

Ökobilanz Bioabfallentsorgung -

Ökologische Bewertung von Entsorgungsoptionen für Bioabfälle unter Berücksichtigung räumlicher und ökonomischer Aspekte

**am Institut für Umweltsystemforschung
im Fachbereich Mathematik/Informatik
der Universität Osnabrück**

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Sonja Schmidt

Sonja Schmidt

ÖKOBILANZ BIOABFALLENTSORGUNG

Ökologische Bewertung
von Entsorgungsoptionen für Bioabfälle
unter Berücksichtigung räumlicher und ökonomischer Aspekte

ibidem-Verlag
Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Dieser Titel ist als Printversion im Buchhandel
oder direkt bei *ibidem* (www.ibidem-verlag.de) zu beziehen unter der

ISBN 978-3-89821-Ī Ī Ī -H

∞

ISBN-13: 978-3-8382-5Ī Ī Ī

© *ibidem*-Verlag
Stuttgart 2012

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und elektronische Speicherformen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronical, mechanical, photocopying, recording or otherwise) without the prior written permission of the publisher. Any person who does any unauthorized act in relation to this publication may be liable to criminal prosecution and civil claims for damages.

INHALTSVERZEICHNIS.....	I
ZUSAMMENFASSUNG	IX
1. EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Ziel der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	6
1.4 Begriffsdefinitionen.....	8
2. PROBLEMFELD: BEWERTUNG DER BIOABFALLENTSORGUNG.....	13
2.1 Bioabfallentsorgung in der abfallwirtschaftlichen Diskussion	13
2.1.1 Stand der Entsorgung von Bioabfällen	13
2.1.2 Konsequenzen aus rechtlichen Vorgaben	19
2.2 Einführung in Bewertungsverfahren.....	25
2.2.1 Bewertungsverfahren und Bewertungsmethode	25
2.2.2 Bestandteile und Ablauf von Bewertungen	26
2.2.3 Zusammenstellung ausgewählter Bewertungsmethoden	32
2.2.4 Unsicherheiten im Rahmen von Bewertungen.....	38
2.2.4.1 Grundlagen.....	38
2.2.4.2 CO ₂ - Herkunft und Beitrag zum Treibhauseffekt?.....	42
2.3 Bewertung mit Hilfe der Ökobilanz	46
2.3.1 Einführung und Arbeitsschritte.....	46
2.3.2 Wirkungskategorien sowie deren Berechnung und Gewichtung.....	48
2.3.3 Unsicherheit in Ökobilanzen.....	54
2.4 Vorgehensweise zur Bewertung von Entsorgungsoptionen in Entsorgungsgebieten auf Grundlage einer Ökobilanz.....	59
2.4.1 Systemgrenzen	59
2.4.2 Wirkungsabschätzung.....	61
2.4.3 Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse	67

3.	AUSWERTUNG DES STANDS DER FORSCHUNG ZUR BEWERTUNG DER BIOABFALLENTSORGUNG.....	69
3.1	Überblick über die Bewertung der Bioabfallentsorgung in der Forschung.....	69
3.2	Untersuchungsergebnisse zur ökologischen Bewertung der Bio- und Restabfallbehandlung.....	74
3.2.1	Systemgrenzen.....	74
3.2.1.1	Bioabfallbehandlung.....	74
3.2.1.2	Restabfallbehandlung.....	77
3.2.2	Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Bioabfallbehandlung.....	79
3.2.2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	79
3.2.2.2	Untersuchung zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch- organischen Abfällen.....	81
3.2.2.3	Ökologischer, ökonomischer und energetischer Vergleich der Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfälle.....	85
3.2.2.4	System analysis of waste management – the OWARE modell, transport and compost sub- models.....	88
3.2.2.5	Vergleich stofflicher und energetischer Wege zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen.....	91
3.2.3	Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Restabfallbehandlung.....	93
3.2.3.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	93
3.2.3.2	Ökologische Bilanzierung.....	94
3.2.3.3	Bewertung der Emissionen der Kombination mechanisch-biologischer und thermischer Abfallbehandlungsverfahren in Südhessen.....	95
3.2.3.4	Ökologische Bewertung der mechanisch- biologischen Restabfallbehandlung und der Müllverbrennung.....	97
3.2.3.5	Ökoeffizienzanalyse Restmüllentsorgung – Mechanisch-biologische Abfallbehandlung, Müllverbrennung sowie Deponierung.....	99
3.3	Untersuchungen zum Transport.....	101
3.3.1	Transport als Bestandteil von Studien zur Bewertung der Bio- und Restabfallbehandlung.....	103
3.3.2	Studie zur ökologischen Relevanz der Transportlogistik in der Abfallwirtschaft.....	106
3.4	Schlussfolgerungen für die Ableitung von Entsorgungsoptionen für die Bewertung der Bioabfallentsorgung.....	109
3.4.1	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung der Bioabfallbehandlung.....	109
3.4.2	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung der Restabfallbehandlung.....	112
3.5	Fazit zur Auswahl von Entsorgungsoptionen.....	115

4.	RÄUMLICHE ASPEKTE BEI DER BEWERTUNG DER BIOABFALLENTSORGUNG.....	117
4.1	Standortgebundenheit von Bewertungen.....	117
4.2	Berücksichtigung räumlicher Aspekte in Ökobilanzen	120
4.3	Methoden zur Abgrenzung und Charakterisierung von räumlichen Einheiten.....	124
4.4	Vorgehensweise zur Abgrenzung und Charakterisierung von Entsorgungsgebieten.....	126
4.4.1	Gebietsstrukturen in der Abfallwirtschaft	126
4.4.2	Abgrenzung von Entsorgungsgebieten.....	130
4.4.3	Bildung von Entsorgungsgebietstypen.....	132
4.4.4	Charakterisierung der Entsorgungsgebietstypen	135
4.4.4.1	Methode	135
4.4.4.2	Betriebsdatenauswertung.....	136
4.4.4.3	Daten der Statistischen Ämter	140
4.5	Fazit zur Einbindung der Entsorgungsgebietstypen in die Bewertung.....	142
5.	DATENAUSWERTUNG FÜR SYSTEMBESTANDTEILE DER BIOABFALLENTSORGUNG.....	145
5.1	Menge des Bioabfallpotenzials.....	146
5.1.1	Küchenabfallpotenzial.....	147
5.1.2	Gartenabfallpotenzial	149
5.1.3	Zusammensetzung von Küchen- und Gartenabfällen	151
5.2	Menge und Zusammensetzung erfasster Bioabfälle	152
5.2.1	Verteilung des Bioabfallpotenzials auf einzelne Erfassungswege.....	152
5.2.1.1	Einflussfaktoren im Überblick	152
5.2.1.2	Entsorgungsverhalten	155
5.2.2	Organische Fraktion des Hausabfalls	159
5.2.3	Organische Fraktion des Restabfalls	161
5.2.4	Getrennt erfasster Bioabfall	165
5.2.5	Privat getrennt erfasster Bioabfall	173
5.3	Behandlungsverfahren und Äquivalenzprozesse.....	177
5.3.1	Eigenkompostierung	177
5.3.2	Äquivalenzprozesse.....	179
5.3.2.1	Grundlagen.....	179
5.3.2.2	Substitution von Zwischenfruchtanbau durch dauerhumusbildende Inhaltsstoffe des Komposts	182
5.4	Untersuchungsergebnisse der Entsorgungskosten.....	185
5.4.1	Einflussfaktoren auf die Entsorgungskosten	185
5.4.1.1	Auswertungsergebnisse der Entsorgungskosten.....	185
5.4.1.2	Entsorgungskosten getrennt erfasster Bioabfälle.....	188
5.4.1.3	Kosten der getrennten Erfassung und Behandlung der Bioabfälle	191
5.4.2	Erfassungskosten	194
5.4.3	Behandlungskosten.....	198
5.4.3.1	Einflussfaktoren im Überblick	198

5.4.3.2	Bioabfallbehandlung.....	199
5.4.3.3	Restabfallbehandlung.....	203
5.4.4	Verwertungskosten.....	206
5.4.5	Schlussfolgerung für die ökonomische Bewertung	208
5.5	Fazit zur Qualität der Datengrundlagen	211
6.	MODELLIERUNG VON SYSTEMBESTANDTEILEN DER BIOABFALLENTSORGUNG	215
6.1	Teilsysteme der Erfassung	215
6.1.1	Berechnung des Bioabfallpotenzials.....	215
6.1.2	Berechnung der erfassten der Bioabfälle	220
6.1.3	Berechnung der Zusammensetzung der Bioabfälle	226
6.1.4	Berechnung des Transports	228
6.2	Teilsysteme der Behandlungsverfahren und Äquivalenzprozesse.....	230
6.2.1	Verfahren für die getrennt erfassten Bioabfälle.....	230
6.2.2	Eigenkompostierung.....	237
6.2.3	Thermische Entsorgung	242
6.2.4	Äquivalenzprozesse.....	244
6.2.4.1	Zwischenfruchtanbau.....	244
6.2.4.2	Übrige Äquivalenzprozesse	246
6.3	Schlussfolgerungen für die Festlegung von Entsorgungsoptionen	248
6.3.1	Entsorgungsoptionen für die Erfassung.....	250
6.3.2	Entsorgungsoptionen für die Behandlung und Verwertung	254
6.3.3	Entsorgungsoptionen zur Überprüfung von Unsicherheiten.....	258
6.4	Fazit für die Bewertung von Entsorgungsoptionen	262
7.	ERGEBNISSE DER ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG VON ENTSORGUNGSOPTIONEN IN GEBIETSTYPEN.....	267
7.1	Förderung der Eigenkompostierung.....	272
7.1.1	Vergleich der Gesamtergebnisse.....	275
7.1.2	Vergleich der Umweltbelastungen und - entlastungen.....	277
7.1.3	Ergebnisse der Wirkungskategorien	279
7.1.4	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung.....	283
7.1.4.1	Art der Verwertung des Bioabfallkomposts im Garten	283
7.1.4.2	Umweltgerechtes Entsorgungsverhalten	287
7.1.4.3	Förderung der Eigenkompostierung zu Lasten der getrennten Erfassung.....	290
7.1.4.4	Förderung der Eigenkompostierung bei Änderung des Gebietstyps	293
7.1.5	Fazit der ökologischen Bewertung der Förderung der Eigenkompostierung.....	298

7.2	Einführung der getrennten Erfassung	300
7.2.1	Vergleich der Gesamtergebnisse	302
7.2.1.1	Systemgebundene Holsysteme der getrennten Erfassung.....	302
7.2.1.2	Arten der getrennten Erfassung im Holsystem und Förderung der Eigenkompostierung	304
7.2.2	Vergleich der Umweltbe- und -entlastungen	306
7.2.3	Ergebnisse der Wirkungskategorien.....	308
7.2.4	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung	310
7.2.4.1	Abluftbehandlung, Behandlungstechnik und Entsorgungsverhalten	310
7.2.4.2	Zusammensetzung des Bioabfallpotenzials.....	315
7.2.4.3	Einführung der getrennten Erfassung zu Lasten der Eigenkompostierung unter Berücksichtigung der Behandlungstechnik, der Abluftbehandlung und der Zusammensetzung des Bioabfallpotenzials.....	321
7.2.4.4	Einführung der getrennten Erfassung bei Änderung des Gebietstyps	323
7.2.4.5	Einführung der getrennten Erfassung und Berücksichtigung der Zusammensetzung des Bioabfallpotenzials bei Änderung des Gebietstyps	329
7.2.5	Fazit der ökologischen Bewertung der Einführung der getrennten Erfassung.....	331
7.2.6	Förderung der Art der getrennten Erfassung.....	332
7.3	Zentrale und dezentrale Entsorgung von Bioabfall	337
7.3.1	Vergleich der Gesamtergebnisse	340
7.3.2	Ergebnisse der Wirkungskategorien.....	342
7.3.3	Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchung	344
7.3.3.1	Annahmen zu Entfernungen.....	344
7.3.3.2	Auswirkung der Änderung des Entsorgungsgebietstyps.....	348
7.3.4	Fazit für dezentrale und zentrale Entsorgungsoptionen	350
7.4	Unsicherheiten und methodische Festlegungen	352
7.4.1	Berücksichtigung der positiven Effekte durch Erhöhung des Humusgehalts und stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft.....	352
7.4.2	Annahmen zur Berücksichtigung von CO ₂ aus biogenen und fossilen Quellen.....	355
7.4.3	Berücksichtigung der Substitution von Rohstoffen	357
7.4.4	Verbrennung der organischen Fraktion des Restabfalls	360
7.4.4.1	Vergleich der Gesamtergebnisse	364
7.4.4.2	Vergleich der Umweltbe- und -entlastungen	366
7.4.4.3	Förderung der Eigenkompostierung	369
7.4.4.4	Einführung der getrennten Erfassung im Holsystem	373

8.	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	375
8.1	Zusammenfassung der ökologischen Bewertung.....	375
8.1.1	Übersicht der Gesamtergebnisse aller Entsorgungsoptionen.....	375
8.1.2	Beiträge einzelner Systembestandteile zu den Ergebnissen in den Wirkungskategorien.....	379
8.1.3	Differenz der Bewertungsergebnisse von ausgewählten Entsorgungsoptionen.....	383
8.1.4	Ergebnisse in den Entsorgungsgebietstypen	387
8.2	Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse für die zentralen Fragestellungen	394
8.2.1	Fazit zur Förderung der Eigenkompostierung	394
8.2.2	Fazit zur Einführung der getrennten Erfassung.....	396
8.2.3	Fazit zur Förderung und Art der getrennten Erfassung	399
8.2.4	Fazit zu zentralen bzw. dezentralen Entsorgungsoptionen.....	400
8.2.5	Fazit zur Änderung von methodischen Festlegungen	402
8.3	Ausblick.....	405
8.3.1	Erkenntnisgewinn	405
8.3.2	Forschungsbedarf.....	407
	LITERATURVERZEICHNIS	413

LEBENS LAUF

ERKLÄRUNG

NACHWORT

Zusammenfassung

Diskussionen über die „beste“ Entsorgung von Bioabfällen werden in Deutschland seit der Einführung der Biotonne vor mehr als 25 Jahren geführt. Anlass sind z.B. technologische Neuerungen oder gesetzliche Vorgaben auf nationaler und europäischer Ebene. In Europa wird das Thema unter anderem in den jüngsten Beitrittsländern der EU verstärkt thematisiert.

In dieser Arbeit werden Entsorgungsoptionen für Bioabfälle, die als Küchen- und Gartenabfälle in den Haushalten eines Entsorgungsgebiets anfallen, aus ökologischer Sicht mit der Methode der Ökobilanz bewertet. Ergebnisse aus Untersuchungen, die ökonomische Aspekte von Entsorgungsoptionen behandeln, werden bei der zusammenfassenden Bewertung berücksichtigt. Die ökologische Bewertung bezieht sich auf das zu entsorgende Bioabfallpotenzial pro Einwohner und Jahr und basiert auf Daten, die die Verhältnisse in Deutschland repräsentieren.

Es werden Entsorgungsoptionen untersucht, die sämtliche Bestandteile der Entsorgung - von der Sammlung der Bioabfälle bis zur Substitution von Äquivalenzprodukten - beinhalten. Die Bewertung umfasst zentrale Gesichtspunkte der Bioabfallentsorgung:

- die Förderung der Eigenkompostierung,
- die Einführung der getrennten Erfassung,
- die Art der getrennten Erfassung sowie
- zentrale und dezentrale Entsorgungssysteme.

Außerdem werden Unsicherheiten, die mit methodischen Festlegungen oder mit der Qualität der Datengrundlagen verbunden sind, untersucht, wie z.B. umweltgerechtes Entsorgungsverhalten, die Verwendung von Düngemitteln im Garten, die Substitution des Zwischenfruchtanbaus oder räumliche Variabilität. Es wird eine Vorgehensweise zur Berücksichtigung der räumlichen Variabilität in Ökobilanzen erarbeitet und angewendet.

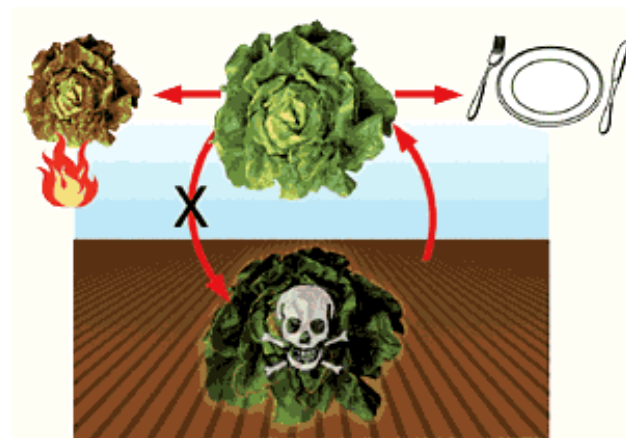
Die in dieser Arbeit entwickelte Methode integriert die für ein Entsorgungsgebiet spezifischen Randbedingungen in die Bewertung von Entsorgungsoptionen. In Ergänzung zu bisherigen Untersuchungen werden räumliche Aspekte in Ökobilanzen methodisch behandelt und räumliche Variabilität als

Quelle von Unsicherheit geprüft. Die Arbeit zeigt, dass sich für einzelne Bestandteile des Entsorgungssystems Bewertungsergebnisse ableiten lassen, die unabhängig von den Verhältnissen im Entsorgungsgebiet gelten. Es wird jedoch auch deutlich, dass bei der Bewertung der übrigen Bestandteile die für ein Entsorgungsgebiet spezifischen Randbedingungen für das Ergebnis relevant sind.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Diskussionen über Entsorgungsmöglichkeiten von Bioabfällen werden seit der Einführung der Biotonne vor mehr als fünf- undzwanzig Jahren geführt. Untersuchungen zur Bewertung der Entsorgung von Bioabfällen haben daher eine lange Tradition. Anlässe, das Thema aufzugreifen, können Entwürfe zur Änderung von rechtlichen Vorgaben (vgl. Abbildung 1.1), die Entwicklung von neuen technischen Verfahren oder auch finanzielle Engpässe von einzelnen entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften sein.



Salto rückwärts in den Ofen

**Kompost enthält
Schwermetalle. Deshalb will
die Bundesregierung strenge
Grenzwerte festlegen.**

**Mit Bioabfallkompost darf
dann nicht mehr gedüngt
werden.**

Abbildung 1.1: „Salto rückwärts in den Ofen“¹

Die Fortschreibung der Abfallbilanzen und die Sicherung der ordnungsgemäßen Entsorgung von Abfällen verlangt von den entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften, in regelmäßigen Abständen Entscheidungen über abfallwirtschaftliche Maßnahmen zu treffen. Grundlage für solche Entscheidungen können wissenschaftliche Untersuchungen sein, aus denen sich Erkenntnisse ableiten, deren Resultate sich übertragen lassen oder die Empfehlungen aussprechen.

Je nach Kontext ändert sich die Zahl der Aspekte oder die Gewichtung von Kriterien. Außerdem können sich die konkreten Problemlagen oder die Einschätzungen des Handlungsbedarfs unterscheiden. Dies bedeutet, dass, auch wenn vergleichbare Verhältnisse vorliegen, Entscheidungsträger in Einzelfällen zu unterschiedlichen Resultaten kommen können. Bisherige Un-

¹ vgl. Wochenzeitschrift „Die Zeit“, Nr. 47, 14.11.2002

tersuchungen zur Bewertung der Bio- und Restabfallentsorgung als Grundlage zur Entscheidungsunterstützung heranzuziehen, ist schwierig, da sie zu unterschiedlichen, teilweise scheinbar widersprüchlichen Ergebnissen kommen. Die Abfallentsorgung ist ein komplexes System, bei dessen Bewertung eine Reihe von zum Teil nicht linearen Zusammenhängen und Unsicherheiten eine Rolle spielen. Der Schwerpunkt der Studien lag bislang auf der Bewertung der Behandlungstechnik. Die Einbindung von Erfassungsoptionen und die Berücksichtigung von entsorgungsgebietstypischen Randbedingungen fehlen.

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, Entsorgungsoptionen für Bioabfälle aus ökologischer Sicht zu bewerten. Die Bewertung wird mit der Methode der Ökobilanz durchgeführt. Ergebnisse aus Studien, die ökonomische Gesichtspunkte untersuchen, werden berücksichtigt. Dabei werden die Verhältnisse in unterschiedlich strukturierten Entsorgungsgebieten in Betracht gezogen. Es liegt die Hypothese zugrunde, dass sich bei der Bewertung der Bioabfallentsorgung neben der Behandlungstechnik auch die Erfassungsoptionen und die Verhältnisse im Entsorgungsgebiet auf das Bewertungsergebnis auswirken. Beispielsweise scheint es plausibel, dass die getrennte Erfassung von Bioabfällen und deren anschließende Kompostierung nur dann Vorteile haben, wenn eine ausreichende Menge an Bioabfallpotenzial vorhanden ist, es mit geringem Transportaufwand erfasst werden kann und ein Bedarf für eine stoffliche Verwertung des Bioabfallkomposts vorhanden ist.

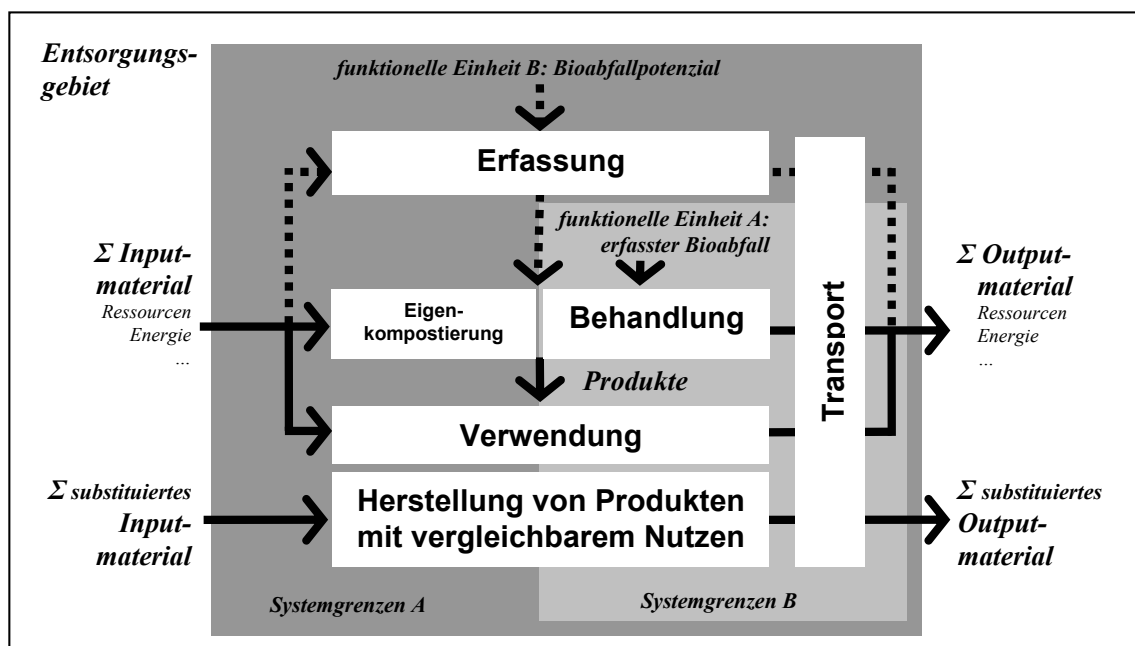


Abbildung 1.2: Bewertung der Bioabfallentsorgung in Entsorgungsgebieten (A: funktionelle Einheit und Systemgrenzen in dieser Studie, B: bisherige Studien)

Ziel der Arbeit ist es, Entsorgungsoptionen zu bewerten und Veränderungen der Bewertungsergebnisse von ökologischen Kriterien abzuschätzen. Es werden keine tatsächlichen Umweltschädigungen ermittelt, sondern potenzielle, mit einer Entsorgungsoption verbundene Umweltauswirkungen.

Für eine solche Bewertung sind zwei Aspekte zu beachten. Zum einen müssen das Entsorgungssystem weitergehend bewertet und alle Teilsysteme der Bioabfallentsorgung integriert werden. In bisherigen Untersuchungen überwog entweder der Vergleich von unterschiedlichen Behandlungstechniken von getrennt erfassten Abfällen oder die Optimierung von Sammelsystemen im Hinblick auf das Design der Sammelrouten sowie Personal- oder Betriebskosten. In dieser Arbeit werden neben der Behandlung und Verwertung von Bioabfällen auch das Bioabfallpotenzial und die Sammlung untersucht. Abbildung 1.2 stellt die bisher in Studien gewählte Systemgrenze und funktionelle Einheit (B) mit der in dieser Arbeit gewählten Systemgrenze und funktionellen Einheit (A) gegenüber.

Zum anderen müssen die räumlichen Verhältnisse des Entsorgungsgebiets in die Bewertung eingestellt werden. Die in dieser Arbeit gewählte Vorgehensweise kann in einzelnen entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften angewendet werden, um unter deren spezifischen Verhältnissen Entsorgungsoptionen aus ökologischer Sicht zu bewerten. Für eine systematische Untersuchung der Änderung der Bewertungsergebnisse von Entsorgungsoptionen in Entsorgungsgebieten werden Gebiete - Kreise und kreisfreie Städte - abgegrenzt und typisiert. Ein Spektrum an relevanten Entsorgungsoptionen wird erarbeitet und dann in den Gebietstypen aus ökologischer Sicht bewertet. Aus methodischer Sicht handelt es sich um die Prüfung der räumlichen Variabilität der Sachbilanzdaten, die sich als Eingangsgröße der Ökobilanz auf die Ökobilanzergebnisse auswirken können.

Diese Arbeit liefert daher Erkenntnisse, welche Umweltwirkungen mit der gesamten Entsorgung - also inklusive Sammlung, Behandlung und Verwertung - des Bioabfallpotenzials pro Einwohner und Jahr in einem Gebietstyp hervorgerufen werden. Es wird untersucht, welche ökologischen Wirkungen

- mit verschiedenen Sammelsystemen zur getrennten Erfassung von Bioabfällen verbunden sind.
- durch die Einführung eines Sammelsystems zur getrennten Erfassung von Bioabfällen hervorgerufen werden.

- auf die Förderung der Eigenkompostierung zurückgehen und inwieweit die Förderung der Eigenkompostierung vergleichbar ist mit der getrennten Erfassung der Bioabfälle.
- mit zentralen bzw. dezentralen Entsorgungsoptionen verbunden sind.
- auf Festlegungen und Annahmen zurückgehen, die mit Unsicherheiten verbunden sind.
- mit einzelnen Entsorgungsoptionen in verschiedenen Entsorgungsgebietstypen verknüpft sind.

1.3 Aufbau der Arbeit

- Kapitel 1 & 2* Nach einem einführenden Kapitel beleuchtet Kapitel 2 die Bewertung der Bioabfallentsorgung aus zwei verschiedenen Blickwinkeln: zum einen um die Relevanz des Themas für die Abfallwirtschaft zu verdeutlichen und zum anderen um die methodischen Grundlagen für die Bewertung darzustellen. Die methodischen Grundlagen umfassen die grundsätzlichen Schwierigkeiten bei der Bewertung, z.B. den Umgang mit Unsicherheiten oder die Aggregation von Daten und Ergebnissen. Weiterhin werden verschiedene Bewertungsverfahren skizziert, die Methode der Ökobilanz erläutert und die in dieser Arbeit gewählte Vorgehensweise bei der Durchführung der Ökobilanz vorgestellt.
- Kapitel 3* Kapitel 3 stellt den Stand der Forschung zur Bewertung der Bioabfallentsorgung dar. Ziel ist es, die bisherigen Erkenntnisse zusammenzutragen und daraus Ergebnisse abzuleiten, die in die Bewertung einfließen können. Ergebnisse aus Sensitivitätsuntersuchungen aus bisherigen Studien werden herangezogen, um Entsorgungsoptionen sensitiver Systembestandteile für die Bewertung in dieser Arbeit zu definieren.
- Kapitel 4* In Kapitel 4 werden die Grundlagen für die Berücksichtigung von räumlichen Aspekten in Bewertungen allgemein und insbesondere in Ökobilanzen beschrieben. Ziel ist es, die methodische Vorgehensweise zur Einbindung von räumlicher Variabilität - eine Quelle von Unsicherheit - in den Arbeitsschritten der Ökobilanz zu verdeutlichen. Dafür werden die Abgrenzung von räumlichen Einheiten und deren Charakterisierung dargestellt. Aus diesem Kapitel leiten sich Entsorgungsgebietstypen ab, die für die Abschätzung des Einflusses der räumlichen Variabilität auf die Bewertungsergebnisse herangezogen werden können.
- Kapitel 5 & 6* Um die zu bewertenden Entsorgungsoptionen in der Ökobilanz zu modellieren, stellt Kapitel 5 die Datengrundlagen für die Module zusammen, die bisher noch nicht in Ökobilanzen untersucht werden. Es bildet damit die Grundlage für Kapitel 6, das die Modellierung der Systembestandteile beschreibt und Hinweise auf Annahmen enthält. Kapitel 6 stellt darüber hinaus die in dieser Arbeit einer Bewertung unterzogenen Entsorgungsoptionen vor. Die Datenauswertung in Kapitel 5 umfasst

Angaben zur Berechnung des Bioabfallpotenzials und der erfassten Bioabfallmengen sowie eine Abschätzung der Umweltauswirkungen der Eigenkompostierung und des Zwischenfruchtanbaus. Zusätzlich werden Ergebnisse aus Studien zusammengefasst, die die Entsorgungskosten für Bioabfälle untersuchen. Ziel ist es, in Kapitel 5 und 6 mit Hilfe der Auswertung der Datenqualität für Systembestandteile mit niedriger Datenqualität Entsorgungsoptionen zu definieren.

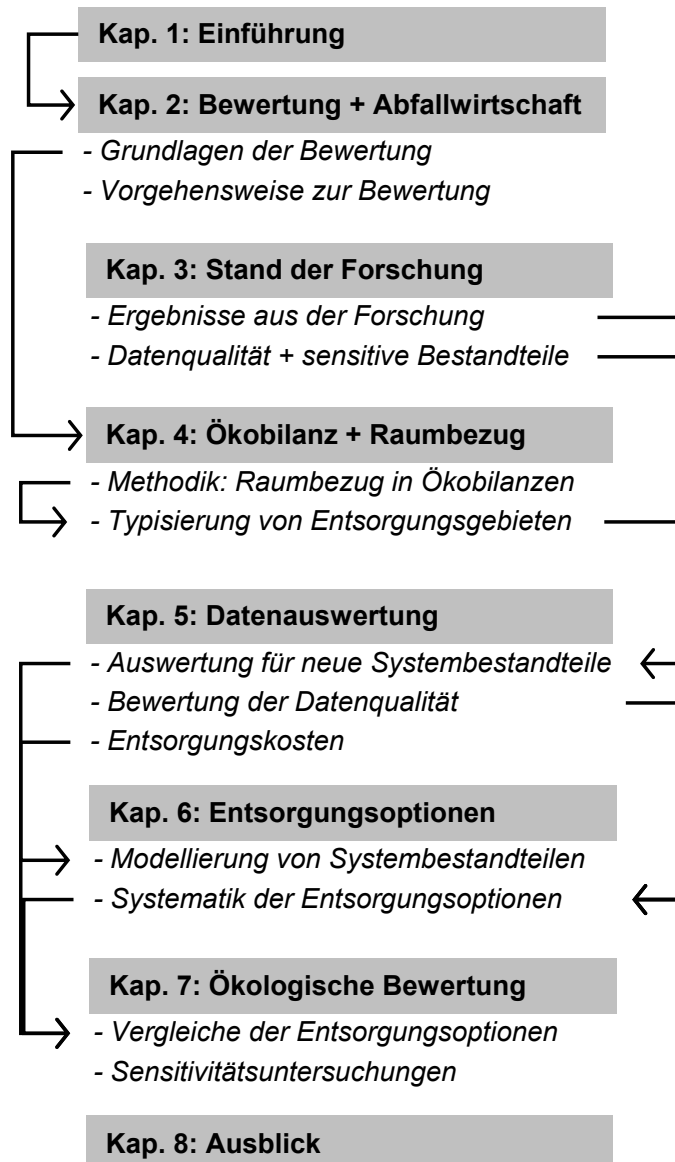


Abbildung 1.3: Aufbau der Arbeit

Kapitel 7 fasst die ökologischen Bewertungsergebnisse und die Ergebnisse der Auswertung der ökonomischen Studien für Entsorgungsoptionen zusammen. Kapitel 8 fasst die wesentlichen Aspekte der Bewertungsergebnisse zusammen und zieht aus den Bewertungsergebnissen Schlussfolgerungen.

Kapitel 7 & 8

1.4 Begriffsdefinitionen

Bioabfall und
Biomasse

Als Biomasse werden sämtliche Stoffe organischer Herkunft (aus Kohlenstoffverbindungen bestehend) bezeichnet, also beispielsweise Pflanzen und Tiere, abgestorbene Biomasse wie Stroh sowie Stoffe, die technisch genutzt oder umgewandelt wurden, z.B. Papier, Pflanzenöle, Lebensmittelreste, Zellulose oder verarbeitetes Holz.

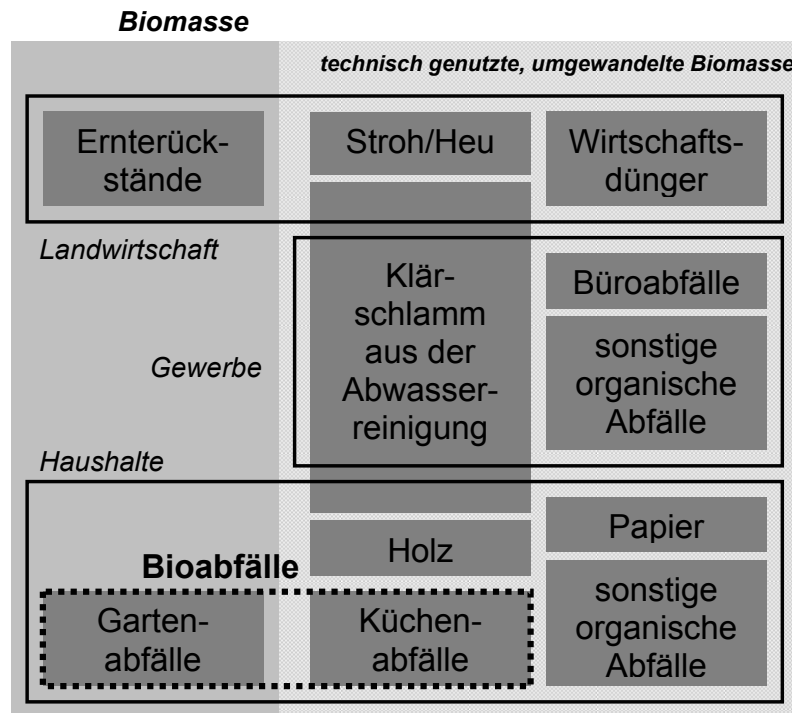


Abbildung 1.4: Biomasse und Bioabfälle

Die Bezeichnung „Bioabfälle“ wird in der Literatur in unterschiedlicher Weise verwendet und umfasst eine Reihe von Abfallarten. Teilweise werden die getrennt erfassten, biologisch abbaubaren, nativ-organischen Abfallfraktionen der Haushalte, teilweise sogar nur die mit der Biotonne erfassten Abfälle der Haushalte mit Bioabfall bezeichnet. Darunter fallen Küchenabfälle aus der Speisenzubereitung, Abfälle aus dem Garten und sonstige organische Abfälle aus den Haushalten, zum Beispiel Blumen, Topfpflanzen oder Haare.¹ In einer erweiterten Definition werden auch organische Gewerbeabfälle, die sogenannten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle wie Speisereste oder Lebensmittelabfälle² oder auch Schlachthofabfälle, Papier- und

¹ vgl. Ketelsen & Doedens, 1992, S. 470

² vgl. Fricke et al., 1994, S. 1; Krogmann, 1989, S. 187

Pappeabfälle¹ darunter zusammengefasst. Innerhalb dieser Arbeit werden mit dem Begriff Bioabfall die organischen Abfälle aus den Haushalten bezeichnet, die sich aus Küchen- und Gartenabfall zusammensetzen.

Der Erfassungsweg bezeichnet das technische System, das der Erfassung von Bioabfall dient. Bioabfälle können grundsätzlich in den Haushalten (also privat) erfasst und verwertet (Eigenkompostierung), als auch über die öffentlich organisierte Abfallabfuhr gesammelt werden (vgl. Abbildung 1.5). Werden Bioabfälle nicht öffentlich getrennt erfasst (Fall A), dann wird ein Teil der organischen Abfälle als organische Fraktion über den Hausabfall entsorgt. Ist eine öffentlich organisierte getrennte Bioabfallerfassung eingerichtet (Fall B), dann teilen sich die Bioabfälle auf dieses gesonderte Erfassungssystem und den Restabfall auf.

Erfassungsweg und erfasste Bioabfälle

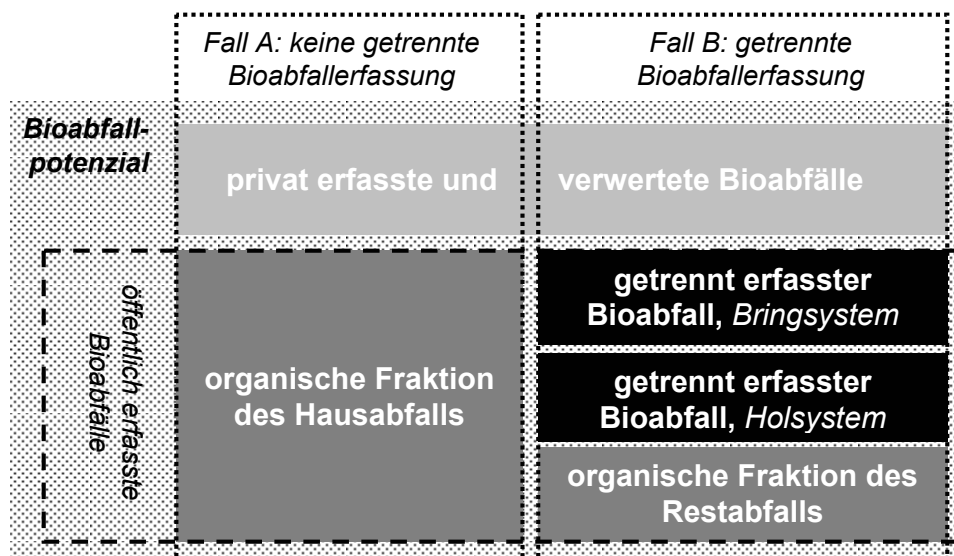


Abbildung 1.5: Erfassungsweg für das Bioabfallpotenzial

Trotz getrennter Erfassung der Bioabfälle verbleiben organische Bestandteile im Restabfall. Innerhalb der Arbeit wird zwischen der organischen Fraktion des Restabfalls (Restabfall der Haushalte neben einer öffentlich organisierten, getrennten Bioabfallerfassung) und der organischen Fraktion des Hausabfalls (Restabfall der Haushalte ohne parallel laufende, öffentlich organisierte getrennte Bioabfallerfassung) unterschieden.

¹ vgl. Hulpke et al., 2000, S. 122

Entsorgung
und
Äquivalenz-
prozesse

Die Entsorgung umfasst die Sammlung, den Transport und die Behandlung des Bioabfalls sowie die Verwertung erzeugter Produkte aus der Behandlung und die Beseitigung von Abfallteilströmen. Mit Äquivalenzprozess wird das System bezeichnet, dass durch die Nutzung der während der Behandlung entstandenen Produkte substituiert wird. Unter Entsorgung wird daher ein Bündel an Elementen zusammengefasst, die von der Erfassung bis zur Nutzung der erzeugten Produkte aus der Behandlung reichen.

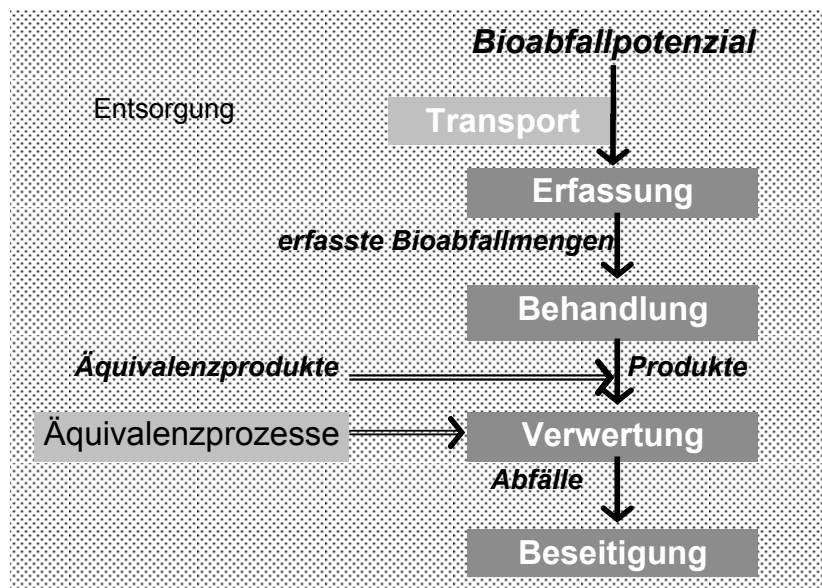


Abbildung 1.6: Bestandteile der Entsorgung von Bioabfällen

Entsorgungsoption

Unter „Entsorgungsoption“ wird in dieser Arbeit eine bestimmte Ausprägung des Entsorgungssystems für Bioabfälle inklusive der Erfassung, Behandlung und Verwertung der Abfälle sowie der Äquivalenzprozesse verstanden. Erfassungsoptionen stellen eine Untergruppe dar und bezeichnen eine bestimmte Ausprägung des Erfassungssystems. Behandlungsoptionen stellen eine weitere Untergruppe dar und bezeichnen eine bestimmte Ausprägung des Behandlungssystems.

Entsorgungsgebiet

Unter „Entsorgungsgebiet“ wird innerhalb dieser Arbeit das Gebiet verstanden, das von der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaft administrativ umfasst wird: Kreise und kreisfreie Städte. Untersucht werden neun verschiedene Entsorgungsgebietstypen.

Bebauungsform

Entsorgungsgebiete werden in dieser Arbeit unter anderem durch die Bebauungsform beschrieben. Die Bebauungsform

kann grundsätzlich entsprechend der Gebäudetypologie unterteilt werden. Die Bebauungsform prägt maßgeblich die Haushaltsstärke (Zahl der Einwohner pro Wohneinheit), die Wohn-dichte (Einwohner pro bebaute Fläche) sowie die Gartenfläche pro Wohneinheit.

Tabelle 1.1: Merkmale von Einzel- und Geschossbebauung

Einzelhausbebauung <ul style="list-style-type: none"> ■ offene Bebauung, aus Einzelhäusern zusammengesetzt (Baukörperlänge < 50 m) ■ max. 2 Vollgeschosse ■ überwiegend private Freiflächen ■ 1 Wohneinheit pro Grundstück 	Geschossbebauung <ul style="list-style-type: none"> ■ überwiegend geschlossene Bebauung ■ mehr als 2 Vollgeschosse ■ überwiegend halböffentliche und öffentliche Freiflächen ■ private Freiflächen für Wohneinheiten im EG ■ mehrere Wohneinheiten pro Grundstück
Einfamilienhaus	Blockbebauung
Doppelhausbebauung	Zeilenbebauung
Kettenhausbebauung	Scheibenhau
Gartenhofhausbebauung	Punkt-/Groß-/Hochhaus
Winkelhausbebauung	
Reihenhausbebauung	

Innerhalb dieser Arbeit bezeichnet der Begriff „Siedlungsstruktur“ die Aufteilung der innerhalb eines Entsorgungsgebiets liegenden Flächen auf unterschiedliche Nutzungen.

Siedlungsstruktur

Als unterer Heizwert wird der Quotient aus der bei vollständiger Verbrennung einer bestimmten Brennstoffmenge freiwerdenden Wärmemenge und der Masse dieser Brennstoffmenge bezeichnet, wenn das bei der Verbrennung gebildete Wasser dampfförmig vorliegt und wenn die Temperatur des Brennstoffes vor der Verbrennung und die Temperatur der entstandenen Produkte nach der Verbrennung den jeweils festgelegten gleichen Wert hat. Als Größen haben der spezifische bzw. der molare Heizwert die Dimension kJ/kg bzw. kJ/mol und der auf das Normvolumen bezogene die Dimension kJ/m³. Der Heizwert lässt sich aus dem Brennwert mit Hilfe der Verdampfungsenthalpie des Wassers berechnen.¹

unterer Heizwert

¹ vgl. http://www.carmen-ev.de/dt/service/glossar/glossar_hij.html#10 vom 02.12.05

2. Problemfeld: Bewertung der Bioabfallentsorgung

In diesem Kapitel wird die Relevanz der Bioabfallentsorgung in der Abfallwirtschaft veranschaulicht. Um die rechtlichen nationalen Vorgaben und EU-Richtlinien einzuhalten, spielt das Management der Bioabfälle eine wichtige Rolle. Daneben bieten sich durch die Verbesserung der Behandlungstechnik, insbesondere bei der Vergärung, neue Entsorgungsoptionen. Die Bewertung von Entsorgungsoptionen für Bioabfälle ist daher eine wichtige Fragestellung. In diesem Kapitel werden die Schwierigkeiten, die mit der Bewertung von Entsorgungsoptionen für Bioabfälle verbunden sind, erläutert. Die Ökobilanz wird mit ihren wesentlichen Arbeitsschritten vorgestellt. Es wird erläutert, wie Wirkungskategorien gebildet, berechnet und gereiht werden. Für die Berechnung der Einwohnerdurchschnittswerte, die zur Darstellung der Ökobilanzergebnisse verwendet werden, werden die Datengrundlagen aufgeführt.

2.1 Bioabfallentsorgung in der abfallwirtschaftlichen Diskussion

2.1.1 Stand der Entsorgung von Bioabfällen

Der organische Anteil in kommunalen häuslichen Abfällen liegt im Durchschnitt der EU-Länder bei 39 %, in Großbritannien mit 22 % am niedrigsten und mit 49 % in Griechenland am höchsten.¹ Küchen- und Gartenabfälle stellen im Haushaltsabfall im Schnitt den größten Anteil dar. Die getrennte Erfassung dieser Fraktion ist in vielen Ländern noch Gegenstand der Diskussion. Die Bioabfälle werden in den einzelnen Ländern Europas unterschiedlich entsorgt (vgl. Abbildung 2.1). In Norwegen, Schweden, Italien, Österreich, Schweiz, Flandern, Katalonien, Deutschland, Luxemburg und in den Niederlanden werden Bioabfälle getrennt erfasst² und in der Regel kompostiert³. Getrennt erfasste Grünabfälle werden meist auf offenen Mieten kompostiert.⁴ Während in Dänemark und Großbritannien die politischen und organisatorischen Vorarbeiten für die getrennte Erfassung und Verwertung organischer Abfälle abgeschlossen

*Erfassung
und
Behandlung
von Bioabfall
in Europa*

¹ vgl. Pennigton, 2004

² vgl. Barth, 2002, S. 32

³ vgl. Barth & Favoino, 2005, S. 131

⁴ vgl. Barth & Favoino, 2005, S. 131

sind und derzeit umgesetzt werden, wird in Frankreich, Wallonien, Finnland, Tschechien und Ungarn die getrennte Erfassung und Behandlung organischer Abfälle noch vorbereitet.¹ In Spanien, Portugal, Griechenland, Polen, Slowakei, Slovenien und Irland werden Bioabfälle weder getrennt erfasst, noch Vorbereitungen zur Einführung der getrennten Erfassung unternommen.²

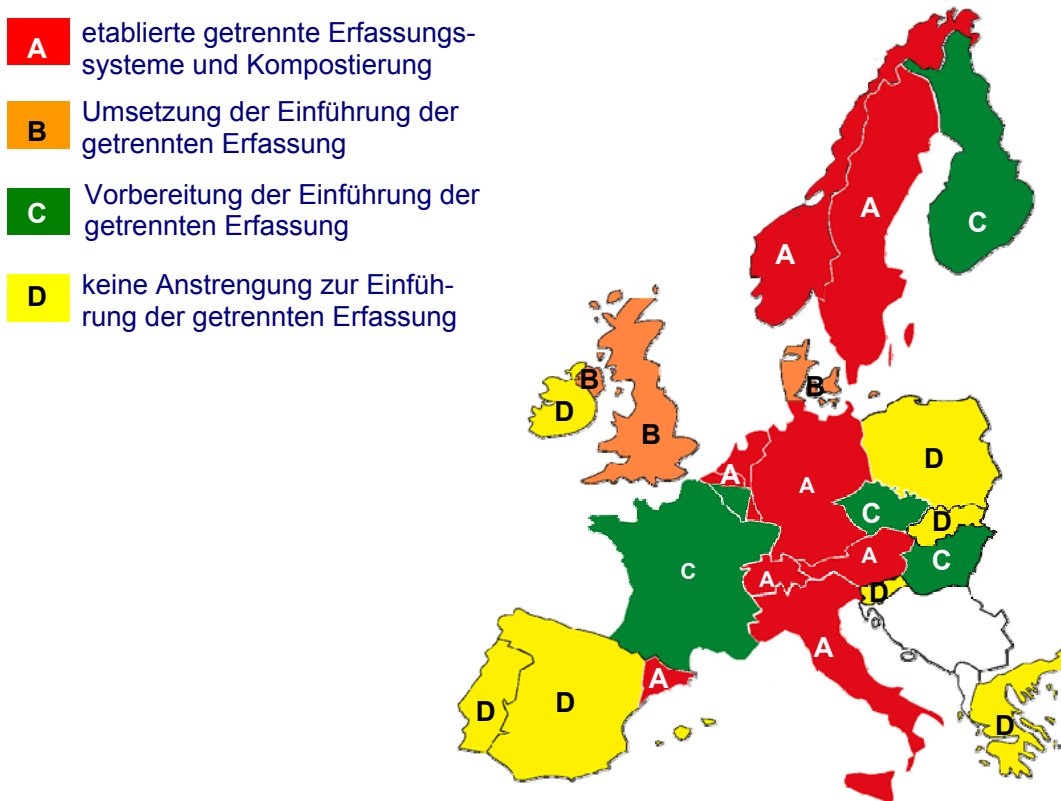


Abbildung 2.1: Stand der getrennten Erfassung von Bioabfall in Europa³

Erfassung der Bioabfälle in Deutschland

In Deutschland wurden 2002 pro Einwohner und Jahr ca. 110 kg Küchen- und Grünabfall getrennt erfasst, insgesamt also knapp 4,3 Mio. t Bioabfall und etwas mehr als 3,8 Mio. t Grünabfall.⁴ Die Menge an organischen Bestandteilen im Restabfall betrug 2002 immerhin noch knapp 5 Mio. t.⁵ Auch wenn die getrennte Erfassung der Bioabfälle in der BRD seit Mitte der 80er Jahre umgesetzt wird, zeigt sich auf der Ebene der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften ein heterogenes Bild.

¹ vgl. Barth & Favoino, 2005, S. 135

² vgl. Barth & Favoino, 2005, S. 135

³ vgl. Pennington, 2004

⁴ vgl. Fricke et al., 2003, S. 20

⁵ vgl. Fricke et al., 2003, S. 24

Die Zusammenstellung der Umfrageergebnisse gibt einen Überblick über den Stand der getrennten Bioabfallsammlung in Deutschland (vgl. Abbildung 2.2).

Von allen entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften hatten 2002 knapp 80 % die Biotonne eingeführt. Die Anschlussgrade - Anteile der tatsächlich an ein Getrennterfassungssystem angeschlossenen Haushalte bzw. Einwohner - schwanken jedoch zwischen 10 % und 90 %.¹ Dies hängt von einer Reihe von Faktoren ab, z.B. den Gebühren- und Abfallsatzungen, der Wahl der Anschlussart und dem Umgang mit der Eigenkompostierung. Nach Berechnungen liegt 2002 die Anschlussquote an die Biotonne in Deutschland im Mittel bei 47 %, bezieht man die Anschlussquote auf die Einwohner von Gebietskörperschaften mit Biotonne, dann liegt sie bei 56 %.² Zukünftig wird sich die getrennte Bioabfallerfassung voraussichtlich nur noch geringfügig ausdehnen. Zwar planen 10 % der Verwaltungseinheiten, den Anschlussgrad an die Biotonne zu erhöhen, allerdings beabsichtigen einige Kreise, die getrennte Bioabfallerfassung einzustellen.³

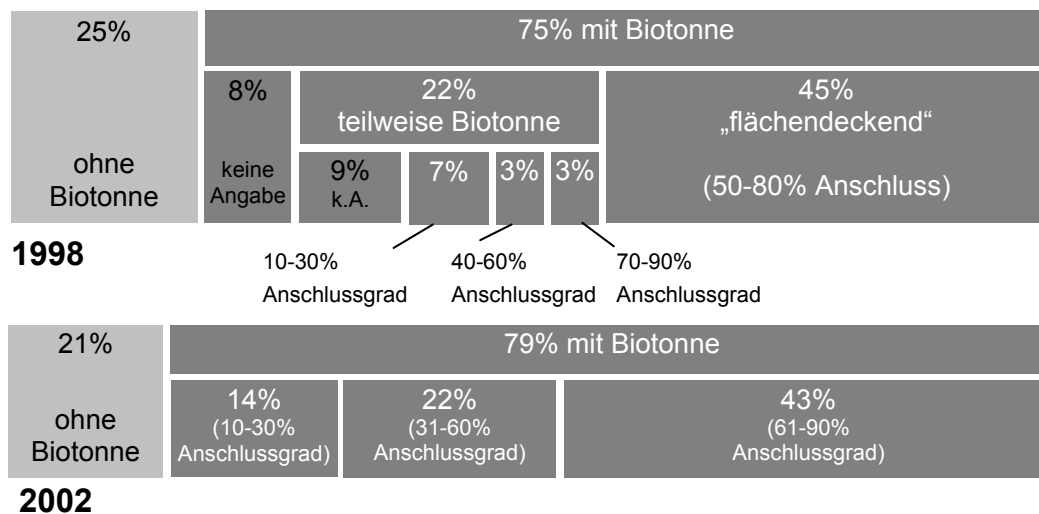


Abbildung 2.2: Stand der getrennten Sammlung der Bioabfälle in der BRD 1998 und 2002⁴

¹ vgl. Fricke, 1998, S. 4f bzw. Fricke et al., 2003, S. 17

² vgl. Fricke et al., 2003, S. 18

³ vgl. Fricke et al., 2003, S. 15f

⁴ eigene Darstellung, Daten aus Fricke, 1998 und Fricke et al., 2003

*Behandlung
von Bioabfall
in Deutsch-
land*

In Deutschland überwiegt die aerobe Behandlung für getrennt erfasste Bioabfälle. In den 90er Jahren spielte die Vergärung noch eine untergeordnete Rolle¹, jedoch nimmt die Zahl der Anlagen seitdem zu. Ende der 90er Jahre stehen ca. 550 Anlagen mit einer Kompostierungskapazität von 7,2 Millionen Tonnen 44 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 1,2 Mio. Tonnen bei der Vergärung gegenüber.² Es hat sich eine große Palette an aeroben Behandlungsverfahren etabliert: u.a. Mietenkompostierung, Boxen- bzw. Containerkompostierung, Zeilen- bzw. Tunnelkompostierung, Brikollarekompostierung und Trommelkompostierung.³ Daneben existiert eine Reihe von anaeroben Behandlungsverfahren, die mit einer Nachrotte kombiniert werden. Der anaerobe Behandlungsschritt wird je nach Trockensubstanzgehalt im Gärreaktor als „nass“ oder „trocken“, in Abhängigkeit von der Temperatur als „mesophil“ oder „thermophil“ bezeichnet und anhand der Verfahrensstufen als ein-, zwei- oder dreistufig klassifiziert.⁴ Für die anaerobe Behandlung von Bioabfällen aus den Haushalten überwiegt die Trockenvergärung.⁵

*Biotonne in
Deutschland*

Eingeführt wurde die Biotonne 1982 in einem Pilotprojekt in Deutschland.⁶ Unterstützt wurden die Verbreitung der getrennten Erfassung und die Verwertung von Bioabfallkompost durch die Umweltbewegung, das gesteigerte Umweltbewusstsein der Bevölkerung und abfallrechtliche Vorgaben, die die Kreislaufwirtschaft förderten. Argumente, die gegen die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen sprechen, sind vielschichtig und betreffen u.a. Änderungen von rechtlichen Vorgaben, verfahrenstechnische Fortschritte bei der Restabfallbehandlung oder auch finanzielle Engpässe der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften. Setzungen auf Deponien und Deponiegas, das durch den Abbau von organischer Substanz im Deponiekörper verursacht wird, sind Gründe für die getrennte Erfassung von Bioabfällen. Für die getrennte Erfassung spricht zwar auch, dass ein hoher Anteil an organischer

¹ vgl. Kern et al., 1996, S. 411

² vgl. Kern, 1999, S. 294

³ vgl. Kern, 1999, S. 300

⁴ vgl. Kern, 1999, S. 312

⁵ vgl. Kern, 1999, S. 299

⁶ vgl. Fricke et al., 2003, S. 15

Substanz im Restabfall je nach Ausgestaltung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung einen zusätzlichen technischen Aufwand erfordern oder die Leistungsfähigkeit einzelner Restabfallbehandlungsschritte einschränken kann. In den letzten Jahren hat sich jedoch aufgrund von technischen Fortschritten die Ausschleusung verwertbarer Abfallfraktionen und die Behandlungstechnik für nasse, organikhaltige Restabfälle verbessert, so dass ein erhöhter Anteil der organischen Fraktion im Restabfall nicht unbedingt zu Einschränkungen in der Behandlung der Restabfälle führen muss.

Die angespannte Haushaltsslage einzelner Gebietskörperschaften kann ein Anlass sein, durch die Abschaffung der getrennten Erfassung Einsparpotenziale zu ermitteln. Schlechte Erfahrungen mit der getrennten Bioabfallerfassung, z.B. erhöhte Schwermetallgehalte der Kompostrohstoffe durch hohe Fehlwurfquoten und damit verbundene Einschränkungen bei der Verwertung der Komposte, widersprechen dem Ziel der getrennten Sammlung von Bioabfällen und sind ein weiterer Grund für deren Abschaffung.

*Diskussion
um die
Zukunft der
getrennten
Bioabfall-
erfassung*

Betrachtet man die Ausbreitung der getrennten Erfassung von Bioabfall in Deutschland, dann zeigt sich, dass diese mit unterschiedlichen Systemen und Anschlussgraden erfasst werden. Es scheint, dass sich nicht ein Erfassungssystem durchgesetzt hat, sondern je nach Randbedingungen im Entsorgungsgebiet unterschiedliche Erfassungssysteme und Entsorgungswege ausgestaltet haben. So gibt es ländliche Kreise, die keine Biotonne eingeführt haben und die Eigenkompostierung fördern, und ländliche Kreise, die aufgrund des hohen Bioabfallpotenzials die getrennte Erfassung favorisieren. Es wird diskutiert, ob das abschöpfbare Wertstoffpotenzial aus gemischten Abfällen nicht höher ist als die getrennte Erfassung von Teilmengen mit einem eigenen System. Für die Wertstoffe ist daher die Wertstoffsor-tierung gemischt gesammelter Abfälle eine Perspektive. Dies trifft jedoch nicht für Bioabfälle zu. Die sortenreine, getrennte Erfassung von Bioabfällen ist bisher Voraussetzung für deren stoffliche Verwertung.¹ Die getrennte Sammlung von verwertbaren Abfällen fördert den bewussten Umgang mit Ressourcen und hilft, Umweltschutz im Alltag zu etablieren.

¹ vgl. Umweltbundesamt, 2004, S. 4

Abfall-
vermeidung

Die Bewertung der Bioabfallentsorgung bezieht sich in der Regel auf kommunale Entsorgungssysteme. Aufgrund ihrer räumlich und fachlich eingeschränkten Kompetenz können die kommunalen Abfallentsorgungsstellen die Abfallentstehung nicht beeinflussen, so dass die Steuerung der Abfallentsorgung sich auf das Entsorgungsverhalten der Haushalte und Maßnahmen der getrennten Erfassung beschränkt.¹ Des Weiteren spielt bei der Entsorgung der Bioabfälle die Abfallvermeidung im Gegensatz zu anderen Abfallfraktionen eine untergeordnete Rolle: das Wachstum der Pflanzen und die Nutzung der Gartenflächen sind ebenso schwierig zu beeinflussen wie Lebens- und Ernährungsgewohnheiten. Lediglich die Eigenkompostierung, die die öffentlich zu entsorgenden Abfallmengen reduzieren kann, wirkt quasi „abfallvermeidend“², in dem die Bioabfallmengen nicht öffentlich, sondern privat erfasst und verwertet werden.

Ziel: hohe
Abschöpf-
rate?

In einigen Literaturstellen wird als Ziel für die getrennte Bioabfallererfassung eine hohe Abschöpfungsrate genannt, also ein hoher Anteil des getrennt erfassten Bioabfalls bezogen auf das Gesamtabfallaufkommen aus Bio- und Restabfall.³ Kritisch bei dieser Betrachtungsweise ist, dass bei einer maximal hohen Abschöpfungsrate die Bedeutung der Eigenkompostierung nicht berücksichtigt wird. Die getrennte Erfassung der Bioabfälle kann auch so erfolgen, dass die Eigenkompostierung nicht geschwächt wird.⁴ In beiden Fällen wird die organische Fraktion im Restabfall reduziert und unerwünschte Entsorgungswege können ausgeschlossen werden.⁵

¹ vgl. Salhofer, 2001, S. 14

² so Ketelsen & Doedens, 1992, S. 472

³ vgl. Bilitewski & Okeke, 1994, S. 212

⁴ vgl. Doedens, 1996, S. 136

⁵ vgl. Ketelsen & Doedens, 1992, S. 478

2.1.2 Konsequenzen aus rechtlichen Vorgaben

Einführung

Die nationale Gesetzgebung und rechtliche Vorgaben der EU haben einen großen Einfluss auf die Durchführung der Abfallentsorgung, insbesondere auf die Zulässigkeit und die Auswahl von Behandlungsverfahren, den Betrieb von Anlagen und die Verwertung von Produkten aus der Behandlung. Im Folgenden werden daher relevante Regelwerke genannt. Es wird kurz erläutert, wie sie die zukünftige Entwicklung der Bioabfallentsorgung beeinflussen.

Das nationale Abfallrecht im engeren Sinne umfasst in erster Linie das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz und die Abfallgesetze der Bundesländer. Diese werden ergänzt durch das Immissionsschutzrecht, wasserrechtliche Vorgaben, Bodenschutzregelungen, aber auch das Düngemittelrecht, (Durchführungs-)Verordnungen oder technische Anleitungen. In der Mehrzahl enthalten die Regelungen Grenzwerte für Emissionen von Anlagen oder Anlagenteilen. Des Weiteren werden Vorgaben an die abzulagernden oder verwertbaren Abfälle, deren Behandlungsrückstände oder erzeugte Produkte festgelegt. Teilweise sind auch Angaben über den Betrieb von Anlagen oder über die Zusammensetzung von Eingangsmaterial von Anlagen enthalten.

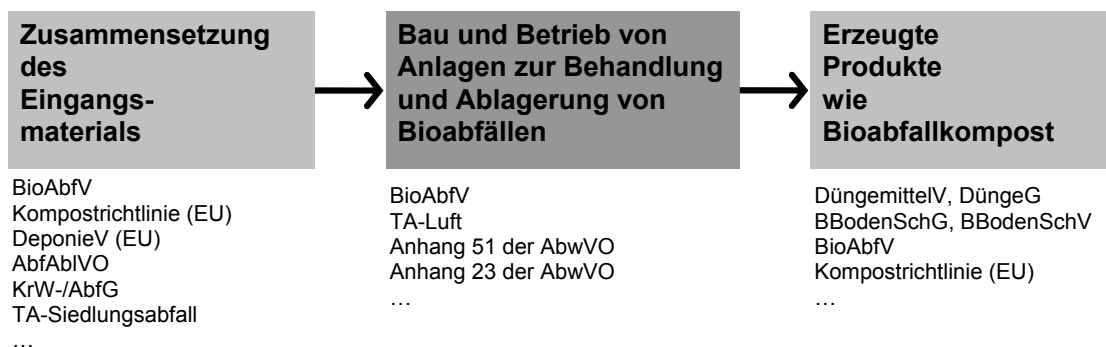


Abbildung 2.3: Auswahl relevanter gesetzlicher Grundlagen für die Behandlung und Entsorgung von Bioabfall und erzeugten Produkten

Die Regelungen schreiben nicht direkt den Stand der Technik vor, sondern es werden indirekt durch Vorgaben über die Begrenzung von Emissionen oder die Anforderungen an die Zusammensetzung von erzeugten Abfallteilströmen verfahrenstechnische Standards oder die Betriebsführung von Anlagen

bestimmt. Neben den bundesweiten Vorgaben sind zunehmend auch Regelungen der EU zu beachten. Derzeit existieren keine Vorgaben für die privat erfassten Bioabfälle und deren Behandlung oder Verwertung.

EU-
Richtlinien

Auf europäischer Ebene ist eine Reihe von Vorgaben¹ für die Bioabfallentsorgung wichtig. Vor allem die Richtlinie zur Ablagerung von Abfällen (Directive 1999/31/EC) ist von Bedeutung, da sie festlegt, dass innerhalb einer festgelegten Frist bezogen auf ein bestimmtes Bezugsjahr die Menge des abgelagerten Bioabfalls um 65 % abnehmen soll.² Aus diesem Grund wird voraussichtlich die getrennte Erfassung, Behandlung und Verwertung der organischen Abfälle zunehmen, da sie geeignet sind, die Vorgaben der Richtlinie zu erreichen. Gleichzeitig wird die Zahl der mechanisch-biologischen Behandlungsverfahren für Restabfälle steigen.³

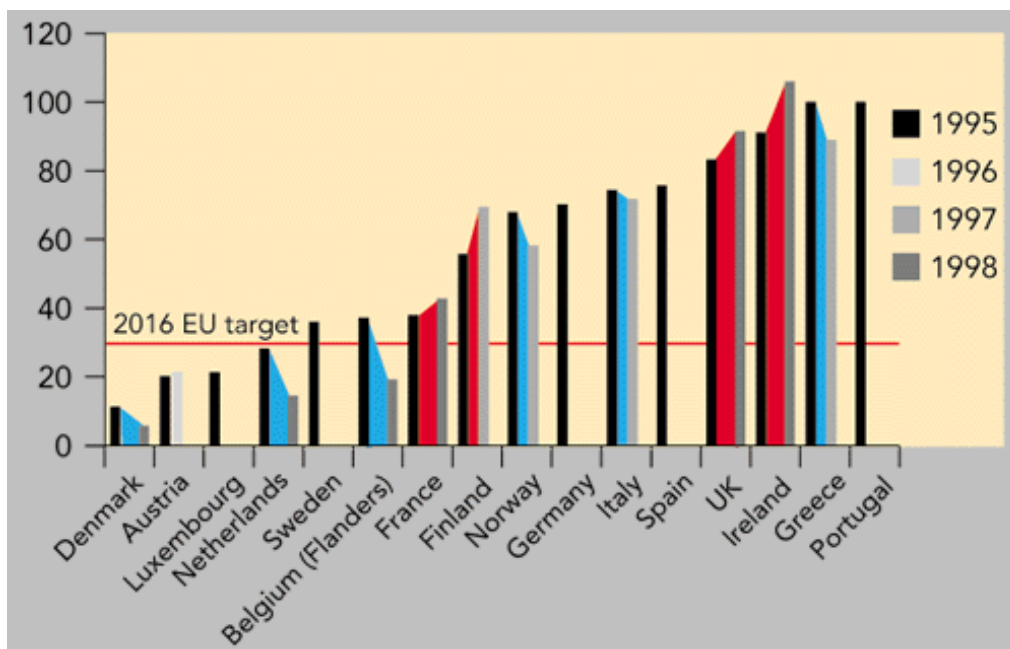


Abbildung 2.4: Anteil der deponierten organischen Fraktion bezogen auf die Gesamtabfallmenge in den Ländern der EU 1995⁴

Der bisher in Diskussion befindliche Entwurf der Bioabfallrichtlinie (Directive on Biological Treatment of Biodegradable

¹ u.a. Waste Framework (Directive 91/156/EEC), Regulation on shipment of waste (Reg EEC 259/93), Incineration of Waste (Directive 2000/76/EC), Landfill of waste (Directive 1999/31/EC)

² vgl. Barth & Favoino, 2005, S. 137

³ vgl. Barth & Favoino, 2005, S. 133

⁴ vgl. Pennington, 2004

Waste) würde für die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen in Deutschland keine weiteren Folgen haben, da er nicht über die Regelungen der in Deutschland geltenden Bioabfallverordnung hinausgeht. Allerdings würde er die getrennte Erfassung von Bioabfällen in den neuen und den zukünftigen Beitrittsländern der EU fördern. Derzeit ist jedoch nicht absehbar, dass die Bioabfallrichtlinie beschlossen wird.¹ Das Konzept zum Bodenschutz (EC Soil Protection Strategy) bezieht sich auf den Verlust an organischer Substanz in Böden. Die getrennte Erfassung von Bioabfällen und die Verwendung von Bioabfallkompost sollen dem entgegenwirken.

Die national erlassene Bioabfallverordnung schreibt vor, welche Abfälle in die Kompostierung gelangen dürfen und welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Bioabfallkomposte stofflich verwertet werden dürfen. Die Menge des maximal verwertbaren Bioabfallkomposts pro Flächengröße wird hiermit allerdings nicht beschränkt, sondern dies erfolgt durch die düngemittelrechtlichen Vorgaben.

*Bioabfall-
verordnung
auf
nationaler
Ebene*

Seit Mitte 2002 wird eine bundesweite Regelung zum Schutz des Bodens vorbereitet, die den Eintrag von Schwermetallen aus Düngemittel in den Boden begrenzen soll. Sie schränkt die Verwertung von so genannten Sekundärrohstoffdüngern, u.a. Bioabfallkompost, ein und wird die BioAbfV, die DüngeV und das DüngeG ergänzen. Die in der Diskussion befindlichen Grenzwerte liegen höher als bisher, so dass die Anforderungen an die Zusammensetzung des zu verwertenden Bioabfallkomposts steigen.² Dies wirkt sich auf die Verwertung von Kompost und indirekt auf die Behandlungstechnik und die Sammlung von Bioabfällen aus. Die Auswirkung dieses Konzepts ist umstritten.³ Hochrechnungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost schätzen, dass nach dem Stand der vorhandenen Kompostierungstechnik voraussichtlich 62 % der Kompostierungsanlagen die Grenzwerte für Verwertung von Kompost auf Lehmböden und 98 % die Grenzwerte für die Verwertung von Kompost auf Sandböden nicht werden einhalten können.⁴

*Konzept zum
vorsorgenden
Bodenschutz*

¹ vgl. <http://www.compostnetwork.info/> vom 25.11.05

² ausführlich dazu Gaßner & Marvani, 2003, S. 431ff

³ ausführlich dazu Beiträge in: Fricke et al., 2003

⁴ vgl. Kehres, 2003, S. 316

*Technische
Anleitung
Luft*

Neben den technischen Anleitungen (TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall) sind die Vorgaben zur Ablufffassung und Abluftreinigung der im Jahr 2002 in Kraft getretenen neuen TA-Luft für Kompostierungsanlagen mit mehr als 10.000 t Jahresdurchsatz beachtlich. Sie verlangen eine geschlossene Betriebsführung, die bisher noch nicht obligatorisch war. Dies trifft vor allem für Anlagen in den neuen Bundesländern zu, die nachgerüstet werden müssen.

*bundesweite
Verord-
nungen*

Eine Reihe von Verordnungen enthalten Vorgaben für die Behandlung von Bio- und Restabfällen, u.a. die Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung - AbfAbLV), die Verordnung über mechanisch-biologische Behandlungsanlagen für Siedlungsabfälle und andere biologisch abbaubare Abfälle - 30. BImSchV, der Anhang 23 zur Abwasserverordnung und der Anhang 51 zur Abwasserverordnung.

Durch die festgelegten Anforderungen der AbfAbLV werden sich für die mechanisch-biologische Behandlung des organischen Anteils der Restabfälle zwei unterschiedliche Varianten etablieren.¹ Zum einen wird der organische Anteil des Restabfalls getrocknet und stabilisiert, um ihn energetisch zu nutzen. Zum anderen können die organischen Bestandteile des Restabfalls abgetrennt und weitgehend mit Hilfe aerober oder anaerober Verfahren abgebaut werden. Eine mechanisch-biologische Behandlung des gesamten Abfallstroms, ohne verwertbare Abfallfraktionen auszuschleusen, wird nicht zugelassen. Beide Varianten setzen eine mechanische Aufbereitung voraus. Für die Trocknung und Stabilisierung des organischen Anteils bedeutet dies in erster Linie, nur verwertbare, heizwertarme Restabfallfraktionen auszuschleusen. Für die zweite Variante dagegen werden alle Abfallfraktionen ausgeschleust, die verwertbar oder heizwertreich sind und die den Abbauprozess beeinträchtigen könnten. Aufgrund der festgelegten Grenzwerte ist eine weitgehende Entnahme der heizwertreichen Abfallfraktionen erforderlich.

Zukünftige MBA-Konzepte werden daher weitgehend Stoffströme trennen oder, wenn alles verbrannt wird, weitgehend Abfallvolumen reduzieren, eine mehrstufige, biologische Be-

¹ vgl. Ketelsen et al., 2001, S. 462

handlung umsetzen, das Hallenvolumen reduzieren, die Betriebseinheiten segmentieren sowie Abgasbehandlungskonzepte enthalten.¹

Die Bioabfallentsorgung in Deutschland wird vor allen Dingen durch nationale Regelungen beeinflusst. Für die getrennte Erfassung von Bioabfall wird die Ausgestaltung des Bodenschutzes bei der stofflichen Verwertung des Komposts wichtig sein. Wenn die gesetzlichen Vorgaben die Verwertung von Kompost in der bisherigen Größenordnung unter wirtschaftlichen Bedingungen zulassen, wird sich der Anschlussgrad an die getrennten Erfassung leicht erhöhen und die Vergärung in Kombination mit einer aeroben Nachbehandlung wird, ebenso wie die gemeinsame Vergärung mit anderen Abfällen, an Bedeutung gewinnen. Änderungen können die Betriebsführung der Anlagen betreffen, insbesondere die Ausschleusung von Stör- und Schadstoffen sowie die Fassung und Behandlung der Abluft.

*Fazit für die
Bioabfallent-
sorgung*

§ 6 (1) S. 2 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) legt fest, dass Abfälle grundsätzlich stofflich als auch energetisch verwertet werden sollen. Die Beseitigung ist der Kreislaufwirtschaft nach § 10 (1) S. 1 KrW-/AbfG grundsätzlich nachrangig. Damit hat die Verwertung von Abfällen und das Schließen von ökologisch und ökonomisch geeigneten Kreisläufen Priorität. Die „Hausmüllklausel“ des § 4 (4) S.1, 2. HS bildet eine Ausnahme: Für Hausmüll mit seinen wechselnden Zusammensetzungen und verschiedenen Schadstoffen bleibt die thermische Behandlung möglich. Das bedeutet, dass Hausmüll vom Vorrang der energetischen Verwertung freigestellt wird, auch wenn das Gebot der stofflichen Verwertung davon unberührt ist. Grundsätzlich hat die umweltverträglichere Verwertungsart Vorrang, wobei eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung anzustreben ist. Verordnungen können im Einzelfall Vorränge für einzelne Abfallarten festlegen, allerdings ist dies für die Bioabfälle bisher nicht erfolgt. Ist der Nachweis der umweltverträglicheren Verwertung im Einzelfall zu führen, dann lässt sich aus § 5 (5) S. 2 des KrW-/AbfG ableiten, dass sie u.a. technisch möglich, wirtschaftlich zumutbar und schadlos sein muss und dass die natürlichen Ressourcen geschont werden müssen. Nachweise in

*stofflicher vor
energeti-
schem
Nutzen*

¹ vgl. Ketelsen et al., 2001, S. 466

diesem Sinne wurden bisher vor allen Dingen für die mechanisch-biologische Restabfallbehandlung geführt.

*Gebot zur
getrennten
Erfassung?*

Damit diese Ziele erreicht werden können, fordert § 5 (2) KrW-/AbfG die getrennte Erfassung und Behandlung von Abfällen. In Verbindung mit § 11 (2) KrW-/AbfG kann hieraus allerdings kein striktes Gebot zur getrennten Erfassung abgeleitet werden. Es bedeutet vielmehr, dass, sind Abfälle für eine anschließende Verwertung getrennt erfasst, nachträglich keine Vermischung erfolgen darf, die der Verwertung entgegensteht. Einige Landesabfallgesetze enthalten Regelungen, die die getrennte Erfassung von Abfällen festlegen, z.B. in Niedersachsen.

2.2 Einführung in Bewertungsverfahren

2.2.1 Bewertungsverfahren und Bewertungsmethode

Bewertungen können in unterschiedlicher Weise durchgeführt werden. Um Sachverhalte mit einer Wertebene zu verknüpfen, wird auf Bewertungsverfahren bzw. -methoden zurückgegriffen. In der Literatur werden diese Begriffe jedoch nicht einheitlich benutzt.¹ Unter Bewertungsmethode wird innerhalb dieser Arbeit eine strukturierte Abfolge von Arbeitsschritten verstanden, um aus Rohmaterialien bestimmte Ergebnisse zu erzielen. Um ein Bewertungsverfahren handelt es sich dann, wenn die Abfolge der wesentlichen Arbeitsschritte der Bewertung oder die Bestandteile einzelner Arbeitsschritte rechtlich oder anderweitig festgelegt sind, z.B. die Ökobilanz durch die DIN EN ISO 14040. Dies kann erforderlich sein, um Mindestqualitätsstandards festzulegen und die Vergleichbarkeit von Ergebnissen gleicher Bewertungsmethoden zu erleichtern.

*Verfahren
oder
Methode?*

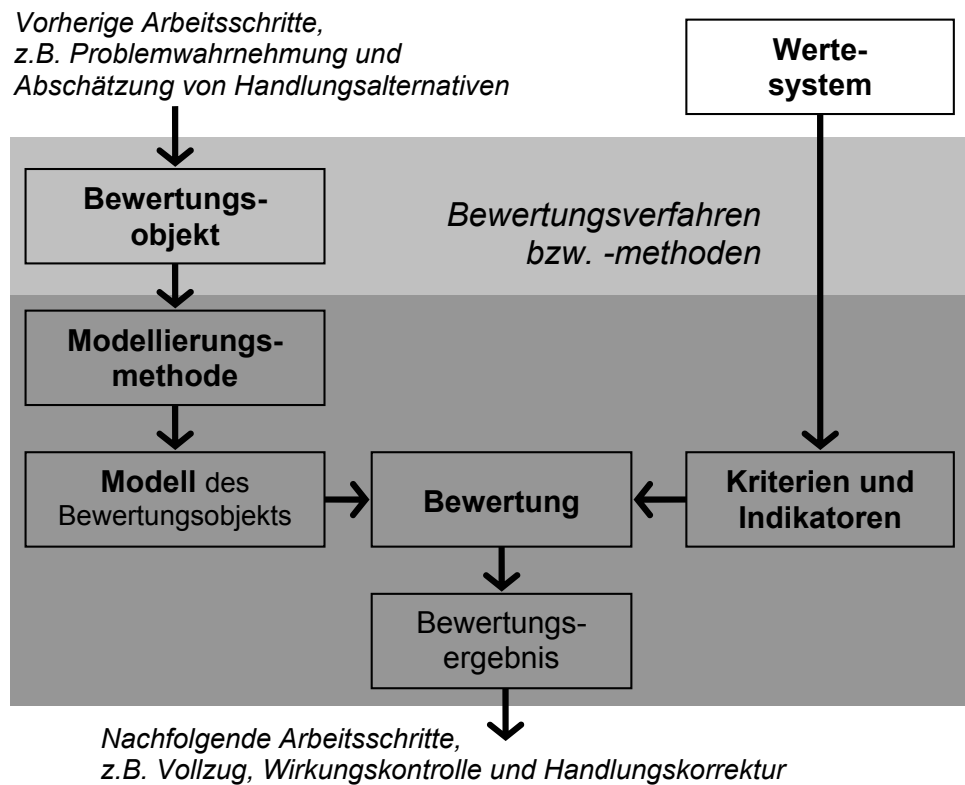


Abbildung 2.5: Bewertungsverfahren und Bewertungsmethode im Entscheidungsprozess²

¹ vgl. Jacoby, 2000, S. 51

² ergänzt in Anlehnung an Stelzer, 1997, S. 13

2.2.2 Bestandteile und Ablauf von Bewertungen

Ziel

Bewertungen können von Einzelnen, innerhalb von gesellschaftlichen Gruppen oder zwischen verschiedenen Gruppen durchgeführt werden und unterschiedlichen Zwecken dienen, z.B. zur Beantwortung einzelner Fragestellungen, wissenschaftlichen Zielen und dem damit verbundenen Erkenntnisgewinn oder auch der Entscheidungsunterstützung Dritter im Rahmen öffentlichen Handelns. Bewertungen sind dann Bestandteil eines Planungs- oder Entscheidungsprozesses. Dieser gliedert sich in Problemidentifizierung, Vorabschätzung von Handlungsalternativen, Programmbildung und Entscheidung, Programmvollzug, Wirkungskontrolle und Handlungskorrektur, an die sich dann unter Umständen wieder die Problemwahrnehmung anschließt.

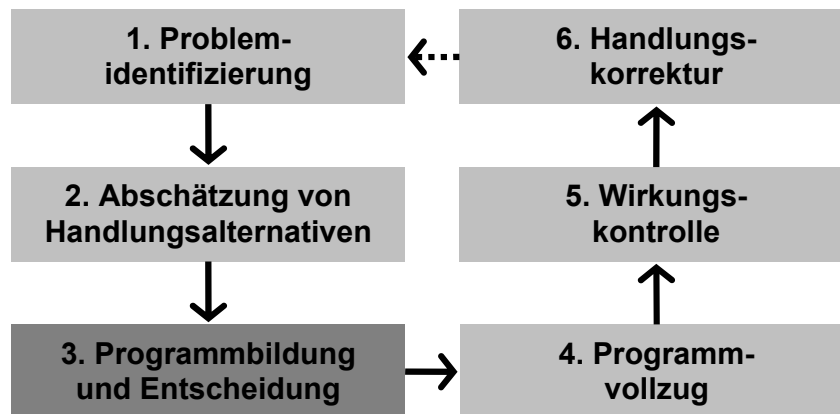


Abbildung 2.6: Policy Zyklus - öffentliches Handeln¹

Bewertungen sind zwar Bestandteil in jedem Arbeitsschritt, allerdings ist insbesondere beim dritten Arbeitsschritt eine Entscheidung über Programme oder Maßnahmen und damit eine Bewertung der Handlungsalternativen und beim fünften Arbeitsschritt eine Bewertung über die intendierte und tatsächliche Wirkung zu vollziehen. Je nach Fragestellung und Problemzusammenhang kann der Entscheidungsprozess formell bestimmt sein und eine geregelte Abfolge von Arbeitsschritten enthalten, die sich unter bestimmten Anforderungen auch auf den Arbeitsschritt der Bewertung beziehen können, wie z.B. die Abwägungssystematik im Rahmen der Bauleitplanung nach § 1 Baugesetzbuch. Im Planungs- und Umweltrecht ist aber weder die Anwendung bestimmter Bewertungsmethoden verbindlich

¹ nach Prittwitz, 1994, S. 57

vorgegeben, noch entfalten die Ergebnisse standardisierten Methoden eine unmittelbare Bindungswirkung für die Entscheidungsträger.¹ Durch Entscheidungen, Zwischenergebnisse oder neue Erkenntnisse während des Prozesses können Rekursionen enthalten sein, so dass der Prozess sehr komplex werden kann.

Bewertungen müssen grundsätzlich Anforderungen erfüllen, z.B. Objektivität und Transparenz, Reliabilität und Validität.² Dies gilt insbesondere für Bewertungen, die Bestandteil eines Entscheidungsprozesses sind oder deren Bewertungsergebnisse außenwirksam und damit öffentlich werden, da aufgrund der Bewertungsergebnisse Maßnahmen ergriffen werden oder andere Handlungen ausgelöst und begründet werden. Aus diesem Grund ist beispielsweise die Einbindung von Akteuren, wie der Entscheidungsträger, Träger öffentlicher Belange oder betroffene Bürger, sowohl in die Bewertung selber als auch in den zugrunde liegenden Prozessen wichtig, um das Vertrauen in die zugrunde liegende Bewertung und die Bewertungsergebnisse zu sichern.

Die zu bewertende Fragestellung hat einen zeitlichen und räumlichen Bezug. Die in die Bewertung eingehenden Datengrundlagen können sich auf eine begrenzte Zeitspanne beziehen oder rückwärtsgewandt gegebene Verhältnisse betrachten und sich auf tatsächlich gemessene Daten stützen. Bewertungen können auch zukünftige Verhältnisse behandeln und zusätzlich prognostische Bestandteile enthalten. In der Literatur wird weiterhin zwischen allgemeinen und speziellen Bewertungen unterschieden.³ Gemeint ist dabei eine Teilung in standortabhängige bzw. einzelfallbezogene und standortunabhängige bzw. allgemeine Bewertungen. Bei standortabhängigen Bewertungen werden beispielsweise die Umweltauswirkungen an einem einzelnen Standort abgeschätzt und standortspezifische Daten zugrunde gelegt, wie in der Studie „Systemvergleich unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung im Kreis Neuwied“ aus dem Jahr 1998. Bei allgemeinen Bewertungen ohne Bezug zu einem einzelnen Standort steht die grundsätzliche Bewertung von Systemen im Vordergrund, beispielsweise

*zeitlicher und
räumlicher
Bezug*

¹ vgl. Jacoby, 2000, S. 349

² vgl. Bechmann, 1989, S. 90ff

³ so in Schwing, 1999a, S. 49

der „Vergleich der Umweltauswirkungen von Polyethylen- und Papiertaschen“ des Umweltbundesamts aus dem Jahr 1993. In diesem Fall wird als räumlicher Bezug meist eine Nation oder ein Land zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 4).

Vorgang

Die Bewertung stellt einen Bezug zwischen einem zu bewertenden Objekt und einem wertenden Subjekt, dem Wertträger her.¹ Für die Bewertung müssen Kriterien ausgewählt und operationalisiert werden, um sie mit der Sachebene zu verknüpfen. Mit der Gewichtung von einzelnen Kriterien kann eine Rang- oder Reihenfolge mehrerer Kriterien festgelegt werden. Aggregation bezeichnet das Zusammenfassen von Messgrößen, Bewertungskriterien oder auch Bewertungsergebnissen.

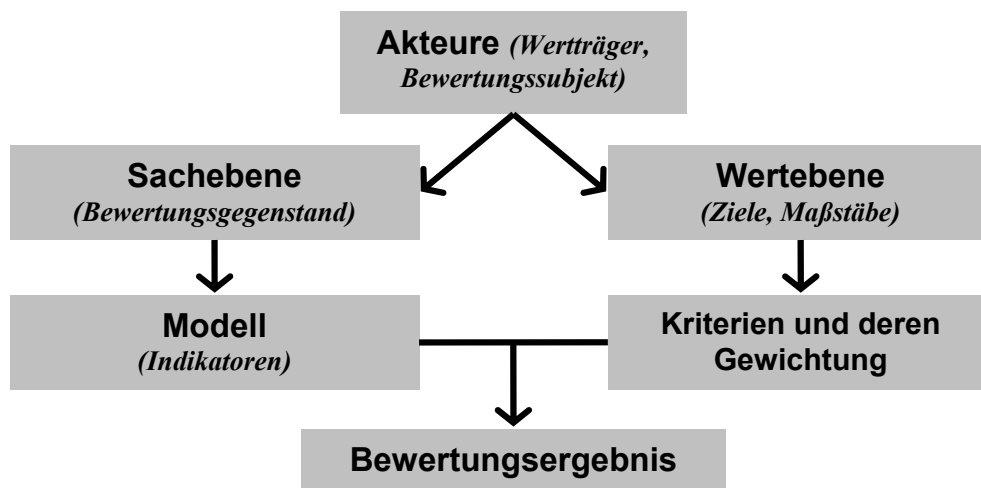


Abbildung 2.7: Bewertungsvorgang²

Die Bewertung kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden, z.B. durch

- einen Bezug des zu bewertenden Objekts zu Zielen, die der Wertträger definiert oder durch Kriterien
- einen Vergleich von zwei oder mehreren Zuständen des zu bewertenden Objekts zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder in unterschiedlichem Kontext
- den Vergleich von verschiedenen, zu bewertenden Objekten, die entsprechend der Fragestellung eine gemeinsame Vergleichsgröße aufweisen, z.B. gleicher Nutzen.

¹ vgl. Bechmann, 1989, S. 91

² ergänzt in Anlehnung an Bechmann, 1989, S. 91

Für die Bewertung ist die Abgrenzung des zu untersuchenden Objekts entscheidend. Je exakter die Fragestellung formuliert ist, desto besser kann das zu bewertende System abgegrenzt werden. Bei der Bewertung von Entsorgungsoptionen für Bioabfall können sich beispielsweise Unterschiede bei der Berücksichtigung von Vorketten, des Materialbedarfs für die Herstellung von Anlagen, die nachfolgenden Arbeitsschritte oder die mit der Entsorgung erzielten Nutzen ergeben.

*Fragestellung
und System-
abgrenzung*

Je umfassender die zu bewertende Fragestellung ist, desto anspruchsvoller wird die Systemabgrenzung, desto komplizierter wird der Bewertungsvorgang und desto wichtiger ist eine (differenzierte) Ergebnisdarstellung. Gleichzeitig nimmt der Aufwand für die Datenbeschaffung zu. Es können Schwierigkeiten entstehen, da nicht alle Daten zur Verfügung stehen oder Daten fehlen. Die Schwierigkeit bei der Systemabgrenzung für die Bewertung besteht darin, dass nicht unbedingt zu Beginn einer Untersuchung bekannt sein muss, ob die für die Beantwortung der Fragestellung relevanten Bereiche auch gleichzeitig diejenigen sind, die das Bewertungsergebnis maßgeblich beeinflussen.

So genannte Abschneidekriterien legen fest, welche Daten für die Bewertung erhoben und bewertet werden. Für die Ökobilanz unterscheidet man in der Regel drei Entscheidungskriterien: Masse, Energie und Umweltrelevanz, wobei das Kriterium Masse in der Praxis dominiert.¹ Meist werden nur die Daten erfasst und bewertet, die

*Ab-
schneide-
kriterien*

- mehr als einen festgelegten prozentualen Anteil zur Gesamtmasse des zu untersuchenden Systems beitragen oder
- mehr als einen festgelegten prozentualen Anteil am Energieinput des untersuchten Systems aufweisen oder
- mehr als einen festgelegten prozentualen Anteil zu einer/mehreren Umweltauswirkungen beitragen.

Es gibt eine Fülle von Bewertungsmethoden. Sie unterscheiden sich durch die Art und die Zahl der Bewertungskriterien, die Zahl der Messgrößen, die Art der Erstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse. Kriterien für eine Bewertung können qualitativ (z.B. Umweltauswirkungen allgemein) oder quantitativ (CO₂-Emissionen pro t Materialinput) beschrieben werden

*Art und Zahl
der Kriterien*

¹ vgl. Pandt, 2000, S. 56

und unterschiedliche Detaillierungsgrade aufweisen. Ein Bewertungskriterium kann durch eine unterschiedlich große Zahl von Messgrößen ermittelt werden.

Gewichtung

Um die Bewertungsergebnisse zu strukturieren oder zu interpretieren, können Bewertungskriterien gewichtet werden. Die Gewichtung von Kriterien kann sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten richten, z.B. nach ihrer ökozentrischen oder/und anthropozentrischen Bedeutung, nach den Erfordernissen im Einzelfall, nach der Empfindlichkeit des Bezugsraums oder nach der räumlichen Wirkung. So kann beispielsweise festgelegt werden, dass global wirksame Schadstoffe, die zum Treibhauseffekt oder Abbau der stratosphärischen Ozonschicht beitragen, grundsätzlich (ge-)wichtiger sind als lokal wirksame Schadstoffemissionen, wie beispielsweise die Versauerung oder Eutrophierung von Böden und Gewässern.

Die Transparenz bei der Gewichtung, z.B. durch die Offenlegung der Gewichtungsfaktoren, ist wichtig, um die Bewertung nachvollziehbar zu machen. Ob dies die Akzeptanz für die Bewertungsergebnisse ausreichend sichert, ist jedoch schwierig zu beantworten. Werden Akteure bei der Auswahl von Bewertungskriterien und bei der Festlegung von Gewichtungsfaktoren beteiligt, gestaltet sich zwar der Bewertungsprozess aufwendiger. Allerdings führt dies dazu, dass der Bewertungsvorgang besser in die Problematik eingebunden ist und die Bewertungsergebnisse eher als Entscheidungsgrundlage akzeptiert werden.

Allokation

Besteht ein zu untersuchendes Teilsystem aus mehreren Eingangs- und Ausgangsgrößen, dann müssen die durch das Teilsystem hervorgerufenen Emissionen oder Kosten zwischen den Materialströmen aufgeteilt werden. Allokationen beschreiben die Regeln für die Aufteilung der Stoffe. Sie können nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen, z.B. nach Gewichtsanteilen oder nach dem Marktwert der Produkte.¹ Eine Schwierigkeit besteht darin, dass die Zuordnung von Umweltauswirkungen und Kosten auf eine Bezugsgröße oder den zu bewertenden Sachverhalt nicht eindeutig sein muss. Die Festlegung der Allokationsregeln kann für das Bewertungsergebnis beachtlich sein und muss daher offen gelegt werden.

¹ vgl. Salhofer, 2001, S. 214

Sowohl qualitative, als auch quantitative Kriterien oder Kriterien aus verschiedenen Bereichen lassen sich nicht oder nur unter Einschränkung der Nachvollziehbarkeit des Bewertungsergebnisses zusammenfassen, z.B. der Flächenverbrauch pro Einwohner und der Ausstoß von Methan pro t Material. Je mehr Teilergebnisse aggregiert werden, desto leichter lassen sich Varianten reihen und damit scheinbar eindeutige Ergebnisse ableiten. Je unterschiedlicher die zu aggregierenden Teilergebnisse sind, desto übersichtlicher wird zwar die Gesamtbewertung. Nachteilig ist jedoch, dass die Nachvollziehbarkeit und die Aussagekraft des Gesamtergebnisses eingeschränkt sind. Für eine verbal-argumentative Zusammenfassung der Optionen spricht, dass unterschiedliche Aspekte für ein Bewertungsergebnis besser nachvollziehbar bleiben. Ein direkt messbarer Vergleich der Bewertungsergebnisse von Optionen ist allerdings dann nicht mehr möglich.

Aggregation

2.2.3 Zusammenstellung ausgewählter Bewertungsmethoden

Für die ökologische und ökonomische Bewertung von Entsorgungssystemen für Bioabfälle steht eine Reihe von Bewertungsmethoden zur Verfügung. Da sie unterschiedliche Merkmale und spezielle Vor- und Nachteile aufweisen, sind sie für unterschiedliche Zwecke geeignet. Ergebnisse aus Bewertungen sind nur für eine bestimmte Anwendung oder Fragestellung gültig. Um die bisherigen Erkenntnisse aus Untersuchungen zur Bewertung von abfallwirtschaftlichen Systemen einzuordnen, sind die Schwierigkeiten, die mit der Bewertung verbunden sind, abzuschätzen. Um außerdem eine Vorgehensweise zur Bewertung erarbeiten zu können, wird im Folgenden auf Bewertungsmethoden, Ziele und Zwecke der Bewertung sowie Unsicherheiten bei der Bewertung eingegangen. Soweit dies möglich ist, wird auf Beispiele aus der Abfallwirtschaft eingegangen. Die Methoden unterscheiden sich durch:

- die zugrunde gelegte Systemabgrenzung,
- die Art und der Zahl der berücksichtigten Kriterien und Messgrößen,
- die Datengrundlagen und die getroffenen Annahmen,
- die Aggregation der Kriterien sowie deren Gewichtung,
- den Umgang mit Unsicherheiten von Datengrundlagen,
- die Darstellung und Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse.

Ökologie

Ökologische Wirkungen basieren auf Veränderungen von Stoff- und Energieflüssen.¹ Bei der Bewertung von Umweltauswirkungen ist zwischen der Abschätzung von ausschließlich Emissionen, der Ermittlung von schädlichen Umweltauswirkungen durch Immissionsbetrachtung und der Abschätzung des Risikos einer schädlichen Umweltauswirkung durch die Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schadwirkung zu unterscheiden. Die Bewertung der Immission kann unterschiedlich erfolgen, da hierbei eine Reihe von Einflussgrößen berücksichtigt werden können, wie z. B. die Höhe und die Art der Emissionsquelle, die Bioakkumulation, chronische oder

¹ vgl. Gruhler & Deilmann, 1999, S. 11

kanzerogene Wirkungen sowie toxische Abbauprodukte¹ oder auch Hintergrund- oder Vorbelastungen. Grundsätzlich können entweder ökologische Kriterien einzeln bewertet werden, wie z.B. der Pb-Eintrag in den Boden, oder auch Umweltauswirkungen nach Umweltproblemfeldern zusammengefasst werden, z.B. die Zusammenfassung der Gase, die den Treibhauseffekt fördern, zum Gesamtbeitrag zum Treibhauseffekt. Dabei kann die Liste der ökologischen Kriterien und Messgrößen beliebig umfangreich sein.

Die ökonomische Bewertung kann sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch aus volkswirtschaftlicher Sicht erfolgen. Bei der betriebswirtschaftlichen Bewertung stehen die mit einer Investition zusammenhängenden Kosten und Erlöse aus der Sicht eines Unternehmens im Vordergrund. Untersucht werden beispielsweise die spezifischen Kapital- und Betriebskosten oder die Entsorgungskosten und -erlöse. Dagegen werden bei der volkswirtschaftlichen Bewertung beispielsweise die Schadenskosten, die mit einer Umweltauswirkung verbunden sind, oder die Vermeidungskosten, die zur Erreichung eines bestimmten Umweltschutzziels erforderlich sind, integriert.

Ökonomie

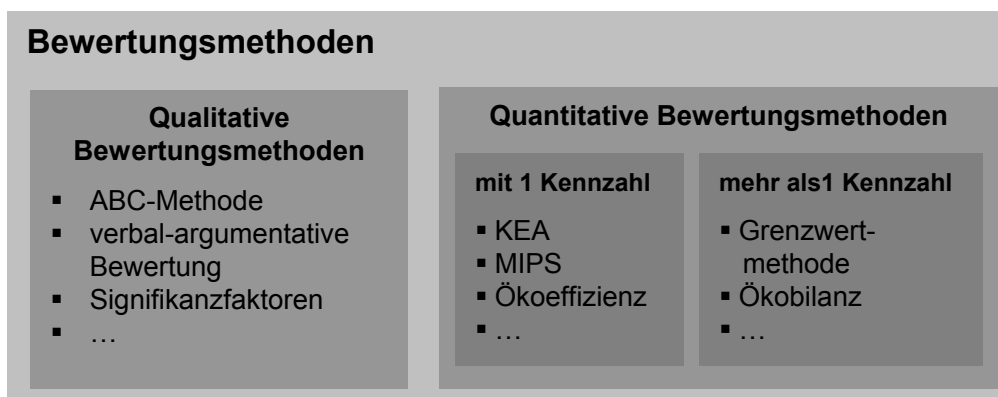


Abbildung 2.8: Systematik für Bewertungsmethoden²

In formaler Hinsicht gleicht die Kosten-Nutzen-Analyse einer betriebswirtschaftlichen Investitionsrechnung.³ Die Bewertung der Kosten und Nutzen erfolgt dabei aus gesamt- statt einzelwirtschaftlicher Sicht. Nicht monetarisierbare Werte bleiben allerdings unberücksichtigt.

Kosten-Nutzen-Analyse

¹ vgl. Pandt, 2000, S. 74

² in Anlehnung an: Rubik, 1997, S. 100

³ vgl. Salhofer, 2001, S. 4