycle assessment	118
7.8 Kosten-Wirksamkeits-Analyse	133	7.8 Cost-effectiveness analysis	133
7.9 Ökoeffizienz-Analyse	142	7.9 Eco-efficiency analysis.....	142
7.10 Kosten-Nutzen-Analyse	148	7.10 Cost-benefit analysis.....	148
7.11 Social Life Cycle Assessment – Berücksichtigung sozialer Aspekte in der Wertschöpfungskette.....	156	7.11 Social life cycle assessment – Consideration of social aspects in the value chain.....	156
Schrifttum	163	Bibliography	163

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

Moderne Verfahren zur Behandlung von Abfällen besitzen heute einen hohen technologischen Reifegrad. Das ursprüngliche Hauptziel der Verfahren, nämlich die für den Menschen möglichst schadlose Beseitigung von Abfällen, wurde schon lange durch weitere Zielsetzungen wie Ressourcenrückgewinnung, Umweltschutz oder Energieeffizienz ergänzt.

Die Auswahl oder die Konzeption „des besten Verfahrens“ ist jedoch nicht trivial. Die heute angewendeten Prozesse haben unterschiedliche Ziele und Outputströme – z.B. Recycling versus Energierückgewinnung – und verschiedene zeitliche und systemische Bilanzgrenzen – z.B. Deponie versus Abfallverbrennung oder Teilstrom versus Vollstrombehandlung. Erschwert wird die objektive Bewertung durch die Vielschichtigkeit der Bewertungskriterien. Bereits eine sinnvolle ökologische Charakterisierung erfordert die Berücksichtigung unterschiedlicher Parameter, wie Eutrophierungs-, Versauerungs- oder Treibhausgaspotenzial. Darüber hinaus können, laut EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) und Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), bei der Verfahrensauswahl auch andere Kriterien, wie ökonomische Fragestellungen oder gesellschaftliche und soziale Aspekte, relevant werden.

Um entsprechend der jeweiligen Frage- und Problemstellung spezifische Resultate zu erhalten, stehen weit entwickelte, effiziente Bewertungswerkzeuge zur Verfügung, die es erlauben, ökologische, ökonomische und inzwischen auch soziale Aspekte und Auswirkungen verschiedener Verfahren miteinander zu vergleichen. Die Methoden sind

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

Modern waste treatment processes can today be considered as mature technology. The main original goal of the process, namely to dispose of waste in the least harmful way possible for people, has long since been expanded to include further objectives such as resource recovery, environmental protection or energy efficiency.

However, selecting or designing the “best process” is non-trivial. Processes applied today have different goals and output streams, for example recycling versus energy recovery, as well as different balancing limits with regard to time and systems, such as landfills versus incineration, or full versus partial stream treatment. Such complex evaluation criteria make objective assessment difficult. Even meaningful environmental characterisation requires consideration of a range of parameters, such as the potentials for eutrophication, acidification or greenhouse gas emission. Furthermore, according to the EU Directive on Waste (Directive 2008/98/EC) and the German Closed Cycle Management Act (KrWG), other criteria such as economic considerations or societal and social aspects may become relevant during process selection.

Highly developed and efficient evaluation tools can be used to obtain specific results for the problem statement in question, making it possible to compare the ecological, economic and now also social aspects and effects of different processes against one another. Some of these methods have been known for quite some time. Others, however, have

zum Teil schon lange bekannt. Allerdings wurden einige noch kaum oder gar nicht auf konkrete Fragestellungen der Abfallbehandlung angewandt. Entsprechend geringe Erfahrungen sind in diesem Bereich vorhanden.

Die vorliegende Richtlinie betrachtet ausgewählte Abfallbehandlungsverfahren insbesondere die Deponierung, die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) sowie die energetische Nutzung (Müllverbrennungsanlage – MVA). Auf Behandlungsverfahren anderer Abfallströme wird dabei nur beispielhaft eingegangen.

Die Richtlinie beschreibt die Anwendung von geeigneten wissenschaftlich-technischen Bewertungsmethoden auf abfallwirtschaftliche Fragen. Dabei werden die vorhandenen Methoden nähergebracht und deren Einsatz, Komplexität, Möglichkeiten und Grenzen demonstriert.

Die Identifizierung der optimalen Bewertungsmethode ist nicht Gegenstand der Richtlinie. Eine solche Auswahl ist weder möglich noch sinnvoll. Vielmehr sollen die spezifischen Vor- und Nachteile bei der Anwendung der jeweiligen Methode herausgearbeitet werden. Zum Beispiel ist eine Recyclingquote auf Basis einer Massenbilanz einfach zu verstehen und zu überwachen, aber sie erlaubt keinen Rückschluss auf die Nachhaltigkeit einer abfallwirtschaftlichen Maßnahme. Eine Ökobilanz und eine Kosten-Nutzen-Analyse können die Nachhaltigkeit besser beschreiben (siehe Bild 1 in Abschnitt 4.2), sind aber aufwendiger und schwieriger im Detail nachzuvollziehen.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie bietet im Rahmen abfallwirtschaftlicher Planungen für Beteiligte wie Behörden, Entscheidungsträger und Planer einschließlich der kritischen Öffentlichkeit die Möglichkeit, Bewertungsmethoden als Planungsinstrumentarium kennenzulernen und in den Kontext mit planerischen Entscheidungen zu stellen.

Die Richtlinie hilft Anwendern, Entscheidungen für den Einsatz bestimmter Abfallbehandlungs- und -verwertungsverfahren im Rahmen einer integrierten Abfallwirtschaft transparent zu gestalten und so unter Beachtung der Systemgrenzen und der Sachbilanzen der jeweiligen Methode zu einer nachvollziehbaren Entscheidung zu gelangen.

barely or never seen application in practical waste treatment scenarios. Correspondingly, little experience is available in this field.

This standard considers selected waste treatment processes, in particular landfilling, mechanical-biological waste treatment (MBT) and energy from waste (waste incineration plant – WIP). Treatment processes for other waste streams are only referenced as examples.

The standard describes the application of suitable scientific and technical evaluation methods for waste management problems. The standard introduces the available methods and demonstrate their application, complexity, potentials and limits.

Identifying the optimal evaluation method is not discussed in the standard. Such a choice is neither possible nor meaningful. Rather, discussion will highlight the specific advantages and disadvantages in the application of the respective methods. For example, a recycling rate based on a mass balance is simple to understand and monitor, but does not offer any insight as to the sustainability of a particular waste management method. A life cycle assessment and cost-benefit analysis can better describe the sustainability (see Figure 1 in Section 4.2), but require more effort and are harder to understand in full detail.

1 Scope

This standard offers participants in waste management planning such as authorities, decision makers and planners, including the critical public, the possibility to learn about evaluation methods as planning instruments and place them in the context of planning decisions.

The standard helps to formulate transparent decisions for the application of particular waste treatment and recovery methods in the scope of integrated waste management, thus reaching a documented decision under consideration of the system boundaries and life cycle inventories of the respective methods.