

**Entwicklung eines sektoralen Ansatzes  
zum Aufbau von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen  
in Entwicklungsländern vor dem Hintergrund von  
Klimawandel und Ressourcenverknappung**

- Dissertation -

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

Darmstadt / Rostock 2012

vorgelegt von

**Wolfgang Pfaff-Simoneit**

aus Darmstadt

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Eckstädt

Gutachter: PD Dr.-Ing. habil. Abdallah Nassour

Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich

Prof. Dr.-Ing. Klaus Fricke

Prof. Dr.-Ing. Dieter Mutz

**Datum der Einreichung: 12. August 2012**

**Datum der mündlichen Prüfung: 21. Dezember 2012**

<b>Gliederung</b>	I
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	V
<b>Tabellenverzeichnis</b>	V
<b>Anlagenverzeichnis</b>	VI
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	VI
<b>1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziel und Fragestellungen der Untersuchung	2
1.3 Vorgehensweise und Methodik	3
1.4 Abgrenzung der Untersuchung	3
<b>2 AUSGANGSLAGE UND ERFAHRUNGEN DER ENTWICKLUNGSZUSAMMENARBEIT</b>	<b>4</b>
2.1 Begriffsbestimmung 'Entwicklungsland'	4
2.2 Situation der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern	5
2.3 Ansätze und Erfahrungen der Entwicklungszusammenarbeit in der Abfallwirtschaft	8
2.3.1 ‚Hardware-Ansatz‘ der 70er und 80er Jahre	8
2.3.2 Stärkung von Eigenverantwortlichkeit und Know-how	8
2.3.3 Der integrierte Ansatz seit der Rio-Konferenz 1992	9
2.4 Kritik der bisherigen Ansätze der Entwicklungszusammenarbeit im Sektor	11
2.5 Rahmenbedingungen in Entwicklungsländern	12
2.5.1 Politiken, Strategien und Pläne	12
2.5.2 Rechtsgrundlagen	13
2.5.3 Institutionelle Rahmenbedingungen und Personalqualifikation	13
2.5.4 Finanzierung und Kostendeckung	15
2.5.5 Soziokulturelle Rahmenbedingungen	17
2.5.6 Informeller Sektor	18
<b>3 HANDLUNGSRAHMEN DER ABFALLWIRTSCHAFT IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN</b>	<b>20</b>
3.1 Kernprobleme des globalen Wandels	20
3.2 Das Leitbild der 'Nachhaltigen Entwicklung'	20
3.3 Entwicklungspolitischer Handlungsrahmen	21
3.3.1 Vereinbarungen der Konferenz von Rio 1992	21
3.3.2 Millenniumserklärung der Vereinten Nationen	22
3.3.3 Aktionsplan von Johannesburg	23
3.4 Klimapolitischer Handlungsrahmen	24
3.4.1 Klimarahmenkonvention	25
3.4.2 Kyoto-Protokoll	25
3.4.3 Clean Development Mechanism	26

Inhaltsverzeichnis	Seite
3.4.4 Zukunft des Kyoto-Protokolls und des CDM	27
3.4.5 NAMA und kooperative sektorale Ansätze	28
3.5 Folgerungen aus den internationalen Klimaschutzverhandlungen für die Arbeit	30
<b>4 BEITRAG DER ABFALLWIRTSCHAFT ZUR NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG</b>	<b>31</b>
4.1 Entwicklungspolitische Bedeutung	31
4.1.1 Schutz der menschlichen Gesundheit und der Siedlungshygiene	31
4.1.2 Förderung einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung	32
4.1.3 Wasserressourcen-, Boden- und Umweltschutz	33
4.1.4 Nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung	34
4.1.5 Förderung von Beschäftigung und Einkommen durch Abfallwirtschaft	36
4.2 Abfallwirtschaft und Ressourcenschutz	36
4.2.1 Begriffsbestimmungen	36
4.2.2 Rohstoffbedarf und Rohstoffversorgung	37
4.2.3 Umweltbelastungen der Primärrohstoffgewinnung	38
4.2.4 Entwicklungen auf den Recyclingmärkten	38
4.2.5 Folgerungen für die Gestaltung der Abfallwirtschaft in EL	40
4.3 Abfallwirtschaft und Klimaschutz	42
4.3.1 Ursachen des Klimawandels	42
4.3.2 Quellgruppen und Berichtsformate gemäß IPCC	43
4.3.3 Relevante Treibhausgase der Abfallwirtschaft	43
4.3.4 THG-Bilanzierung in der Abfallwirtschaft	44
4.3.4.1 Direkte THG-Emissionen der Abfallwirtschaft	44
4.3.4.2 THG-Bilanzierung gemäß IPCC	45
4.3.4.3 Ökobilanzielle Ermittlung der THG-Emissionen der Abfallwirtschaft	47
4.3.5 CDM in der Abfallwirtschaft	47
4.3.5.1 Deponiegasfassung versus Methanvermeidung	48
4.3.5.2 Stoffliche Verwertung im CDM	50
4.3.5.3 Energetische Verwertung im CDM	51
4.3.5.4 Eignung des CDM zur Förderung einer nachhaltigen Abfallwirtschaft	51
4.3.6 NAMA in der Abfallwirtschaft	51
4.4 Schlussfolgerungen für die Gestaltung einer nachhaltigen Abfallwirtschaft in EL	53
<b>5 DISKUSSION FORTSCHRITTLICHER STRATEGIEN UND VERFAHREN DER ABFALLWIRTSCHAFT UNTER ENTWICKLUNGSASPEKTEN</b>	<b>54</b>
5.1 Vorgehensweise, Zielsetzung und Eingrenzung der Arbeit	54
5.2 Mengen und Eigenschaften von Siedlungsabfällen in EL	55
5.2.1 Einflussfaktoren	55
5.2.2 Definition von Abfalltypen	56
5.3 Entwurf unterschiedlicher Abfallwirtschaftskonzeptionen	57
5.4 Beurteilungskriterien	60
5.4.1 Beitrag zur Ressourcenschonung	60

5.4.1.1	Beitrag zur Schonung von Produktionsrohstoffen	61
5.4.1.2	Beitrag zur Schonung von Energierohstoffen	62
5.4.1.3	Beitrag zum Erhalt der Ressource Naturraum	63
5.4.2	Beitrag zum Klimaschutz	63
5.4.2.1	Methanvermeidung und -verminderung	64
5.4.2.2	THG-Minderung durch biologische Verwertung	65
5.4.2.3	THG-Minderung durch Recycling	65
5.4.2.4	THG-Minderung durch energetische Verwertung	66
5.4.3	Sozialverträglichkeit	66
5.4.3.1	Beschäftigungseffekte	67
5.4.3.2	Bedeutung der Sammelkonzeption für die Beschäftigungswirkung	68
5.4.4	Management- und Know-how-Anforderungen	69
5.4.5	Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften	69
5.4.6	Indikatoren und Beurteilungsregeln	70
5.5	Ergebnisse der Beurteilung	71
5.5.1	Sozialverträglichkeit, Management- und Know-how-Anforderungen, Flexibilität	71
5.5.2	Ressourcenschonung und Klimaschutz	72
5.5.2.1	Abfalltypen der Gruppe A	73
5.5.2.2	Abfalltypen der Gruppe B	73
5.5.2.3	Abfalltypen der Gruppe C	73
5.5.3	Gesamtbeurteilung	73
<b>6</b>	<b>UMSETZBARKEIT FORTSCHRITTLICHER ABFALLWIRTSCHAFTSKONZEPTE UNTER KOSTEN- UND FINANZIERUNGSASPEKTEN</b>	<b>76</b>
6.1	Vorbemerkung	76
6.2	Vorgehensweise	76
6.3	Einflussfaktoren auf Kosten und Erlöse	77
6.4	Kosten und Kostenstrukturen abfallwirtschaftlicher Anlagen	77
6.4.1	Herstellungskosten	77
6.4.2	Spezifische Kosten	78
6.4.3	Kosten der Abfallsammlung	80
6.4.4	Abschätzung der Kosten fortschrittlicher Abfallwirtschaftskonzepte in EL	81
6.5	Kostendeckung	82
6.5.1	Erlöse aus der stofflichen Verwertung	82
6.5.2	Erlöse aus der energetischen Verwertung	83
6.5.3	Vergütungen für Treibhausgasminderung	84
6.6	Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	85
6.7	Sonstige Kostenfaktoren eines Abfallwirtschaftssystems	87
6.7.1	Verwaltungskosten	87
6.7.2	Kosten für Forschung, Entwicklung, Aus- und Fortbildung	88
6.8	Eigenbeiträge unter Beachtung der Sozialverträglichkeit	88
6.9	Schlussfolgerungen	91

<b>7 ENTWICKLUNG EINES SEKTORALEN ANSATZES FÜR DEN AUFBAU VON NACHHALTIGEN ABFALLWIRTSCHAFTSSYSTEMEN</b>	<b>92</b>
7.1 Strukturierung des sektoralen Ansatzes	92
7.2 Akteure und Beteiligte	94
7.2.1 Steuerung der Prozesse	94
7.2.2 Beteiligte	95
7.3 Kernprozesse	97
7.3.1 Formulierung von Politiken und Zielen / Nationales Abfallwirtschaftsprogramm	97
7.3.2 Strategieentwicklung, Implementierungsplan und Rahmenplan	98
7.4 Grundlagenentwicklung und Rahmensetzung	99
7.4.1 Rechtsgrundlagen und Vollzug	100
7.4.1.1 Anforderungen an den Rechtsrahmen	100
7.4.1.2 Vollzug der rechtlichen Regelungen	100
7.4.1.3 Genehmigung/Zulassung von Anlagen	101
7.4.1.4 Überwachung	101
7.4.1.5 Monitoring und Berichterstattung	103
7.4.1.6 Wechselwirkungen zwischen Rahmensetzung, Überwachung und Vollzug	103
7.4.2 Finanzierung und Kostendeckung	104
7.4.2.1 Finanzierung aus dem allgemeinen Steueraufkommen	105
7.4.2.2 Subventionen und Anreizzahlungen	105
7.4.2.3 Umweltsteuern, Produkt- und zweckgebundene Abgaben	105
7.4.2.4 Abfallgebühren	105
7.4.2.5 Wahl des Instrumentenmix	107
7.4.3 Nationale und regionale Abfallwirtschaftsplanung	107
7.5 Kapazitätsentwicklung	107
7.5.1 Aufbau von Institutionen	109
7.5.1.1 Nationale Umwelt-/Abfallbehörde	110
7.5.1.2 Entsorgungsträger	111
7.5.1.3 Genehmigungs-, Überwachungs- und Vollzugsorgane	112
7.5.2 Know-how-Entwicklung	113
7.5.2.1 Forschung, Entwicklung und wissenschaftliche Ausbildung	113
7.5.2.2 Technische Ausbildung	114
7.5.3 Partizipation, Kommunikation, Konsultation	115
<b>8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>117</b>
8.1 Untersuchungsleitende Fragestellungen	117
8.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf	119
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>121</b>

**Thesen**

**Anlagen**

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Regelkreis der Rohstoffversorgung	38
Abb. 2: Entwicklung der Methanemissionen aus Deponien in verschiedenen Regionen / Baseline-Szenario	45
Abb. 3: Treibhausgasemissionen abfallwirtschaftlicher Verfahren am Beispiel deutscher Abfallzusammensetzung	49
Abb. 4: Optimiertes Abfallmanagement	57
Abb. 5: Lage der Modellabfalltypen im Brennstoffdreieck vor und nach Aussortierung	59
Abb. 6: Aggregation der Bewertungsergebnisse für das Kriterium ‚Ressourcenschonung‘	71
Abb. 7: Gesamtbeurteilung der AWK differenziert nach Abfalltypen	74
Abb. 8: Kosten der untersuchten Abfallwirtschaftskonzeptionen – ohne Erlöse	82
Abb. 9: Entwicklung der Preise für Sekundärrohstoffe in der EU	83
Abb. 10: Entwicklung der Preise für Emissionszertifikate	84
Abb. 11: Sektoraler Ansatz als Prozessfließbild	93
Abb. 12: Inderdependenzen zwischen Rahmensetzung, Vollzug und operativen Aufgaben	103

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Treibhausgaspotential abfallwirtschaftlich bedeutsamer Klimagase in Abhängigkeit des Betrachtungszeitraums	44
Tab. 2: Charakteristika der verwendeten Abfalltypen	57
Tab. 3: Betrachtete Systemkonfigurationen	58
Tab. 4: Personalbedarf abfallwirtschaftlicher Verfahren	67
Tab. 5: Indikatoren für die Beurteilungskriterien	70
Tab. 6: Bewertungsklassen	70
Tab. 7: Wertbestückung der Kriterien	71
Tab. 8: Beurteilungsergebnisse für die Kriterien Sozialverträglichkeit, Management- und Know-how-Anforderungen, Flexibilität	72
Tab. 9: Beurteilungsergebnisse für die Kriterien ‚Ressourcenschonung‘ und ‚Klimaschutz‘	72
Tab. 10: Gesamtbeurteilung der AWK differenziert nach Abfalltypen	74
Tab. 11: Spezifische Vollkosten abfallwirtschaftlicher Verfahren in Abhängigkeit des BIP	80
Tab. 12: Kosten von Sammlung und Transport in Abhängigkeit des BIP	81
Tab. 13: Angenommene Erlöse aus der Verwertung und Klimaschutzfinanzierung	85
Tab. 14: Vergleich der Kosten mit dem BAU-Modell	86
Tab. 15: Klassierung der Zumutbarkeit der BIP-Anteile zur Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft	88
Tab. 16: Erforderlicher Anteil des BIP zur Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft	89
Tab. 17: Erforderlicher Anteil des BIP zur Deckung der Kosten des BAU-Modells in Ländern mit einem BIP von 1.000 EUR pro Einwohner und Jahr	90
Tab. 18: Erforderlicher Anteil des BIP zur Deckung der Kosten der thermischen Abfallbehandlung	91
Tab. 19: Aufgabenmatrix	96

## Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Strategien und Verfahren der Abfallwirtschaft und Kennwerte für die Bilanzierung
- Anlage 2: Beschreibung des Bilanzierungstools
- Anlage 3: Steckbriefe der betrachteten AWK und Beurteilungsergebnisse
- Anlage 4: Stoff-, Energie- und Treibhausgasbilanzierungen für die betrachteten AWK
- Anlage 5: Kosten und Kostendeckung der untersuchten Abfallwirtschaftskonzepte
- Anlage 6: Kalkulation der Sammel- und Sortierkosten in Abhängigkeit des BIP
- Anlage 7: Diskontierung der Vergütungen für THG-Minderungsleistungen  
(Anlagen 4 – 7 beim Verfasser anzufordern)

## Abkürzungsverzeichnis

ADB	Asian Development Bank
ANS	Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V.
AWK	Abfallwirtschaftskonzept / Abfallwirtschaftskonzeption
BAP	Bali Aktionsplan / Bali Action Plan
BAU	Business-as-usual
BIP	Brutto-Inlandsprodukt
BHKW	Block-Heizkraftwerk
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Ressourcenschutz und Reaktorsicherheit
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
C <sub>foss</sub>	Fossiler Kohlenstoff
C <sub>org</sub>	Biogener Kohlenstoff
C <sub>reg</sub>	Regenerativer Kohlenstoff
CBO	Community Based Organisation
CDM	Clean Development Mechanism
CO <sub>2</sub> -äqu.	Kohlendioxid-Äquivalente
CMP	Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto-Protocol (Vertragsstaatenkonferenz zum Kyoto-Protokoll)
COP	Conference of the Parties (Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention)
CRF	Common Reporting Format (Gemeinsames Berichtsformat)
DAAD	Deutscher Akademischer Austauschdienst
DAC	Development Assistance Committee (Entwicklungsausschuss der OECD)
DO	Durchführungsorganisation (der deutschen EZ)
DOE	Designated Operational Entity / Akkreditierte Zertifizierungsunternehmen im Rahmen des CDM oder JI
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
E	Einwohner
EB	Executive Board / Exekutivrat des Klimareferats
EBS	Ersatzbrennstoff

EC	Europäische Commission / European Commission
EIT	Economies in Transition / Transformationsländer
EL	Entwicklungsländer – im Text übergreifend für Entwicklungsländer (EL), Schwellenländer (SL) und Transformationsländer (TL) verwandt
EMAS	Eco Management and Audit Scheme (EU Öko-Audit)
EPA	Environmental Protection Agency
ESL	Entwicklungs- und Schwellenländer
EU	Europäische Union
EU-ETS	European Union Emission-Trading-System /Emissionshandelssystem der EU
EZ	Entwicklungszusammenarbeit
Fe-Metalle	Eisenmetalle (Ferrum)
F&E	Forschung und Entwicklung
FOD	First Order Decay - Modell
FZ	Finanzielle Zusammenarbeit
GHG	Greenhouse Gas (Treibhausgas)
GDR	Greenhouse Development Rights
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
(H-)FKW	Teil-Halogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe
HKW	Heiz-Kraftwerk
HW	Heizwerk
hwF	Heizwertreiche Fraktion
IL	Industrieländer
ILO	International Labour Organisation
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPPC	Integrated Pollution Prevention Control
i.e.	id est (,d.h.' oder ,das sind')
IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
i.W.	im Wesentlichen
jato	Jahrestonnen / Tonnen pro Jahr
JI	Joint Implementation
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg/E*d	Kilogramm pro Einwohner und Tag
kg/E*a	Kilogramm pro Einwohner und Jahr
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KP	Kyoto-Protokoll
KRK	Klimarahmenkonvention
KW	Kilowatt
KWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MA	Mechanische Abfallbehandlung
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung
MBS	Mechanisch-Biologische Stabilisierung
MENA	Middle East and North Africa

METAP	Mediterranean Environmental Action Plan
Mg	Mega-Gramm / Tonne
MWh	Megawattstunde
Mio.	Millionen
MPS	Mechanisch-Physikalische Stabilisierung
MRV	Measuring, Reporting, Verifying / messen, berichten, verifizieren
Mrd.	Milliarden
MVA	Müllverbrennungsanlage / Thermische Behandlung
NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Actions
NAPA	National Adaptation Programmes and Actions
NE-Metalle	Nicht-Eisen-Metalle
NGO / NRO	Non Governmental Organisation / Nichtregierungsorganisation
NIR	Nah-Infrarot
ODA	Official Development Assistance
o.g.	oben genannt
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
ppm	Parts per Million
PPP	Public-Private-Partnership
resp.	respektive
SL	Schwellenländer
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t	Tonne
TAB	Thermische Abfallbehandlungsanlage
THG	Treibhausgase
TL	Transformationsländer
TM	Trockenmasse
ToR	Terms of Reference / Leistungsbeschreibung
TS	Trockensubstanz
TZ	Technische Zusammenarbeit
u.A.	unter Anderem
u.a.m.	und anderes mehr
UMS	Umweltmanagementsystem
UN	United Nations / Vereinte Nationen
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
u.U.	unter Umständen
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VSK	Vertragsstaatenkonferenz
WB	Weltbank / World Bank
WHO	Weltgesundheitsorganisation / World Health Organisation
z.T.	zum Teil

## 1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

### 1.1 Problemstellung

Der Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen steckt in den meisten Entwicklungs- (EL), Transformations- (TL) und Schwellenländern (SL) noch immer in den Anfängen. Obwohl bereits etwa seit den 70er Jahren die internationalen Geber Anstrengungen zur Entwicklung umweltverträglicher Entsorgungssysteme in den EL unternommen haben, sind die erreichten Ergebnisse bisher eher ernüchternd. Das Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) konstatierte Mitte der 90er Jahre: ‚Eine geregelte, zuverlässige Abfalleinsammlung findet zumeist nur in den städtischen Zentren und wohlhabenderen Stadtteilen statt, während in den ärmeren Quartieren ein regelmäßiger Service fehlt und / oder nur notdürftige, ökologisch und hygienisch bedenkliche Lösungen praktiziert werden. Recycling beschränkt sich auf das informelle Aussortieren von Wertstoffen, während eine ökologisch und hygienisch vertretbare Zwischen- und Endlagerung unterbleibt oder nur für Teile des Abfallaufkommens erfolgt‘ [BMZ 1996]. Auch die jüngeren Berichte der internationalen [Weltbank 2008; JICA 2008] wie der deutschen bilateralen Entwicklungszusammenarbeit (EZ) zeigen, dass seither nur vereinzelt Fortschritte erzielt worden sind.

Abfallwirtschaft hatte bei Entscheidungsträgern in den EL/SL/TL lange Zeit keine hohe Priorität. Erst in den letzten Jahren sind, bedingt durch eine deutliche Zunahme der Abfallmengen<sup>1</sup>, bekannt gewordene illegale Abfallentsorgungspraktiken und ein gestiegenes Umweltbewusstsein bei Bevölkerung wie bei Entscheidungsträgern, die Probleme ungeordneter Abfallentsorgung in das Blickfeld geraten. ‚Nassour [2004] beurteilt die Lage jetzt günstiger als vor einigen Jahren, ‚da die Politiker und Verantwortlichen unter Druck sind, um Rahmenbedingungen für notwendige Lösungen zu schaffen‘. Die negativen Folgewirkungen ungeordneter Abfallentsorgung können zunehmend weniger ignoriert werden. Insbesondere in den urbanen Agglomerationen und in extremem Maße in den Groß- und Mega-Städten sind sie besonders augenfällig wegen der Menge und Konzentration des Abfallaufkommens und der eingeschränkten Verfügbarkeit geeigneter Flächen für Entsorgungsanlagen. Eine im Jahr 1997 durchgeführte Umfrage des ‚United Nations Development Programme‘ unter 151 Bürgermeistern großer Städte aus EL ergab, dass die ungeordnete Abfallentsorgung nach der hohen Arbeitslosigkeit das wichtigste kommunale Problem darstellt [zit. in Zhu et al. 2008].

Parallel dazu wird, ausgelöst durch die Entwicklung an den internationalen Energie- und Rohstoffmärkten, die Begrenztheit der natürlichen Ressourcen als hemmender Faktor für die wirtschaftliche Entwicklung deutlich. Über die Hälfte der weltweit eingesetzten Energie wird mittlerweile in EL und SL verbraucht. Die Weltmarktpreise für Rohstoffe sind zwischen 2000 und 2005 innerhalb von nur fünf Jahren um 81%<sup>2</sup> gestiegen. In einer Phase, in der der weltweite Bedarf an Rohstoffen und Energie aufgrund einer sich entwickelnden Industrialisierung – v.a. in den großen Schwellenländern<sup>3</sup> – und infolge wachsenden Konsums ansteigt, spannt sich die Versorgungslage mit Rohstoffen bereits deutlich an. Die Volkswirtschaften vieler EL, insbesondere der Schwellen- und Transformationsländer, befinden sich in einer Situation, in der die Kontaminierung von Boden, Luft und Wasserressourcen einerseits sowie die unzulängliche und zunehmend teurere Versorgung mit Rohstoffen und Energie andererseits deren wirtschaftliche Entwicklung behindern [ADB 2007]. Beide Aspekte sind über die Abfallwirtschaft eng miteinander verknüpft: Weltweit nimmt der Verbrauch fossiler Energieträger und Rohstoffe zu und führt zu einem stetigen Anstieg der Abfallmengen [BMZ 2012]. Auf diese Zusammenhänge hatte zwar schon der sog. ‚Brundtland-Report‘ [WCED 1987] hingewiesen, aber erst der drastische Anstieg der Energie- und Rohstoffpreise und der wachsende Ressourcenbedarf der Schwellenländer haben einen Umdenkprozess eingeleitet.

Während die Interdependenzen zwischen Ressourceneffizienz und Abfallwirtschaft, wenn auch nur zögerlich, inzwischen Eingang in die entwicklungspolitischen Strategien gefunden

---

1 Belherazem et al. [2004] erwarten für die arabischen Länder eine Steigerung um 50% von 1998 bis 2012

2 Gesamtindex auf Dollarbasis des Instituts der deutschen Wirtschaft, zitiert in [Bardt 2006]

3 sog. ‚BRICS‘-Staaten: Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika

haben [vgl. BMZ 2012], wird der Klimawandel als eine der größten globalen Bedrohungen [Gore 2006] in der klimapolitischen Diskussion bislang kaum mit der Abfallwirtschaft in Verbindung gebracht. Dies dürfte i.W. darauf zurückzuführen sein, dass Klimaexperten dem Beitrag der Abfallwirtschaft zur Emission von Treibhausgasen (THG) eine nur untergeordnete Bedeutung zumessen. Das ‚Intergovernmental Panel on Climate Change‘ [IPCC 2007a] rechnet lediglich 2,8% der globalen THG - Emissionen der Quellgruppe ‚Abfall und Abwasser‘ zu. Diesen Berechnungen liegt jedoch ein sehr vereinfachtes Stoffflussmodell zugrunde. Pfaff-Simoneit et al. [2009] weisen darauf hin, dass die Bilanzierung des IPCC die THG-Wirkungen der Abfallwirtschaft nicht offenlegt, da die in anderen Sektoren induzierten Wirkungen nicht der Abfallwirtschaft zugerechnet werden. UNEP [2010a] beschreibt prägnant das Dilemma der Abfallwirtschaft: „Der Abfallsektor ist in der einzigartigen Lage, sich von einer relativ unbedeutenden THG-Quelle zu einem wichtigen Faktor der THG-Reduzierung zu wandeln. Obwohl nur vergleichsweise geringe Mengen durch Abfallbehandlung und Ablagerung emittiert werden, vermindern die Vermeidung, die stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen THG-Emissionen in anderen Wirtschaftssektoren. Die ökobilanzielle Betrachtung offenbart, dass Abfallwirtschaft positive Auswirkungen auf die THG-Emissionen im Energiesektor, in der Landwirtschaft, im Transport und in der industriellen Produktion hat“. Giegrich und Vogt [2008] kommen in einer Abschätzung des Beitrags der Abfallwirtschaft zu den THG-Emissionen in Entwicklungsländern auf einen Wert von 10 %. Dieser Wert erscheint mit Blick auf die Erfahrungen in Deutschland plausibel: Etwa 10% der insgesamt zwischen dem Referenzjahr 1990 und dem Jahr 2005 erzielten THG-Reduktionen wurden durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen erzielt. Zählt man die durch Recycling und energetische Nutzung induzierten Effekte hinzu, sind es sogar über 20% [Troge 2007].

Angesichts der globalen Bedrohungen, die Klimawandel - und Ressourcenverknappung darstellen, hält der Vorsitzende des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) den bisherigen Ansatz der EZ, sog. ‚angepasste Technologien‘ in ESTL einzusetzen, für falsch [Faulstich 2008]. Er fordert „...die gleiche Technologie, eigentlich eine noch bessere Technologie als in Deutschland einzusetzen, da dort die Umweltherausforderungen sehr viel größer sind“. In vergleichbarer Weise rät das ‚Institute for Global Environmental Studies‘ (IGES) den EL/SL/TL, die Chance eines Überspringens von Entwicklungsstufen (‚leapfrogging‘) zu nutzen und anstelle konventioneller Lösungen<sup>4</sup> profitablere und nachhaltigere Technologien wie die Sekundärrohstoff- und Energiegewinnung aus Abfällen anzustreben [ADB 2007]. Demgegenüber sehen Entwicklungsexperten wegen der begrenzten Human- und Finanzressourcen in EL den Einsatz angepasster Technologien als eine zentrale Voraussetzung für eine nachhaltige Nutzung der implementierten Systeme [GTZ 2003].

Ob ein ‚leapfrogging‘ in der Abfallwirtschaft gelingen kann, erscheint angesichts der Erfahrungen zweifelhaft. (West-)Europa hat vor etwa zehn Jahren begonnen, seine weitgehend ‚linearen‘ [vgl. Rahmeyer 2005]<sup>5</sup> Abfallwirtschaftssysteme in Kreislaufwirtschaftssysteme umzugestalten und ist dabei – gemessen an den bestehenden Potentialen [vgl. Prognos 2008] - nur mühsam vorangekommen. In den meisten EL/SL/TL ist es aufgrund fehlender Gesamtkonzepte, ungeeigneter Instrumente, unzureichender finanzieller Mittel und ungünstiger Rahmenbedingungen bislang noch nicht einmal gelungen, auf breiter Ebene Abfallwirtschaftssysteme einzuführen, die zumindest den Grundanforderungen des Gesundheits- und Umweltschutzes genügen.

### 1.2 Ziel und Fragestellungen der Untersuchung

Diese Arbeit setzt sich damit auseinander, ob und wie ein Überspringen von Entwicklungsstufen in der Abfallwirtschaft umgesetzt werden kann. Folgende Fragen werden untersucht:

---

4 gemeint ist die direkte Ablagerung von Abfällen

5 gemeint ist der nur in einer Richtung verlaufende Stofffluss Rohstoffgewinnung – Verarbeitung – Produktion – Distribution – Konsum – Entsorgung („Beseitigung“)

- Welche Rahmenbedingungen sind erforderlich und wie könnten sie geschaffen werden?
- Ist ein Überspringen von Entwicklungsstufen in der Abfallwirtschaft und die Einführung fortschrittlicher Verfahren<sup>6</sup> und Strategien in EL/SL/TL möglich und sinnvoll?
- Welche Kostendeckungsbeiträge können Recycling, energetische Nutzung und Kohlenstoffmärkte resp. Vergütungen der Industrieländer (IL) für Treibhausgasminderungsmaßnahmen der ESTL leisten? Welche finanziellen Eigenbeiträge der EL/SL/TL sind leist- und zumutbar? Welche Unterstützung müsste die internationale Gebergemeinschaft leisten?
- Wie können Strategien und Instrumente der EZ weiter entwickelt werden? Welche Rolle können / sollten andere Institutionen übernehmen?

Ziel der Arbeit ist es, ein Grundverständnis für die Erfordernisse des Sektors zu vermitteln und Handlungshilfen für einen strukturierten Aufbau des Abfallsektors in EL, SL und TL zu entwickeln. Daraus werden Hinweise für die Weiterentwicklung entwicklungspolitischer Instrumente und der internationalen Zusammenarbeit abgeleitet, die eine ziel- und sachgerechte Unterstützung der Entwicklungsländer beim Aufbau von nachhaltigen, ressourcenschonenden und klimafreundlichen Abfallwirtschaftssystemen erlauben. Ziel der Handlungshilfe ist es zugleich, einen Ansatz für ein sog. NAMA - Nationally Appropriate Mitigation Action – für den Abfallsektor zu geben.

### 1.3 Vorgehensweise und Methodik

Ausgehend von einer Analyse vorliegender Erfahrungen mit abfallwirtschaftlichen Projekten in EL/SL/TL werden Hemmnisse und Defizite für den Aufbau fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme identifiziert. Auf Grundlage einer Systemanalyse wird abgeleitet, welche Voraussetzungen und Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um Abfallströme in Entwicklungsländern so zu kanalisieren, dass nicht nur Umweltverschmutzungen und Gesundheitsrisiken vermieden, sondern die Abfälle auch volks- und betriebswirtschaftlich sinnvoll als Ressource genutzt und klimaschädigende Emissionen vermieden werden. Strategien und Technologien, die eine möglichst weitgehende Ausschöpfung der Verwertungs- und Klimaschutzpotentiale ermöglichen, werden diskutiert und hinsichtlich ihrer Wirkungen beurteilt.

In Simulationsrechnungen werden die Kosten fortschrittlicher Verfahren unter den in EL/SL/TL bestehenden Rahmenbedingungen und potentielle Erlöse aus der Verwertung von Abfällen und aus Vergütungen die THG-Minderungen für verschiedene typisierte Abfallzusammensetzungen aus EL/SL/TL abgeschätzt und in Modellrechnungen simuliert. Dazu werden unterschiedliche Abfallwirtschaftskonzepte (AWK) entworfen und Stoff-, Energie- und THG-Bilanzierungen für diese durchgeführt. Auf dieser Grundlage wird diskutiert, inwieweit EL/SL/TL unter Berücksichtigung von Erlösen aus der Verwertung von Abfällen und Vergütungen für die erzielte THG-Minderung in der Lage wären, fortschrittliche Abfallwirtschaftssysteme zu implementieren. Hieraus werden Empfehlungen für die Fortentwicklung entwicklungspolitischer Instrumente zum Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen abgeleitet.

### 1.4 Abgrenzung der Untersuchung

Die Untersuchung konzentriert sich auf die auf staatlicher Ebene zu schaffenden Rahmenbedingungen und erforderlichen Maßnahmen. Für die operative, i.d.R. kommunale Ebene werden Hinweise zur Umsetzung gegeben. Die Betrachtungen zu Kostendeckungsbeiträgen, Rohstoff- und Energieerlösen und Klimawirkungen beziehen sich auf Siedlungsabfälle. Gefährliche Abfälle sind zu unterschiedlich strukturiert, um verallgemeinerbare Aussagen machen zu können. Andere Abfallarten werden insoweit mit einbezogen, wie dies aus den Untersuchungsergebnissen ableitbar ist.

---

6 Zur Definition der hierunter verstandenen Verfahren s. Kap. 5 und Anlage 1

## 2 AUSGANGSLAGE UND ERFAHRUNGEN DER ENTWICKLUNGSZUSAMMENARBEIT

### 2.1 Begriffsbestimmung 'Entwicklungsland'

In dieser Arbeit wird zwar verallgemeinernd von ‚den Entwicklungsländern‘ gesprochen, diese unterscheiden sich jedoch in ihrem ökonomischen und sozialen Entwicklungsstand, in den demografischen Gegebenheiten, kulturellen und religiösen Gepflogenheiten, in ihrer Organisation und den politischen Systemen, im Niveau der Ausbildung und Technologieentwicklung u.a.m. Die Darstellungen in dieser Arbeit dürfen daher nicht pauschal in allen EL/SL/TL gleichermaßen ohne Betrachtung der spezifischen Rahmenbedingungen angewendet werden. Verallgemeinerungen sind im Rahmen dieser Arbeit jedoch unumgänglich.

Die Bezeichnung 'Entwicklungsland' stellt einen Sammelbegriff für Staaten dar, die wirtschaftlich und gesellschaftlich gegenüber dem Modell der westlichen Industriestaaten einen erheblichen Rückstand aufweisen. Der Begriff entstammt der Fach- und Alltagssprache der EZ und genießt zwar allgemein hohe Akzeptanz<sup>7</sup>, jedoch existieren keine verbindlichen Kriterien oder Merkmale für EL. Selbst multilaterale Organisationen wie die Vereinten Nationen<sup>8</sup>, die Weltbank oder der Entwicklungshilfeausschuss DAC der OECD<sup>9</sup> verwenden zwar gleiche oder ähnliche Kriterien, bewerten diese aber unterschiedlich. Die OECD unterscheidet nach 'Pro-Kopf-Einkommen'

- Sehr arme Länder („Least developed Countries“)
- Länder mit niedrigem Einkommen (bis 1.005 US-\$ jährlich für das Jahr 2010)
- Länder mit mittlerem Einkommen - untere Einkommenskategorie (1.006 - 3.975 US-\$)
- Länder mit mittlerem Einkommen - obere Einkommenskategorie (3.976 - 12.275 US-\$)
- Marktwirtschaftliche Industrieländer (über 12.275 US-\$)

'Schwellenländer' (SL) sind dadurch charakterisiert, dass ihr Entwicklungsstand so weit fortgeschritten ist, um aufgrund ihrer wirtschaftlichen Eigendynamik und des exportorientierten Wachstums bei zunehmender Industrialisierung die typischen Merkmale eines Entwicklungslandes selbst überwinden zu können<sup>10</sup>.

Die ehemaligen sozialistischen Staaten werden als sog. Transformationsländer<sup>11</sup> (TL) bezeichnet und erst seit Kurzem als EL eingestuft. Ihre Unterentwicklung ist v. A. auf besondere historisch-kulturelle Ursachen zurückzuführen. Ihr Pro-Kopf-Einkommen liegt im Vergleich mit anderen Entwicklungsländern meist im mittleren Bereich, der Industrialisierungsgrad, über den zumindest einige dieser Staaten verfügen, ist vergleichsweise hoch. Auch das Niveau ihrer Ausbildungssysteme liegt über dem anderer EL.

Im Folgenden wird der Begriff ‚Entwicklungsland‘ (EL) übergreifend für EL/SL/TL verwandt. Die Auflistung enthält die wichtigsten kennzeichnenden Merkmale von EL [Wikipedia o.J.a]:

- Ökonomische Merkmale: Geringes Pro-Kopf-Einkommen bei zugleich extrem ungleicher Einkommens- und Vermögensverteilung; hohe Anteile des primären und informellen Sektors; hohe Arbeitslosigkeit
- Demografische Merkmale: Starkes Bevölkerungswachstum; hohe Geburtenraten bei zugleich hoher Säuglings- und Kindersterblichkeit; geringe Lebenserwartung; hohe Binnen- und grenzüberschreitende Migration; zunehmende Verstädterung
- Ökologische Merkmale: Fortschreitende Umweltzerstörung (Bodendegradation, Desertifikation, Rückgang der Biodiversität, Vernichtung von Tropenwald etc.) infolge Übernutzung natürlicher Ressourcen; hohe Umweltbelastungen (Luftverunreinigungen, Grundwasser- und Bodenkontamination) v.a. in Ballungsgebieten; besondere Vulnerabilität

---

7 Kritiker wenden ein, dass der Begriff etwas suggeriert, was kaum stattfindet, nämlich 'Entwicklung'.

8 Die UN und die OECD führen jeweils Listen, in denen die Einstufung verschiedener Länder vorgenommen wird: <http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49regin.htm#developed>; <http://stats.oecd.org/glossary>

9 ‚Development Assistance Committee‘ der ‚Organisation for Economic Cooperation and Development‘

10 z.B. Brasilien, Mexiko, Malaysia, Singapur, Südkorea

11 Albanien, Armenien, Aserbeidschan, Georgien, Kasachstan, Kirgisistan, Tadschikistan, Turkmenistan, Usbekistan

und geringe Anpassungsfähigkeit gegenüber Klimaänderungen

- Sozio-kulturelle Merkmale: Starke Orientierung auf Primärgruppen; geringe soziale Durchlässigkeit; unzureichende Bildungssysteme, hohe Analphabetenraten; unzulängliche medizinische Versorgung, Gesundheitsmängel; Unterernährung; verbreitete Kinderarbeit
- Politische Merkmale: Häufig undemokratische Strukturen bis hin zu autoritären Regimen, Missachtung der Menschenrechte; Klientelismus, Patronagewesen, Korruption; geringe Akzeptanz der staatlichen Institutionen in der Bevölkerung; politische Instabilität / geringe Kontinuität; mangelnde Regierungsführung auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene

Darüber hinaus behindern eine zumeist unzureichende Infrastruktur sowie fehlende Fachkräfte die Entwicklung der Wirtschaft. Diese sich überlagernden Faktoren bilden - wie in anderen Feldern der Entwicklungszusammenarbeit auch - entscheidende Rahmenbedingungen hinsichtlich der Möglichkeiten zum Aufbau nachhaltiger Abfallwirtschaftssysteme in EL.

### 2.2 Situation der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern

EL, v.a. SL sind mit einem überproportionalen Anstieg der Abfallmengen bei gleichzeitiger Veränderung der Abfalleigenschaften konfrontiert. Ursache hierfür sind neben dem starken Bevölkerungswachstum ein beachtliches wirtschaftliches Wachstum und damit einhergehend sich verbessernde materielle Lebensbedingungen für breitere Bevölkerungsschichten. Die spezifische Menge des erzeugten Abfalls und deren Zusammensetzung hängen in hohem Maße vom Einkommensniveau und Lebensstandard ab. Zwischen Pro-Kopf-Einkommen und erzeugten Abfallmengen besteht eine enge Korrelation [EAWAG 2008]. Auffällig ist der steigende Anteil von Produktabfällen aus kurzlebigen Konsumgütern, darunter v.a. Elektro- und Elektronikschrott [Seemann/Ravindra 2008]. Hinzu kommen vermehrt Abfälle aus der industriellen Produktion infolge der globalisierten Wirtschaftsbeziehungen. Der Bau und Betrieb von Anlagen des technischen Umweltschutzes, wie Kläranlagen und Abluftreinigungsanlagen, erhöhen die Mengen an sonstigen Reststoffen<sup>12</sup>.

Die Städte als Zentren der ökonomischen Entwicklung und eines v.a. infolge Migration dynamischen Einwohnerwachstums sind in besonderem Maße mit Abfallproblemen konfrontiert. Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung wohnt inzwischen in Städten. In den EL beträgt die Urbanisierungsquote 43% [DSW 2007]. Etwa 60% des Bruttosozialprodukts und 80% des wirtschaftlichen Wachstums der EL werden in Städten erzeugt [BMZ 2002]. Die i.d.R. für die Abfallentsorgung zuständigen Kommunen sind der komplexen Aufgabe ‚Abfallwirtschaft‘ kaum gewachsen. Obwohl sie nach den Erfahrungen der deutschen bilateralen EZ 20% und mehr [BMZ 2012] - nach den Erfahrungen der Weltbank sogar bis zu 50% [World Bank 2005] - ihres kommunalen Budgets allein für die Sammlung von Abfällen und Straßenreinigung aufwenden, erhält ein erheblicher Teil der Bevölkerung keinen geregelten Entsorgungsservice. Der hohe Aufwand für Sammlung, Straßenreinigung, Transport, Behandlung und Ablagerung der Abfälle sowie die hohen Kosten dieser personal- und materialintensiven öffentlichen Dienstleistungen überfordern die organisatorischen und finanziellen Kapazitäten der meisten Kommunen. In der Abfallwirtschaft sind mit den Müllwerkern, Straßenreinigern und diesbezüglichen Gesundheitsinspektoren häufig die meisten kommunalen Bediensteten beschäftigt [World Bank 2005].

Die Abfallsammlung hat sich in den letzten Jahren zwar verbessert, jedoch vorwiegend in den städtischen Zentren. In ärmeren Stadtrandquartieren und ländlichen Siedlungsgebieten fehlt ein regelmäßiger Service oder wird nur punktuell angeboten. Oft erhalten diese Gebiete überhaupt keinen Entsorgungsservice und die Bewohner müssen ihre Abfälle selbst entsorgen. Vor allem hier finden sich ungeordnete Müllkippen und wilde Müllablagerungen auch im unmittelbaren Wohnumfeld. Abfälle aller Art werden auf nicht genutzten Grundstücken, in Gräben, Abflussrinnen, Gewässern abgelagert. Unzulängliche Abfallentsorgung beeinträchtigt

---

12 Detaillierte länderbezogene Darstellungen zur Veränderung des Abfallaufkommens und der Zusammensetzung enthalten z.B. [Cherif 2005] für Tunesien und [World Bank 2005] für China

tigt die Siedlungshygiene und führt zu erheblichen Gesundheitsrisiken für die Bewohner. Vor allem arme Bevölkerungsschichten sind von den negativen Folgen ungeordneter Abfallentsorgung betroffen [Zurbrügg 2003]. Pfaff-Simoneit [2006] weist auf die hohen Kosten für Sammlung und Transport bei zugleich schlechter Leistung und unzuverlässiger Entsorgung hin. Die Ursachen liegen neben ineffizienter Organisation auch an der ungeeigneten und/oder schlecht gewarteten Ausstattung, der geringen Qualifikation und Motivation des Personals sowie an der fehlenden Leistungs- und Kostenkontrolle.

Die Verwertung von Papier, Pappe, Kunststoffen, Metallen, Textilien, Leder, Glas usw. ist in EL allgegenwärtig. Die Rückgewinnung verwertbarer Bestandteile des Abfalls erfolgt in mehreren Stufen, an denen zahlreiche Personengruppen beteiligt sind [Medina 2005]: Hausangestellte, Schüler, Haus-zu-Haus-Aufkäufer, Beschäftigte der öffentlichen Müllabfuhr holen je nach Marktlage die lukrativsten Stoffe aus den Abfällen heraus. In den Straßen sortieren zumeist informell, d.h. außerhalb formaler Beschäftigungsverhältnisse<sup>13</sup> tätige Wertstoffsammler verwertbare Bestandteile aus den zur Abfuhr bereitgestellten Abfällen heraus. Die letzte Rückgewinnungsstufe bilden die auf den Müllkippen, ebenfalls zumeist informell tätigen Sortierer („waste-picker“). Das Aussortieren verwertbarer Stoffe aus gemischten Abfällen erfolgt unter höchst unhygienischen und v.a. auf den Müllkippen auch gefährlichen Arbeitsbedingungen. Zumeist arbeitet die ganze Familie mit, Kinderarbeit mit all ihren negativen Folgen ist die Regel [KfW 2008]. Das Verwertungspotenzial wird jedoch trotz der oben dargestellten Verwertungskaskaden aufgrund mangelnder Organisation, sozialer Ausgrenzung der waste-picker und fehlender Kooperation zwischen dem formellen und informellen Sektor häufig nicht ausgeschöpft. Die aus den gemischten Abfällen aussortierten Wertstoffe weisen überwiegend nur geringe Qualitäten auf und erzielen entsprechend geringe Erlöse.

Der organische Anteil in den Siedlungsabfällen aus EL ist i.d.R. sehr hoch, die Abfälle haben zumeist einen hohen Feuchtigkeitsgrad. Eine Verwertung dieser Fraktion durch Kompostierung scheitert jedoch oft an der schlechten Qualität des Komposts, der zumeist aus gemischten Abfällen erzeugt wird, den hohen Kosten, die durch die Erlöse aus dem Kompostverkauf nicht gedeckt werden können, und/oder an den fehlenden Absatzmärkten. Die Faktoren bedingen sich gegenseitig. Regional liegen durchaus auch positive Erfahrungen vor. Sharholy [2008] schätzt, dass etwa 9% der Siedlungsabfälle in Indien kompostiert und von der indischen Landwirtschaft nachgefragt werden. Dort wo Nachfrage nach Kompost besteht, ist auch der informelle Sektor mit der Sammlung und dem Betrieb von kleinen Kompostierungsanlagen befasst.

Eine energetische Nutzung von Abfällen durch thermische Verfahren scheitert v.a. an den geringen Heizwerten aufgrund hoher Wasser- und Inertanteile resp. geringer Gehalte brennbarer Bestandteile, fehlender Akzeptanz und hoher Kosten. Biogas wird bisher in EL nur sehr begrenzt erzeugt. Gründe hierfür sind die Gemischtsammlung, fehlende bzw. nicht angepasste Aufbereitung, unzureichende finanzielle Anreize zur kommerziellen Nutzung des gewonnenen Biogases und geringe Vergütung für die Einspeisung von dezentral erzeugter Energie. Vielfach verhindern gesetzliche Regelungen oder die Politik der Energieversorgungsgesellschaften die Einspeisung von dezentral erzeugtem Strom.

Erste erfolgversprechende Ansätze sind dagegen bei der Erzeugung von aus Abfällen gewonnenen sog. ‚Ersatz- oder Sekundärbrennstoffen‘ für die Nutzung insbesondere in Zementwerken zu verzeichnen [Lechtenberg 2008]. Allerdings laufen diese Strategien den Interessen des informellen Sektors oft zuwider, denn die Heizwertgebenden Hauptbestandteile – v.a. Kunststoffe und Papier/Pappe/Kartonagen (PPK) - werden von den waste-pickern bevorzugt für eine stoffliche Verwertung aussortiert. Yadav [2009] und Joseph [2007 – zit. in UNEP 2011b] berichten, dass in Hyderabad und Chandigarh / Indien Projekte zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen (EBS) aufgrund der intensiven Auslese heizwertreicher Fraktionen durch den informellen Sektor gefährdet sind. Zur energetischen Verwertung gefährlicher Abfälle wurden grundlegende Standards von daraus gewonnenen EBS in Zementwerken im Rahmen eines Vorhabens der GTZ mit einem weltweiten agierenden Zementhersteller erar-

---

13 Sog. „informeller Sektor“; zu den soziokulturellen Aspekten des s. Kap. 2.5.6.

beitet [GTZ/Holcim 2006]. Allerdings liegen bislang kaum Erfahrungen vor, inwieweit sich die Unternehmen der Einhaltung der Standards verpflichtet fühlen. Die Überwachungsbehörden – sofern überhaupt existent – sind zumeist weder fachlich in der Lage noch mess- und analysetechnisch ausgestattet, um eine sachgerechte Überwachung vorzunehmen.

Die thermische Behandlung von Siedlungsabfällen wird bislang v.a. in China bei der Abfallentsorgung großer Städte forciert [Bogner et al. 2008]. Aufgrund der ungünstigen Abfalleigenschaften kann dabei jedoch kaum überschüssige Energie abgegeben werden. Selbst in Shanghai, wo die Heizwerte der Abfälle zu den höchsten im Land zählen, ist eine selbstgängige Verbrennung kaum möglich. Zumeist müssen Stütz-Brennstoffe eingesetzt werden, so dass keine Erlöse durch Einspeisung von Energie erzielt werden können [World Bank 2005]. Die Qualität der baulichen Ausführung der Anlagen, der verwendeten Materialien und des Betriebs schwankt in weiten Grenzen. Dorn [2009] berichtet sowohl von Anlagen, die bzgl. der Verbrennungstechnik und der Abgasreinigung internationalen Standards genügen, als auch von solchen, bei denen innerhalb weniger Jahre die Wärmetauscherrohre und Rauchgasreinigungsanlagen komplett korrodiert seien. Vielfach sind die Anlagen allenfalls mit Entstaubungsanlagen ohne weitergehende Abgasreinigung ausgestattet. Yadav [2009] weist darauf hin, dass die mess- und labortechnischen Voraussetzungen für die sachgerechte Überwachung der Abgasemissionen und der festen Rückstände in Indien – wie in anderen EL auch – kaum verfügbar sind.

Anlagen zur Behandlung und umweltverträglichen Beseitigung der Abfälle sind bislang in EL nur vereinzelt anzutreffen. Besonders problematisch ist die Situation dort, wo gefährliche Industrie- und Krankenhausabfälle gemeinsam mit Siedlungsabfällen entsorgt werden. Bei der Deponierung sind etwa seit der Mitte der 90er Jahre erste Erfolge zur Verbesserung der Situation insbesondere in Asien und Lateinamerika zu verzeichnen [vgl. Johannesen/Boyer 1999]. Es überwiegt jedoch noch immer die Ablagerung auf schlecht betriebenen, vielfach ungesicherten Deponien und wilden Müllkippen. Die ungeordnete Entsorgung von Abfällen stellt ein erhebliches, wenn nicht – gemessen an seiner räumlichen Ausprägung – ‚das‘ Umweltproblem schlechthin in den meisten EL dar [Pfaff-Simoneit, 2006]. Nach Schätzungen von Entwicklungsexperten der deutschen EZ, die mit Abfallvorhaben in EL befasst sind, werden nur zwei Prozent der anfallenden Abfälle in EL auf geordneten Deponien abgelagert [Giegrich/Vogt 2009]. Auch die planmäßig angelegten Deponien weisen überwiegend erhebliche Defizite auf. Johannesen/Boyer [1999] stellten bei einer Untersuchung von 50 Deponien in allen Regionen der Welt einen weitgehend unzulänglichen Betrieb fest. Kennzeichnend für fast alle Anlagen waren eine übermäßige Verwendung von bindigem Material für die tägliche Abdeckung, unzureichendes Deponiegasmanagement und problematisches, oft ungeeignetes Sickerwassermanagement. Nur auf vier Deponien erfolgte eine aktive Gasfassung und –behandlung. Die negativen Auswirkungen der Methanemissionen waren den Betreibern der Deponien vielfach nicht bekannt.

Die Situation bei Industrieabfällen und hier insbesondere bei gefährlichen Abfällen ist in der Regel noch prekärer als bei Siedlungsabfällen. Die Zuständigkeiten für gefährliche Abfälle sind oft gar nicht oder widersprüchlich geregelt. Zumeist ist deren Entsorgung Aufgabe der Produzenten. Nur große, international agierende Unternehmen sind in der Lage, eigene Entsorgungsanlagen zu realisieren. Gefährliche Abfälle der anderen Erzeuger werden zumeist illegal oder zusammen mit Siedlungsabfällen in dafür ungeeigneten Anlagen entsorgt. Die vielfach angewandten Verfahren zur Verwertung und Beseitigung insbesondere von gefährlichen Abfällen bergen erhebliche Gesundheits- und Umweltrisiken für die damit befassten und im Umfeld der Anlagen lebenden Menschen. Zusammenfassend ist die Praxis der Abfallwirtschaft in den EL gekennzeichnet durch:

- unzulängliche, unzuverlässige und ineffiziente Durchführung der Entsorgung
- begrenzte Nutzung der Recyclingpotentiale
- unzulängliche Entsorgung von gefährlichen Abfällen
- unzulängliche Ablagerungspraktiken

## 2.3 Ansätze und Erfahrungen der Entwicklungszusammenarbeit in der Abfallwirtschaft

### 2.3.1 ‚Hardware-Ansatz‘ der 70er und 80er Jahre

Die ersten, zu Beginn der 70er Jahre im Rahmen der EZ realisierten Projekte in der Abfallwirtschaft stellten vielfach technikbasierte Ansätze dar, die bereits nach wenigen Jahren wieder eingestellt wurden<sup>14</sup>. Ausgehend von der Erkenntnis, dass Siedlungsabfälle in EL zu 60% und mehr aus organischen Reststoffen bestehen, umfassten die Projekte - neben der Lieferung von Sammelgerät – häufig den Bau von (Gemischtmüll-)Kompostierungsanlagen. Insbesondere in Afrika und Asien wurden zahlreiche großtechnische Gesamtmüllkompostierungsanlagen gefördert. Dieser Ansatz muss als gescheitert bezeichnet werden. Die Gesamtmüllkompostierung hat den Ruf, das Entsorgungsverfahren mit der größten Anzahl gescheiterter Projekte weltweit zu sein [UNEP 2011b]. Hoornweg et al. [1999] berichten, dass in Indien neun von elf in den 70er und 80er Jahren gebauten Anlagen wieder geschlossen wurden. In Brasilien waren nur 18 von 54 Anlagen betriebsbereit. Die Projekte scheiterten v.a. an den hohen Kosten, unzureichender Wartung und Instandhaltung, zu geringem Verständnis der Betreiber für den Kompostierungsprozess, mangelnder Kompostqualität, Geruchsemissionen und unzulänglichem Management. Furedy [2002] macht zudem die starke Konkurrenz für die Komposte durch Mineraldünger verantwortlich, der in vielen Ländern stark subventioniert wurde. Nassour [2005] weist auf eine ungeeignete Technologieauswahl und die unzureichende Qualifikation und Schulung des Personals hin.

In sehr geringer Zahl wurden auch Müllverbrennungsanlagen v.a. in asiatischen und latein-amerikanischen Megastädten realisiert, die jedoch zumeist über den Probetrieb nicht hinaus kamen. In Dehli musste eine Anlage 1986 nach kurzer Betriebszeit aufgrund des zu geringen Heizwerts der Abfälle wieder geschlossen werden [Zhu et al. 2008]. Im Frühjahr 2012 wird eine weitere Anlage in Dehli in Betrieb gehen. Es bestehen auch hier deutliche Zweifel, dass die Anlage überschüssige Energie erzeugen können wird [Mutz 2012].

Dieser ‚hardware approach‘ [JICA 2005], d.h. Übertragung rein technikbasierter Lösungen aus Industrieländern (IL), entspricht der entwicklungspolitischen Philosophie der ‚Grundbedürfnisstrategie‘<sup>15</sup> der 70er Jahre. Waldmann [2006] sieht darin v.a. eine Strategie der Exportförderung, die die spezifischen Rahmenbedingungen und Erfordernisse der EL außer Acht ließ. Bartone et al. [1990] beurteilen auf Grundlage einer kritischen Evaluierung der von der Weltbank (WB) in den 70er und 80er Jahren durchgeführten Vorhaben die Ansätze weitgehend als Fehlschläge, die zu keiner dauerhaften Verbesserung weder der Umweltsituation noch der ökonomischen Effizienz der Abfallwirtschaft geführt haben. Sie führen dies neben nicht sachgerechter Auswahl und Auslegung der Komponenten v.a. auf die mangelnde Beachtung des erforderlichen Aufbaus von leistungsfähigen Trägern, auf unklare institutionelle Strukturen und Zuständigkeiten, auf das Fehlen strategischer Planung und unzureichende Kostendeckung zurück.

### 2.3.2 Stärkung von Eigenverantwortlichkeit und Know-how

Nach den zahlreichen Fehlschlägen des ‚hardware approach‘ der 70er und 80er Jahre<sup>16</sup>, der zugleich die Verschuldung der EL stark befördert hat, setzte sich die Erkenntnis durch, dass Entwicklungsmaßnahmen nur Effekte erzielen können, wenn auf der Partnerseite entsprechende Durchführungskapazitäten vorhanden sind und die Eigenverantwortlichkeit (‚Ownership‘) für die Projekte bei den Zielgruppen und Institutionen gestärkt wird. Die entwicklungspolitischen Maßnahmen der späten 80er und 90er Jahre zeichneten sich v.a. durch die Bereitstellung von ‚software‘ aus [JICA 2005]. Sie fokussierten auf den Aufbau von Durchfüh-

---

14 Eine gute Darstellung von Vorhaben der Abfallwirtschaft in EL in den 70er/80er Jahren in [Rosenberg/Furedy 1996]

15 In den 60er Jahren galt die entwicklungspolitische Doktrin ‚Entwicklung durch Wachstum‘. Sie beruhte auf der These, dass Unterentwicklung allein auf Kapitalmangel beruhe und die Bereitstellung von genügend Kapital zu Wachstum und Entwicklung führen werde. In den 70er Jahren richtete sich die Entwicklungszusammenarbeit an der ‚Grundbedürfnisstrategie‘ aus. Sie basiert auf der Annahme, dass durch die Befriedigung der Grundbedürfnisse (darunter z.B. auch Wasser, Infrastruktur) Wachstum folgt.

16 Die 80er Jahre werden auch als das ‚Verlorene Jahrzehnt‘ [s. z.B. Waldmann 2006] bezeichnet. Die durch die zweite Ölkrise ausgelöste Wirtschaftskrise führte zu fallenden Rohstoffpreisen, die die Exporterlöse der Entwicklungsländer sinken und die Schulden wachsen ließen. Bis auf die asiatischen Tigerstaaten gerieten selbst Schwellen- und Erdölländer in schwere Wirtschafts-, Sozial- und Politik Krisen.

rungsinstitutionen und die Vermittlung von Know-how, Planungs- und Managementkompetenz für Betrieb, Wartung und Unterhaltung der Einrichtungen. Zahlreiche Klein- und Pilotprojekte wurden durchgeführt, die einzelne Komponenten eines Abfallwirtschaftssystems umfassten und meist Ansätze der Selbsthilfe und Partizipation zur Verbesserung der Wohnumfeldbedingungen beinhalteten [vgl. Wehenpohl 1987]. Im Bereich der Abfallbehandlung wurden überwiegend kleinmaßstäbliche, gering mechanisierte Kompostierungsvorhaben gefördert, die jedoch nur in einem kleinen Bereich wirkten oder in Sondersituationen<sup>17</sup> anwendbar waren. Diese Ansätze konnten jedoch keinen substantiellen Beitrag zur Lösung der kommunalen Abfallprobleme in den EL insgesamt leisten und waren aufgrund der hohen spezifischen Kosten nicht finanziell nachhaltig [Furedy 2002].

Bis weit in die 90er Jahre hinein wurden Vorhaben der Abfallwirtschaft in EL zumeist unter dem Blickwinkel der Stadtentwicklung und Siedlungshygiene durchgeführt. Als Ziele wurden vorwiegend ‚Beiträge zur Gesundheitsvorsorge‘ und ‚Verbesserung der Stadthygiene‘ durch geregelte Abfalleinsammlung und Transport oder durch Behandlung von besonders problematischen Abfallarten (v.a. Krankenhausabfälle) genannt. Sie beinhalteten zumeist nur einzelne Elemente eines Entsorgungssystems und bildeten eine ergänzende Komponente zu Vorhaben in anderen Sektoren, vorwiegend des Wasserressourcenschutzes oder Umweltschutzes [vgl. World Bank o.J., ADB o.J., Bartone et al. 1990].

### 2.3.3 Der integrierte Ansatz seit der Rio-Konferenz 1992

Ein umfassenderes Verständnis von Abfallwirtschaft in EL, das neben der Entsorgung die Vermeidung und Verwertung von Abfällen und die Stärkung der Managementkapazitäten zum Ziel hat und die gesamte Entsorgungskette umfasst, hat sich seit etwa Mitte der 90er Jahre entwickelt. Die Rio-Konferenz 1992 - UNCED<sup>18</sup> lieferte den entscheidenden Impuls zur Entwicklung solcher ‚integrierten‘ Projekte. Auf Grundlage des von der Brundtland-Kommission [WCED 1987] vorgeschlagenen Zielsystems wurden dort das Leitbild der ‚Nachhaltigen Entwicklung‘ und ein Aktionsprogramm zur Umsetzung, die ‚Agenda 21‘ entworfen. Zwei der insgesamt 40 Kapitel dieser Agenda befassen sich unmittelbar mit der Abfallwirtschaft<sup>19</sup>. Darin wird erstmals ein integrierter Ansatz für die Abfallwirtschaft formuliert und die Umsetzung der in den westeuropäischen Pionierstaaten<sup>20</sup> entwickelten Zielhierarchie des Vorrangs der Vermeidung und Verwertung vor der umweltverträglichen Beseitigung auch für entwicklungspolitische Vorhaben postuliert.

Das im Jahr 1996 veröffentlichte ‚Sektorkonzept Abfallwirtschaft‘ des BMZ [1996] greift die Grundsätze der Agenda 21 auf und postuliert erstmals den in Deutschland rechtlich verankerten und in der Umsetzung befindlichen Ansatz der ‚Kreislaufwirtschaft‘ für die deutsche EZ zum entwicklungspolitischen Ziel. Diese Sichtweise der Aufgaben der Abfallwirtschaft wird jedoch erst mit erheblicher Verzögerung von Entscheidungsträgern in EL akzeptiert [UNEP 2004].

Etwa ab Mitte der 90er Jahre werden zahlreiche Handbücher, Planning-Guides etc. publiziert, die einen integrierten Ansatz für die Abfallwirtschaft verfolgen und planerisch-strategisch-institutionelle Aspekte in den Vordergrund rücken [vgl. Diaz et al. 1996; Schübeler et al. 1996; ISWA 1998; Wilson et al. 1998; Bartone 2000; Klundert/Anschütz 2001; UNEP 2004]. Parallel dazu werden v.a. auf Initiative der WB sog. ‚PPP-Modelle‘ (Public-Private-Partnership) propagiert [Cointreau 1994, Cointreau/Coad 2000]. Basierend auf der Hypothese, dass private Entsorgungsunternehmen einen zuverlässigeren und effizienteren Entsorgungsservice zu geringeren Kosten leisten, werden die PPP-Modelle geradezu zum Dogma für die erfolgreiche Entwicklung von Vorhaben im Bereich der öffentlichen Daseinsvorsorge. Darüber hinaus erhoffte man sich Zugang zu Know-how und die Mobilisierung von privatem Kapital für Investitionen [Coad 2005]. Die Erwartungen haben sich jedoch nicht er-

---

17 Dies betrifft v.a. Ansätze zur dezentralen Kompostierung von Abfällen [vgl. Rothenberger et al. 2006]

18 United Nations Conference on Environment and Development

19 Kapitel 20: Umweltverträgliche Entsorgung gewerblicher Abfälle; Kapitel 21: Umweltverträglicher Umgang mit festen Abfällen. Mehrere Kapitel haben fachlich (Teil 2) als auch hinsichtlich der Rolle von Akteuren (Teil 3 und der Umsetzungsinstrumente (Teil 4) Querbezüge zur Abfallwirtschaft (ausführlicher s. Kap. 3.3.1.).

20 i.W. Deutschland, Schweiz, Österreich, Niederlande

füllt. Neben handwerklichen Mängeln wie schlechter Vorbereitung der Projekte, fehlerhaften Ausschreibungen, unklaren Zielen und Vertragsbestimmungen, ungeeigneten Vertragslaufzeiten etc. scheiterten viele Vorhaben v.a. an der unzureichenden Beachtung der lokalen Gegebenheiten, v.a. der fehlenden Berücksichtigung der Belange der waste-picker. Hinzu kamen überzogene Erwartungen der ausschreibenden Stellen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Unternehmen, Unfähigkeit, die Leistungserbringung sachgerecht zu überprüfen, verspätete Zahlungen oder Abzüge z.B. durch ungerechtfertigte Vertragsstrafen<sup>21</sup> u.a.m.. Vielfach erhielten die ausschreibenden Stellen erst gar keine Angebote, weil die privaten Unternehmen – meist berechnete – Zweifel an der Fähigkeit und am Willen der ausschreibenden Stellen hatten, ihren finanziellen Verpflichtungen aus dem Vertrag auch nachzukommen (vgl. Kap. 2.5.4). Dorvil [2007] kommt basierend auf mehreren Fallstudien in der MENA<sup>22</sup>-Region zum Ergebnis, dass die Privatisierung zu häufig als Allheilmittel für die Lösung aller Abfallprobleme angesehen wird. In der Schaffung von kompetenten Regulierungs- und Überwachungsinstitutionen sieht er eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Übertragung abfallwirtschaftlicher Aufgaben auf private Unternehmen.

Die ersten integrierten Vorhaben im Rahmen der EZ, die die gesamte Prozesskette der Abfallwirtschaft umfassen und den Vorrang der Vermeidung und Verwertung in den zugrundeliegenden Abfallwirtschaftskonzepten verankern, werden etwa ab Ende der 90er Jahre umgesetzt. Aufgrund der finanziellen Restriktionen kommen jedoch nur kostengünstige Lösungen in Frage. Ziel der Projekte ist es, die Grundstrukturen für die Entwicklung integrierter Entsorgungssysteme zu legen [Pfaff-Simoneit 2006]. Dies beinhaltet sowohl ‚hardware‘ wie die Beschaffung von geeignetem technischem Gerät für Sammlung und Transport der Abfälle sowie Bau von Entsorgungsanlagen als auch die ‚soften‘ Komponenten Personal- und Organisationsentwicklungsmaßnahmen, Aufbau von Gebührensystemen, Inkasso- und Rechnungswesen sowie Öffentlichkeitsarbeit und Umweltbewusstseinsbildung. Die Rückgewinnung von (Sekundär-)Rohstoffen und ggf. auch die Erzeugung von Produkten (z. B. Kompost), bilden wesentliche Elemente der Vorhaben. Besondere Beachtung wird dabei den informellen Wertstoffsammlern geschenkt, die eine zentrale Säule der Recyclingwirtschaft in EL bilden. Deren Integration oder die Kooperation mit diesen bildet eine zentrale Komponente der Vorhaben v.a. auch mit Blick auf die Armutsorientierung der Maßnahmen [GTZ/KfW 2005].

Die geordnete Deponie stellt bei den neueren Vorhaben der EZ in der Siedlungsabfallwirtschaft die Standardlösung für die Beseitigung der nicht vermeidbaren und verwertbaren Reststoffe dar. Sie gilt i.d.R. als die kostengünstigste umweltverträgliche Lösung unter den in EL gegebenen ökonomischen Rahmenbedingungen. Deponien sind unabdingbarer Bestandteil jedes Entsorgungssystems, da die Ablagerung einer nicht verwertbaren Reststofffraktion auf absehbare Zukunft erforderlich sein wird [GTZ 2001, Ramke 2010]. Geordnete Deponien stellen letztlich jedoch nur einen Kompromiss zwischen dem aus Umwelt- und Klimaschutzgründen Wünschenswertem und dem in EL ökonomisch Machbaren dar [Pfaff-Simoneit 2006]. Auch bei ordnungsgemäßem Betrieb bilden die Sickerwasser- und Deponiegasemissionen ein latentes, dauerhaftes Umweltrisiko. Die Finanzierung der Nachsorgekosten ist meist nicht gesichert<sup>23</sup>. Eine Vorbehandlung der Abfälle vor der Ablagerung zur Verbesserung der Ablagerungseigenschaften und Minimierung der Deponieemissionen und -risiken ist zwar wünschenswert, scheitert aber bislang an den ökonomischen Realitäten. Aus Kostengründen müssen oft sogar - soweit aufgrund der Standortgegebenheiten vertretbar - bei der Konzeption und dem Bau von geordneten Deponien Möglichkeiten zur Kostenreduzierung<sup>24</sup> genutzt und Abstriche von den in Europa geltenden technischen Standards gemacht werden. Es wird eine schrittweise Verbesserung der Betriebs- und Ausführungsstandards von Deponien angestrebt, wobei die Emissionen von Methan und Sickerwasser - soweit ökonomisch

---

21 Eine umfangreiche Evaluierung und Beschreibung von Fallbeispielen findet sich in [Coad 2005]

22 Middle-East and North Africa

23 Neben den Begehrlichkeiten, die Rücklagen wecken können, ist deren Bildung in vielen EL ebenso rechtlich nicht zulässig wie das Einkalkulieren in die Gebühren zur Finanzierung der Nachsorgekosten.

24 z.B. einfache mineralische Dichtung anstelle Kombinationsbasisabdichtung, Sickerwasserrückführung, Verzicht auf die Vorbehandlung von Krankenhausabfällen, Passive (‘Venting’) anstelle aktiver Entgasung

misch vertretbar - reduziert werden sollen [GTZ 2001]. Besonderes Augenmerk ist daher der Auswahl von umweltverträglichen, geologisch geeigneten Deponiestandorten zu widmen [Oeltzschner/Mutz 1996].

Auch wenn geordnete Deponien aus fachlicher Sicht nur eine Übergangslösung darstellen, bilden sie den ersten substanziellen Schritt hin zu einer ordnungsgemäßen und umweltverträglichen Form der Entsorgung von Abfällen. Für UNEP [2004] hat der Bau von geordneten Deponien in EL hohe Priorität, um die Abfallprobleme zu lösen. Auch die Europäische Union (EU) verlangt von den neuen Mitgliedsstaaten zunächst die Realisierung von geordneten Deponien. Für die Vorbehandlung von Abfällen werden lange Übergangszeiträume (i.d.R. 15 Jahre) zugestanden, indem eine schrittweise Verringerung der auf die Deponien verbrachten Organikfrachten vorgeschrieben wird [EU 1999].

### **2.4 Kritik der bisherigen Ansätze der Entwicklungszusammenarbeit im Sektor**

Die bisherigen Ansätze der deutschen EZ wie auch der EZ-Organisationen anderer Geberländer im Abfallsektor umfassen i.W. die Förderung von Einzelprojekten einerseits und die Beratung auf Regierungsebene zur Schaffung von Rahmenbedingungen und zur Personalqualifizierung andererseits. Dabei werden die Maßnahmen meist nur wenig aufeinander abgestimmt. Die Zusammenarbeit findet eher zufällig und ad-hoc statt. Eine umfassende, langfristige, strategisch angelegte Unterstützung erfolgt bislang nicht. Parallel dazu arbeiten EZ-Organisationen und NGO<sup>25</sup> unabhängig von den geförderten Projekten oder Maßnahmen zum Kapazitätsaufbau und zur Schaffung von Rahmenbedingungen nach eigenen Programmen und Zielen. Auch NGO, insbesondere Parteienstiftungen, kirchliche Organisationen, Gewerkschaften, Interessenverbände et al. erhalten Mittel für die Durchführung von Maßnahmen zur Entwicklung zivilgesellschaftlicher Strukturen. Darüber hinaus sind die Bundesländer, Kommunen über Städtepartnerschaften, Kommunal- und Zweckverbände tätig.

Auf Seiten der Geberländer muss das weitgehend unkoordinierte, isolierte Agieren verschiedenster Durchführungsorganisationen (DO) und sonstiger in der EZ engagierter Organisationen ins Zentrum der Kritik gestellt werden. Aber auch auf Seiten der Nehmerländer bestehen Zweifel an der Ernsthaftigkeit der Verantwortlichen zur Lösung der durch ungeordnete Abfallwirtschaft entstehenden Probleme. Institutionen für die Abfallwirtschaft werden nicht gegründet oder personell, finanziell und mit Kompetenzen nur schwach ausgestattet. Es kommt durchaus vor, dass mehr Berater als zu beratende Personen tätig sind. Die Berater werden häufig für die Tätigkeiten der beratenen Ministerien und Fachbehörden eingesetzt, etwa zur Entwicklung von Rechtsnormen und Erarbeitung von Plänen, anstelle dass die EL eigenes Personal dafür einstellen, das durch die Berater qualifiziert wird. Aus Sicht der EL ist dies durchaus verständlich, denn solange die Anzahl der Projekte überschaubar bleibt und eine durchgängige Finanzierung zum Aufbau einer Abfallwirtschaftsinfrastruktur nicht gesichert ist, macht es aus Sicht der EL - zumal angesichts der ohnehin angespannten Budgetsituation und der Schwierigkeiten, qualifiziertes Personal zu finden - wenig Sinn, grundlegende Strukturen und Institutionen aufzubauen. Es fehlt zumeist aufgrund der finanziellen Restriktionen und des fehlenden politischen Willens die realistische Perspektive, dass der Ausbau der Entsorgungsinfrastruktur im Land sukzessive und systematisch fortgesetzt und damit das Personal auch langfristig benötigt wird.

Im Ergebnis gilt festzustellen, dass trotz aller bisherigen Unterstützung durch die EZ ein 'Abfallsektor' als solcher in den meisten EL nach wie vor nicht vorhanden ist. Zwar sind die Einzelvorhaben der EZ durchaus beispielgebend und wecken das Interesse und Bewusstsein bei Entscheidungsträgern und in der Öffentlichkeit für die Erfordernisse des Sektors. Durch die Maßnahmen entsteht jedoch allenfalls nur sehr langsam ein Umfeld oder ausreichend große ‚kritische Masse‘, damit der Sektor eine Eigendynamik bekommen und sich eigenständig weiterentwickeln kann. Mit den bisherigen Ansätzen der EZ jedenfalls kann ein Überspringen von Entwicklungs- und Technologiestufen nicht gelingen.

---

25 Non Governmental Organisations / Nicht-Regierungs-Organisationen

## 2.5 Rahmenbedingungen in Entwicklungsländern

Die Rahmenbedingungen in den EL sind für die Implementierung komplexer Systeme, wie sie die Kreislaufwirtschaft darstellt, vollkommen unzulänglich und behindern deren Aufbau auf mehrfache Weise. Zurbrügg [2003] sieht am Beispiel asiatischer Kommunen neben dem ungeplanten Wachstum der Städte und dem sich dadurch verstärkenden Druck, den Service ständig ausweiten zu müssen, folgende Hindernisse zur Verbesserung der Abfallwirtschaft:

- Fehlen geeigneter administrativer Strukturen und Ressourcen
- bürokratisches Durcheinander und Mängel aufgrund der Vielzahl beteiligter Institutionen auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene
- fehlende klare Festlegungen der Zuständigkeiten
- unzulängliche Kommunikation und Abstimmung innerhalb der Verwaltungen und in noch stärkerem Maße mit den Akteuren
- politische Einflussnahme auf das tägliche Geschäft
- unzulängliche strategische Planung und politische Zieldefinition
- mangelnde Qualifikation des Personals
- mangelnde Attraktivität der Abfallwirtschaft als berufliche Perspektive

Diese Analyse kann auch auf EL in anderen Regionen übertragen werden. Nachfolgend werden die Rahmenbedingungen differenziert für die folgenden Kategorien beschrieben:

- Politiken, Strategien und Pläne
- Rechtsgrundlagen
- Institutionen und Personal
- Finanzierung und Kostendeckung
- Sozio-kulturelle Rahmenbedingungen und informeller Sektor

### 2.5.1 Politiken, Strategien und Pläne

Die unzulängliche Abfallentsorgung wird zwar in den meisten EL als gravierendes Umwelt- und Gesundheitsproblem wahrgenommen. Definierte Politiken, Strategien oder Pläne sind jedoch bislang eine seltene Ausnahme. Erst in jüngster Zeit sind für einzelne EL erste nationale Abfallwirtschaftspläne oder -strategien erarbeitet worden, z.B. in Costa Rica, Mexiko, Jemen, Palästina und auf den Philippinen [GTZ 2009]. In einigen Ländern, z.B. der MENA-Region, sind allgemeine abfallwirtschaftliche Ziele in den nationalen Umweltstrategien enthalten [Abdul-Rida 2008]. Andere Länder haben nationale Aktionspläne und Investitionsprogramme für den Aufbau eines Entsorgungssystems aufgestellt [Belherazem et al. 2004, Hickman et al. 2004]. Diese beschränken sich allerdings zumeist auf den Bau von geordneten Deponien und die Beschaffung von Sammellogistik. Neuere nationale Abfallwirtschaftsstrategien verfolgen einen breiteren Ansatz und wirken auf den Aufbau von Kreislaufwirtschaftssystemen hin. Zumeist fehlen jedoch der politische Wille, die fachlichen Fähigkeiten und Erfahrungen, die finanziellen Mittel, sowie die institutionellen Voraussetzungen, um die Pläne auch umzusetzen [Wehenpohl 2009].

Eine Abschätzung der erforderlichen Finanzmittel und Human-Ressourcen erfolgt zumeist nicht in den nationalen Strategien. Ebenso werden die geplanten Schritte zur Schaffung der Voraussetzungen für die Umsetzung oder die erforderlichen institutionellen Rahmenbedingungen kaum betrachtet. Allerdings weisen die neueren Strategien auch unter diesem Aspekt Fortschritte auf [Wehenpohl 2009]. Aufgrund v.a. der institutionellen Defizite und unzureichender finanzieller Mittel beschränken sich die Regierungen oft auf die Entwicklung von Gesetzen und die Hoffnung auf privatwirtschaftliche Lösungen [Dorvil 2007].

Die Verantwortlichen in den EL haben die Potentiale, die die Abfallwirtschaft für ihre Volkswirtschaften bietet, bislang kaum erkannt. Der Klimawandel<sup>26</sup> findet bislang nur vereinzelt Berücksichtigung. Die Notwendigkeit, Abfallwirtschaft als vielschichtige Aufgabe zu betrachten, die sowohl zur Umwelt- und Gesundheitsvorsorge beiträgt als auch zur wirtschaftlichen

---

26 Costa Rica verfügt über eine nationale Abfallstrategie, für die als wichtiges Ziel u.a. die Minimierung der THG-Emissionen als Beitrag zu den nationalen Klimazielen definiert wurde [Janssen et al. 2009].

Nutzung der Abfälle als Sekundärrohstoff oder Energieträger und dabei erhebliche Beschäftigungseffekte induziert, wird eher als Widerspruch denn als Chance verstanden.

Planung findet allenfalls auf der kommunalen Ebene statt. Es fehlen gemeindeübergreifende Planungen, die gewährleisten, dass auch kleine und mittlere Kommunen an zentrale Entsorgungsanlagen angeschlossen werden können. Die Bereitstellung von Entsorgungskapazitäten zu tragfähigen Kosten, die technische Mindestanforderungen und Umweltstandards einhalten, erfordert eine möglichst große Zahl angeschlossener Nutzer [Pfaff-Simoneit 2000].

Ansätze zur Abfallvermeidung im Produktionsprozess haben zwar vereinzelt zur relativen Reduktion von industriellen und gewerblichen Abfällen geführt, aber nur ein Teil der verbleibenden Abfälle wird recycelt, in energieintensiven Industrien eingesetzt oder einer kontrollierten Entsorgung zugeführt. Die Einführung ökonomischer Instrumente (z.B. Anreizsystem zur Abfallvermeidung, Produktverantwortung)<sup>27</sup> oder Regelungen (z.B. Quotenregelung für Recycling) zur Mobilisierung privatwirtschaftlicher Aktivitäten scheitert zumeist an mangelnder Erfahrung, defizitären Regel- und Kontrollmechanismen sowie an Institutionen, die diese auch um- und durchsetzen können [BMZ 2012], aber auch an Widerständen wenig innovationsbereiter Unternehmen.

### 2.5.2 Rechtsgrundlagen

Ein geschlossenes gesetzliches Regelwerk für die Abfallwirtschaft existiert in den meisten EL nicht [JICA 2005]. Rechtsbestimmungen für die Abfallwirtschaft sind oft auf verschiedenste Gesetze verteilt mit zum Teil widersprüchlichen fachlichen und institutionellen Regelungen. Relevante Bestimmungen finden sich insbesondere in den Gesetzen zum Gesundheitsschutz und zur öffentlichen Hygiene, in Gesetzen zur Kommunalverwaltung und zum Umweltschutz. Sie decken zumeist nur Teilaspekte der Abfallwirtschaft ab und führen zu einer Zersplitterung der Zuständigkeiten [Abdul-Rida 2008].

Dort wo Abfallgesetze bestehen, sind das untergesetzliche Regelwerk<sup>28</sup> sowie technische Normen und Umweltstandards entweder nicht vorhanden oder Stückwerk. Bestehende Regelungen werden zumeist unkritisch aus Industriestaaten übernommen, ohne die technischen Anforderungen und finanziellen Konsequenzen zu bedenken. Im Ergebnis bleiben die Regelungen daher zumeist wirkungslos, oft sind sie den Akteuren nicht einmal bekannt. In Indien hat eine Untersuchung eines Expertenkomitees ergeben, dass trotz eines detaillierten Vorschriftenkatalogs die zuständigen Kommunen einen Großteil der gesetzlichen Verpflichtungen nicht erfüllen [Zhu et al. 2008]. Für den ordnungsgemäßen Vollzug der Vorschriften sind die institutionellen und personellen Voraussetzungen zumeist nicht vorhanden.

### 2.5.3 Institutionelle Rahmenbedingungen und Personalqualifikation

Institutionelle und personelle Defizite bilden eine Schlüsselkategorie unter den bestehenden Hemmnissen für den Aufbau von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen in EL. Die Situation ist i.d.R. gekennzeichnet durch unklare und zersplitterte Zuständigkeiten, mangelnde Kooperation und Abstimmung zwischen der nationalen, regionalen und lokalen Ebene, dem weitgehenden Fehlen von qualifizierten Überwachungs- und Fachbehörden für technische und Umweltaspekte. Dies wird flankiert von einem eklatanten Mangel an qualifiziertem Personal.

Auf staatlicher Ebene zeigen in vielen EL der Aufbau von Umweltministerien und technischen Fachbehörden oder Agenturen sowie die Qualifizierung kommunaler Fachkräfte erste positive Wirkungen. Die fachlich zuständigen Umweltministerien sind i.d.R. jedoch politisch schwach und nehmen in der Regierungshierarchie nur einen untergeordneten Rang ein. Sie sind zumeist personell unterbesetzt und können die vielfältigen Aufgaben nicht bewältigen.

Während technische Fachbehörden, die landesspezifische Normen und Standards entwickeln, und Überwachungsinstitutionen für die Abfallwirtschaft nahezu unbekannt sind, sind in einigen EL Umweltfachbehörden aufgebaut worden. Deren Tätigkeit beschränkt sich jedoch zumeist auf eine häufig wenig anspruchsvolle und wenig sachgerechte Vorabprüfung von

---

27 Tunesien fördert durch das „Eco-Lef“-System das Recycling auf nationaler Ebene [Belherazem et al. 2004]

28 Rechtsverordnungen, Verwaltungsvorschriften, Dekrete etc.

umweltrelevanten Vorhaben im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungsverfahren (UVP-Verfahren). Für eine regelmäßige Überwachung des Baus und des Betriebs von umweltgefährdenden Anlagen fehlen der politische Wille zur Umsetzung, ausreichendes und qualifiziertes Personal, die mess- und analysetechnische Ausstattung sowie die finanziellen Mittel für die Durchführung der Überprüfungen.

Der Umgang mit technischen Regeln - sofern vorhanden - bewegt sich häufig zwischen Hilflosigkeit und korruptem Verhalten. Verstöße gegen gesetzliche Regelungen werden vielfach geduldet. Hinzu kommt ein hoher Grad an aktiver und passiver Korruption, der den Abfallerzeugern und Entsorgungsbetrieben die Umgehung bestehender Vorschriften ermöglicht und bestehende Regelungen aushöhlt. Schon für vergleichsweise geringe Beträge sind viele der zumeist schlecht bezahlten Kontrolleure bereit, über die Missstände hinwegzusehen.

Im Falle politischer Implikationen erfolgen auch überzogene Reaktionen bis hin zu Betriebs-schließungen, obwohl die technischen oder Umweltnormen objektiv nicht einhaltbar sind. So können bestehende Regelungen in zentralen Teilen allein deshalb nicht vollzogen werden, weil die erforderlichen Entsorgungsanlagen nicht vorhanden sind. Die verpflichteten Unternehmen sind mit Planung, Bau und Betrieb von Entsorgungsanlagen organisatorisch und finanziell jedoch überfordert, während der Staat bei der Erfüllung seiner Aufgabe der Daseinsvorsorge durch Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur versagt.

Eine entscheidende Rolle auf der nationalen Ebene fällt vielfach den Innenministerien bzw. den für die Finanz- und die Rechtsaufsicht über die Kommunen zuständigen Ministerien zu. Diesen mangelt es jedoch zumeist an der fachlichen Kompetenz und der Bereitschaft, eingespielte Abläufe und Methoden zu reformieren. Darüber hinaus können weitere Ministerien Zuständigkeiten in Teilbereichen haben, v.a. die Ressorts für Gesundheit, Landwirtschaft, Bau und Infrastruktur sowie v.a. die für die Finanz- und Investitionsplanung zuständigen staatlichen Behörden. Diese Zersplitterung der Zuständigkeiten behindert nicht nur die Implementierung von Projekten, sie führt auch zur Verwirrung bei den Geberorganisationen, die Schwierigkeiten haben, ihre EZ-Maßnahmen zielgerichtet zu adressieren [JICA 2005].

Die Zuständigkeit für die operativen Aufgaben der (Siedlungs-)Abfallwirtschaft<sup>29</sup> liegt in den meisten Ländern bei den Kommunen. Diese sind jedoch weder organisatorisch noch personell darauf eingerichtet und verfügen über keine ausreichenden Budgets und gesicherte Einnahmen zur Bewältigung dieser Aufgaben. Insbesondere kleine und mittlere Kommunen sind selbst mit einfachen Aufgaben wie der Sicherstellung der geregelten Abfalleinsammlung überfordert<sup>30</sup> (s. Kap. 2.2). Die Zuständigkeiten innerhalb der Kommunen sind häufig auf mehrere Abteilungen/Ämter verteilt. Eine zentrale Abteilung oder ein Amt, wo sämtliche Aufgaben der Abfallwirtschaft zusammenlaufen und koordiniert werden, ist eher die Ausnahme.

Besondere Probleme bereiten Planung, Bau und Betrieb von überörtlichen Behandlungs- und Beseitigungsanlagen. Es fehlt an kompetenten und leistungsfähigen Trägern. Nur große Städte wären überhaupt in der Lage, Siedlungsabfalldeponien mit hohem Standard zu für sie tragfähigen Kosten zu betreiben. Kleine und mittlere Kommunen verfügen weder über die Kapazitäten noch über eine ausreichende Einwohnerzahl, um Anlagen mit wirtschaftlich sinnvollen Größen auszulasten<sup>31</sup>. Übergemeindliche Verwaltungseinheiten - vergleichbar den Landkreisen in Deutschland - existieren in vielen Staatsformen nicht oder haben nur koordinierende, aber keine operativen Aufgaben. Dort wo sie vorhanden sind, verfügen sie weder über die Mittel noch das Mandat zur Durchführung öffentlicher Aufgaben. Die regionalen Organe der staatlichen Verwaltung (Provinzen, Gouvernorate o.ä.) haben Vollzugs- und Überwachungsaufgaben wahrzunehmen und können daher nicht zugleich für operative Aufgaben zuständig sein. Zweckgebundene übergemeindliche Trägerorganisationen könnten ein geeignetes Modell sein, sind jedoch in hohem Maße von sich verändernden politischen Interes-

---

29 Die Entsorgung industrieller, v.a. gefährlicher Abfälle wird meist den Abfallerzeugern übertragen, obwohl diese - mit Ausnahme internationaler Unternehmen - weder über die Kenntnisse noch die Mittel verfügen.

30 In den meisten nordafrikanischen Staaten dagegen werden öffentliche Aufgaben der Daseinsvorsorge (Wasserversorgung, Abwasserentsorgung) oft von staatlichen Trägern wahrgenommen.

31 Die KfW Entwicklungsbank legt als wirtschaftliche Untergrenze einen Wert von 300.000 angeschlossenen Einwohnern zugrunde [Pfaff-Simoneit 2006], die Weltbank [Cointreau 1994] sogar 500.000 Einwohner.

senlagen abhängig. Beachtliche Fortschritte beim Aufbau einer flächendeckenden Entsorgungsinfrastruktur konnten dort erzielt werden, wo nationale Träger etabliert wurden wie z.B. in Tunesien, die sowohl die planerische und finanzielle als auch die operative Zuständigkeit für zentrale Anlagen innehaben [Pfaff-Simoneit 2008b]. Gleichwohl sind die Erfahrungen mit nationalen Trägern für die Abfallentsorgung ambivalent. In Ländern wie z.B. Ägypten oder Jemen, in denen lange Zeit Ministerien auch für operative Aufgaben zuständig waren, beschränkten sich deren Aktivitäten zumeist auf die Hauptstädte. Die in den sonstigen Landesteilen durch Steuern und Abgaben aufgebrauchten Mittel kamen den dortigen Bewohnern nicht in Form entsprechender Serviceleistungen zugute.

In allen EL herrscht ein eklatanter Mangel an qualifiziertem Personal auf allen Ebenen (Abdul-Rida 2008]. Sowohl für strategische und planerische Aufgaben wie für die Steuerung und Überwachung als auch für operative Aufgaben sind kaum ausgebildete Fachkräfte vorhanden. Besonders im Management bestehen große Diskrepanzen zwischen den Stellenanforderungen und den tatsächlichen Qualifikationen des Personals [Schübeler et al. 1996]. Aufgrund des niedrigen Status, geringer Gehälter und schwieriger Arbeitsbedingungen ist eine Tätigkeit in der Abfallwirtschaft für Personen mit Schulabschluss, die fachlich qualifiziertere Tätigkeiten übernehmen und zuverlässig erfüllen können, wenig attraktiv [Klundert/Anschütz 2001]. Die geringe Zahl an Fachpersonal, mangelnde personelle Kontinuität und die fehlende Anerkennung der Abfallwirtschaft als professionelle Dienstleistung (Statusproblem) erschweren zudem die Positionierung der Belange der Abfallwirtschaft in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft [BMZ 2012].

Die Ausbildung von Fachkräften ist bislang vollkommen unzulänglich. An einigen Hochschulen in EL sind zwar Studiengänge mit Bezug zur Abfall- und Ressourcenwirtschaft eingerichtet worden, diese können aber den Bedarf an Fach- und Führungskräften bei weitem nicht decken. Zielgerichtete Fachausbildungen, wie sie in Deutschland z.B. die Ausbildung zum ‚Ver- und Entsorger‘ darstellen, gibt es bislang in EL überhaupt nicht.

### **2.5.4 Finanzierung und Kostendeckung**

Für eine systematische Entwicklung der Abfallwirtschaft und Sicherung eines nachhaltigen Betriebs fehlen in EL, neben den technischen und institutionellen Voraussetzungen, gesicherte Einnahmen für die Deckung der laufenden Kosten. Während für die Finanzierung von Investitionen durchaus Mittel in Form von staatlichen Investitions- und Infrastrukturprogrammen sowie durch die Bereitstellung von EZ-Mitteln vorhanden sind, sind die Entsorgungsträger mit den Folgekosten für den laufenden Betrieb, Reparatur, Wartung und Unterhaltung der Anlagen und Einrichtungen überfordert [JICA 2005]. Es ist nicht ungewöhnlich, dass 30% und mehr der vorhandenen Müllfahrzeugflotte einer Kommune wegen mangelnder Ersatzteile oder unzulänglicher Wartung nicht betriebsbereit sind [Klundert/Anschütz 2001].

Die Investitionen der Kommunen werden zumeist vom Staat kontrolliert und gesteuert. Sie müssen in einem Auswahlverfahren versuchen, ihre Projekte in den staatlichen Investitionsprogrammen unterzubringen. Eine kommerzielle Finanzierung scheitert in den meisten Fällen allein an der mangelnden Bonität der Kommunen. Auch Entwicklungsbanken vergeben Kredite i.d.R. nur, wenn sie durch eine Garantie des Staates abgesichert sind [UNEP 2005].

Obwohl das Verursacherprinzip meist politisch akzeptiert und teilweise auch gesetzlich verankert ist, gibt es bislang in kaum einem EL eine verursacherbezogene Abfallgebühr. Die Ausgaben der Abfallentsorgung werden zumeist über den allgemeinen Haushalt finanziert. Nach einer Untersuchung der Weltbank [2005] geben Kommunen in EL 20 – 50% ihres gesamten kommunalen Budgets für die Abfallentsorgung und Straßenreinigung aus (vgl. Kap. 2.2). Zumeist werden die Kosten auf die Grund- oder Wohnungssteuer umgelegt, vereinzelt werden auch Aufschläge auf andere kommunale Dienstleistungen wie die Wasser- oder Stromversorgung vorgenommen. Die Einnahmen sind jedoch bei weitem nicht kostendeckend und für die Abfallerzeuger nicht transparent. Innovative Ansätze wie die Erhebung von zweckgebundenen Produktabgaben, die für den Aufbau und die Erhaltung der Entsorgungs-

infrastruktur genutzt werden, sind als wirkungsvolle Möglichkeit bislang die Ausnahme<sup>32</sup>.

Dort wo Abfallgebühren existieren, ist die Hebeeffizienz<sup>33</sup> i.d.R. gering. Teilweise ist der Verwaltungsaufwand für die Gebührenerhebung so hoch, dass die Kommunen auf eine Durchsetzung der Gebührenforderungen verzichten<sup>34</sup>. Hohe Hebeeffizienzen<sup>35</sup> werden dort erreicht, wo die Gebühren zusammen mit anderen Gebühren für öffentliche Versorgungsleistungen wie Wasser (z.B. in der Türkei) oder Strom (z.B. im Jemen, Mozambique) erhoben werden [GTZ 2003]. Allerdings wird in einigen EL die Nutzung des Stromverbrauchs als Maßstab zur Bestimmung der Abfallgebühren juristisch in Frage gestellt<sup>36</sup>. Klundert/Anschütz [2001] beklagen ein zunehmendes Missverhältnis zwischen Einnahmen und Ausgaben für die Abfallentsorgung. Die Abfallentsorgung stellt somit nicht nur ein Umwelt- und Gesundheitsproblem, sondern auch ein gravierendes Finanzproblem für Kommunen in EL dar.

Für die Finanzierung von Investitionen v.a. für Abfallsammelfahrzeuge sind die Kommunen zumeist auf Zuwendungen bzw. Subventionen des Staates angewiesen, die jedoch wenig verlässlich sind. Sie erfolgen häufig nach politischen Opportunitäten und weniger nach sachlichen Erfordernissen. Bei Infrastrukturinvestitionen sehen die staatlichen Ministerien ihre Aufgabe allenfalls in der Bereitstellung von Mitteln für die Erstinvestition, einen Etat für den Erhalt der Anlagen und Unterstützung eines sachgerechten Betriebs gibt es kaum.

Trotz der begrenzten finanziellen Mittel für die Abfallentsorgung werden diese sehr ineffizient eingesetzt. Leistungsstand und Zuverlässigkeit der Abfallentsorgung sind vielfach schlecht. Dies liegt v.a. an mangelnder Organisation, ungeeigneter und schlecht gewarteter Ausstattung, überzogenen Entsorgungsstandards<sup>37</sup> sowie geringer Qualifikation des Personals [Pfaff-Simoneit 2006]. Darüber hinaus beschäftigen die Kommunen häufig in großer Zahl unproduktive Beschäftigte [Dorvil 2007].

Den Kommunen sind die wahren Kosten der Abfallentsorgung meist nicht bekannt. Aufgrund Zersplitterung der Aufgaben und Zuständigkeiten auf verschiedene Ämter/Abteilungen werden häufig nicht einmal die laufenden Ausgaben zentral erfasst<sup>38</sup>. Eine Kostenrechnung und Leistungskontrolle erfolgen zumeist nicht. Die Einbeziehung von Abschreibung und Finanzierung für Betriebsgerät und Anlagen ist nahezu unbekannt. Da die Finanzmittel für Investitionen zumeist von staatlichen Stellen oder Gebern stammen, fällt es den Verantwortlichen in den Kommunen schwer, den Sinn der Einbeziehung dieser Kosten anzuerkennen<sup>39</sup>.

Durch bessere Organisation, funktionsfähige Systemkomponenten, Personalqualifizierung und angepasste Entsorgungsstandards ließen sich erhebliche Kosteneinsparungen bei der Abfallsammlung realisieren<sup>40</sup>. Die frei werdenden Mittel würden i.d.R. ausreichen, um die Kosten einer umweltverträglichen Basisentsorgungsinfrastruktur in Form von geordneten Deponien zu decken. Durch das Fehlen von Kostenrechnungssystemen verfügen die Verantwortlichen und Entscheidungsträger jedoch nicht über die erforderlichen Informationen und Instrumente, um die Potentiale zur Kostenreduktion zu erkennen [Schübeler et al. 1996]. Dies ist neben einer gewissen Trägheit der Kommunalverwaltungen v.a. auch auf den Mangel an Fachkräften für Budgetplanung und Finanzmanagement zurückzuführen.

---

32 Tunesien hat mit dem Eco-Lef-System einen solchen Weg beschritten und deckt damit etwa 80% der Kosten der zentralen Anlagen [Abdeljaouad et al. 2006]. Auch gerichtlich sind diese Abgaben bestätigt worden.

33 Relation der tatsächlich eingenommenen bezogen auf die in Rechnung gestellten Gebühren

34 Die Verfahren zur Eintreibung säumiger Zahlungen sind sehr aufwändig. Die Zahlung muss von den Gemeinden vor Gericht eingeklagt werden. Die Verfahren ziehen sich aufgrund der Überlastung der Gerichte so lange hin, dass die Gebührenschild meist verjährt ist, bis es zu einer Gerichtsentscheidung kommt.

35 Verhältnis der tatsächlich eingenommenen zu den in Rechnung gestellten Gebühren

36 Ausführliche Darstellungen zu den Gebührensystemen und Informationen zum Gebührenaufkommen finden sich in den verschiedenen ‚Country Reports‘ des ‚METAP-Vorhabens‘ [Belherazem et al. 2003]

37 V.a. in tropischen und warmen Klimazonen halten Kommunen aus hygienischen Gründen eine tägliche Einsammlung der Abfälle sowie auf den Deponien eine tägliche Abdeckung der Abfälle für erforderlich.

38 V.a. Beschaffung, Personalwesen, Betriebshof/Wartung und Unterhaltung, Bauangelegenheiten

39 Hierin liegt die zentrale Ursache für die Zurückhaltung bei der Einbeziehung Privater. Private Unternehmen müssen die Abschreibung und Verzinsung einkalkulieren, den Kommunen erscheinen die Preise daher übersteuert [vgl. Dorvil 2007].

40 Eine Evaluierung im Auftrag der GTZ [Girius/Comete 2005] in mehreren tunesischen Kommunen ermittelte Einsparpotentiale von 50% und mehr.

### 2.5.5 Soziokulturelle Rahmenbedingungen

Die für die Abfallwirtschaft bedeutsamen soziokulturellen Rahmenbedingungen in EL sind:

- geringe Fähigkeit und Bereitschaft, für Abfallentsorgungsdienstleistungen zu zahlen
- unzureichendes Umweltbewusstsein und geringe (Umwelt-)Bildung
- Vorhandensein eines informellen Recyclingsystems
- Vorbehalte gegenüber der Befassung mit Abfällen aufgrund religiöser, gesellschaftlicher oder sozialer Regeln und Gepflogenheiten
- Selbsthilfe (bei der Abfalleinsammlung) von Bewohnergruppen und Stadtbezirken<sup>41</sup>, zu meist gestützt auf in den Quartieren ansässige informelle Kleinunternehmen

Die Einführung höherwertiger Entsorgungssysteme wird u.a. durch geringe Fähigkeit und kaum vorhandene Bereitschaft der großen Mehrheit der Bewohner, für Abfallentsorgungsdienstleistungen zu bezahlen, behindert. Die WB [Wilson et al. 2001] nennt als Benchmark für die zumutbare Gebührenhöhe 0,75 - 1,7% des verfügbaren Einkommens für Abfallentsorgung und Straßenreinigung. Auch bei Nutzung von Quersubventionierungen zwischen reicheren und ärmeren Bevölkerungsschichten, die v.a. durch einen besseren Entsorgungsservice gerechtfertigt werden können, sind die möglichen Gebühreneinnahmen dennoch begrenzt. Während in Deutschland das Gebührenaufkommen mit etwa 80 – 100 EUR je Einwohner und Jahr [IW 2008] entsprechend etwa 0,3% des durchschnittlichen verfügbaren Einkommens angegeben werden kann, beträgt die theoretische Höhe bei Zugrundelegung der Zumutbarkeitskriterien der WB in EL nur etwa 10 – 30 EUR je Einwohner und Jahr [Pfaff-Simoneit 2006]. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass ärmere Haushalte einen erheblich höheren Anteil ihres verfügbaren Einkommens zur Deckung der Grundbedürfnisse verwenden müssen. Nach Auffassung des Verfassers sind daher in EL allenfalls 0,3 – 0,5% zumutbar.

Das mangelnde Umweltbewusstsein und die geringe Umweltbildung werden von den Kommunen in EL oft als Hinderungsgrund für den Aufbau fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme angesehen. Sie haben vielfach Probleme, mit den Bürgern, Gewerbebetrieben und anderen Akteuren zu kommunizieren. In autoritären Strukturen sind solche demokratischen Prinzipien ohnehin nicht üblich. Illegale Ablagerungen, Missbrauch, Zerstörung oder Entwenden von Abfallbehältern, Verweigerung von Gebührenzahlungen etc. führen bei den Kommunalverwaltungen zu der Schlussfolgerung, dass die Bürger eher ein Problem darstellen und nicht Teil der Lösung sein können [Klundert/Anschütz 2001]. Kommunikation mit den Abfallerzeugern und Information im Sinne einer systematischen Öffentlichkeitsarbeit und Umwelt-erziehung zum Umgang mit Abfällen finden i.d.R. nicht statt. Es fehlen Ansprechpartner, die das Mandat und das Vertrauen der Bewohner aus den unter- bzw. nicht versorgten Stadtgebieten und auch der informell tätigen Müll- und Wertstoffsammler haben. Beschwerden werden nicht erfasst oder es wird ihnen nicht nachgegangen.

Umgekehrt bildet die Abfallwirtschaft für die Bevölkerung aufgrund ihrer hohen Sichtbarkeit einen bedeutsamen Indikator zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der kommunalen Verwaltung [Bernstein 2004]. Unzulänglichkeiten bei der Entsorgung stellen die Glaubwürdigkeit und das Vertrauen der Bevölkerung in die Leistungsfähigkeit der Kommunalverwaltung in Frage [Klundert/Anschütz 2001].

Verwertbare Stoffe werden an vielen Stellen der Entsorgungskette separiert. Neben dem informellen Sektor (s.u.) sind zahlreiche Personen daran beteiligt. Hauswarte und -wächter, Haushaltshilfen und auch die bei der öffentlichen Müllabfuhr Beschäftigten bessern ihre geringen Löhne durch das Sammeln und Verkaufen von Wertstoffen auf [Klundert/Anschütz 2001]. Bei der Konzipierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Wertstoffeffassung sind solche Faktoren von erheblicher Bedeutung für die Akzeptanz und deren Erfolg. Pfanmutter/Schertenleib [1996] betonen, dass Recyclingmaßnahmen, die auf bestehenden Systemen aufbauen, nachhaltiger sind und eine höhere Akzeptanz in der Bevölkerung finden.

Dort wo die öffentliche Verwaltung ihren Aufgaben der geregelten Abfalleinsammlung nicht

---

41 Sog. ‚Community Based Organisations‘ - CBO

nachkommt, wird sie meist in Selbsthilfe durch Bewohner- und Selbstverwaltungsgruppen organisiert. V.a. bei der primären Abfalleinsammlung kann Selbsthilfe ein probates Mittel sein, um für sozial schwächere Bevölkerungsschichten und in für Fahrzeuge unzugänglichen Stadtgebieten eine zuverlässige Abfalleinsammlung zu gewährleisten [Wehenpohl 1987]. Pfanmatter/Schertenleib [1996] haben in einer Studie solche Ansätze in 18 verschiedenen Städten Asiens, Afrikas und Lateinamerikas untersucht. Trotz der z.T. erheblichen kulturellen Unterschiede haben sich die auf sog. ‚Community Based Organisations‘ (CBO) oder lokal ansässigen Kleinunternehmen basierenden Systeme als geeignet herausgestellt, wenn die Maßnahmen partizipativ entwickelt wurden und die Bewohner zwischen Eigenleistung und Gebühreuzahlung wählen konnten. Inwieweit solche Ansätze übertragbar sind, bedarf der sorgfältigen Prüfung und Vorbereitung im konkreten Einzelfall. Voraussetzung ist, dass die private Primär- und die öffentliche Sekundärsammlung sowohl technisch als auch organisatorisch aufeinander abgestimmt sind.

### 2.5.6 Informeller Sektor

Ein in allen EL vorzufindendes Phänomen ist der sog. ‚informelle Sektor‘ in der Abfallwirtschaft [GIZ 2011]. Es handelt sich hierbei um Personen, die ihren Lebensunterhalt außerhalb formeller Beschäftigungsverhältnisse durch Sammlung, Sortierung, Aufbereitung und Verwertung von Abfällen sowie durch Dienstleistungen wie Reinigung von Straßen und Anlagen bestreiten (müssen)<sup>42</sup>. Ihr sozialer Status ist grundsätzlich niedrig. Häufig gehören sie Bevölkerungsgruppen an, die aus ethnischen oder religiösen Gründen marginalisiert sind, oder es sind Zuwanderer, Landflüchtlinge, Arbeitslose, Analphabeten, Ungebildete o.ä., die einen anderen soziokulturellen Hintergrund als die Bevölkerungsmehrheit haben. Sie haben auf den ohnehin begrenzten formellen Arbeitsmärkten keine Chancen und kaum andere Möglichkeiten zur Sicherung ihres Lebensunterhalts [Wehenpohl 2008].

Nach Schätzungen der Weltbank [Medina 2005] sind etwa 1 - 2% der städtischen Bevölkerung in EL als informelle Müll- und Wertstoffsammler tätig. Die Arbeitsbedingungen sind belastend und unhygienisch. Sie sind hohen Unfall- und Gesundheitsrisiken ausgesetzt und leiden unter Gesundheitsproblemen<sup>43</sup> und Verletzungen. Armut und Arbeitslosigkeit, geringes Bildungsniveau und die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen sind Hauptantriebsfeder für das informelle Sammeln und Sortieren von verwertbaren Abfällen [Nas/Rivke 2003]. Die Einkommen sind unzuverlässig. Oft arbeitet die ganze Familie mit, Kinderarbeit mit all ihren negativen Folgen ist die Regel. In Fallstudien der International Labour Organisation (ILO) [zit. In GIZ 2011] in über 30 Städten weltweit wurde Kinderarbeit bei der informellen Wertstoffrückgewinnung festgestellt.

Obwohl der informelle Sektor einen beachtlichen Beitrag zur Entlastung der Entsorgungsanlagen und zur Rohstoffversorgung der Industrie leistet [UNEP 2010a], werden die Wertstoffsammler von den Kommunen i.d.R. als (Image-) störend angesehen und in ihrer Arbeit behindert, von Ordnungskräften schikaniert und aus ihren Sammelquartieren - meist ohne nachhaltigen Erfolg - vertrieben. Dementsprechend herrscht unter ihnen ein tiefes Misstrauen gegenüber Kommunalverwaltungen und Ordnungskräften. Begünstigt wird die negative Einstellung der Verantwortlichen in den Kommunen durch die häufig übliche Kontrolle der Recyclingströme durch zwielichtige Organisationen. Bernstein [2004] spricht von einer ‚Müll-Mafia‘<sup>44</sup>. Die einfachen Wertstoffsammler werden von ihren Anführern und Zwischenhändlern häufig ausgebeutet, indem sie z.B. ihre Wertstoffe nicht zu besseren Preisen an andere Käufer verkaufen dürfen. Die Hintermänner haben erheblichen politischen Einfluss und können nur schwer umgangen werden [Wehenpohl 2008].

Die Einbeziehung der informellen Wertstoffsammler in Abfallwirtschaftskonzepte ist nicht nur aus sozialen Gründen geboten, dies leistet auch einen Beitrag zur Reduzierung der Kosten und zur weitergehenden Verwertung von Abfällen und damit zum Umwelt-, Ressourcen- und

---

42 Bezeichnungen sind waste picker, scavenger, catadores, pepenadores, chiffonniers, récupérateurs [GIZ 2011a]. Ein sehr bekanntes Beispiel sind die sog. ‚Zabaleen‘ in Kairo [vgl. Emcke 2007]

43 V.A. Atemwegs- und Lungen-, Magen-Darm-Erkrankungen, Infektionen, Blutkrankheiten, Geschwüre u.a.m.

44 Knecht [2008] berichtet von einem eskalierenden Konflikt um das Recycling in Managua/Nicaragua.

Klimaschutz. Eine Untersuchung der ökonomischen Effekte der informellen Recyclingtätigkeiten in sechs großen Städten in EL aus verschiedenen Kontinenten kommt zum Ergebnis, dass der informelle Sektor aktiver und effektiver in der Rückgewinnung und Verwertung von Abfällen ist als die formellen Unternehmen [GIZ/CWG 2011].

Neben den entwicklungspolitischen Erwägungen gebieten betriebswirtschaftliche Gründe eine Integration oder Kooperation mit dem informellen Sektor [Pfaff-Simoneit 2006]. Kosteneinsparungen bei der Abfalleinsammlung können kaum erreicht werden, wenn die informellen Sammler weiterhin darauf angewiesen sind, verwertbare Stoffe aus den bereitgestellten Abfällen aussortieren zu müssen. Das Zusammenkehren, manuelle Aufladen und Reinigen der durch die Wertstoffsammler zerwühlten, verstreut auf den Abfallsammelplätzen liegenden Abfälle erhöht den Zeitbedarf für die öffentliche Müllabfuhr und führt zur ineffizienten Nutzung der kommunalen Müllfahrzeuge. Darüber hinaus können durch Einbeziehung der informellen Müllsammler deren Arbeitsbedingungen verbessert und gesicherte Einkommen für diese Bevölkerungsgruppen generiert werden. GIZ [2011] hat zahlreiche Beispiele über Formen der Zusammenarbeit und zur Organisation der Einbeziehung der informellen Wertstoffsammler in kommunale Abfallwirtschaftskonzepte zusammengestellt. Darüber hinaus sind in der Publikation weiterführende Literaturhinweise und Projektberichte zu finden.

Die Tätigkeit der informellen Müllsammler findet zunehmend Anerkennung. V.a. in Lateinamerika haben sie mittlerweile eine bessere Lobby und erreicht, dass ihre Interessen auch in politischen Programmen und in Gesetzen berücksichtigt werden. Die Regierungen von Brasilien und Kolumbien unterstützen den informellen Sektor, was zur Bildung von Interessenvertretungen geführt hat. Diese werden zunehmend respektiert und sind in der Lage, Verträge mit Kommunen, Nachbarschaftsgruppen, privaten Unternehmen o.ä. abzuschließen [Medina 2008]. Für UNEP [2011a] beinhalten die Rückgewinnung und das Recycling von Abfällen das größte Potential zur Entwicklung einer ‚Green Economy‘. Dies gehe einher mit der Einbeziehung und Formalisierung des informellen Sektors in den EL, wodurch zugleich zur Verbesserung der Chancengleichheit und Armutsminderung beigetragen werde.

### **3 HANDLUNGSRAHMEN DER ABFALLWIRTSCHAFT IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN**

#### **3.1 Kernprobleme des globalen Wandels**

Klimawandel und Ressourcenverknappung bilden neben Bodendegradation, Verlust der biologischen Vielfalt, Süßwasserverknappung und -verschmutzung, Übernutzung und Verschmutzung der Weltmeere sowie zunehmenden, anthropogen verursachten Naturkatastrophen die ‚Kernprobleme des globalen Wandels‘ [WBGU 1996]. Dies geht einher mit einer progressiv steigenden Bevölkerungsentwicklung und -verteilung, der umweltbedingten Gefährdung der Welternährung und -gesundheit sowie globalen Entwicklungsdisparitäten. Die Kernprobleme sind vielfach miteinander vernetzt und bedingen sich gegenseitig.

Die Abfallwirtschaft hat mit den meisten dieser Kernprobleme mehr oder weniger starke Überschneidungen und kann durch nachhaltige Bewirtschaftung Beiträge zur Minderung leisten. Sie stellt ‚einen Schlüsselbereich beim Umgang mit natürlichen Ressourcen dar, da sie den Umgang sowohl mit Materialien als auch mit potenziell umweltgefährdenden Stoffen in unserer Gesellschaft wesentlich mitbestimmt. Dabei wird der Begriff der natürlichen Ressourcen nicht nur für Rohstoffe aller Art verwendet, sondern auch für die Senkenfunktion der natürlichen Umwelt für Emissionen und die Aufrechterhaltung ökologisch-bio-geochemischer Systeme‘ [IFEU 2005]. Nachfolgend werden die Bedeutung der Abfallwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung und ihr Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz diskutiert. Dazu werden zunächst der übergeordnete politische Handlungsrahmen und die wesentlichen internationalen Vereinbarungen zur EZ und für den Ressourcen- und Klimaschutz dargestellt. Hieraus werden Handlungshinweise für die Ausrichtung der Abfallwirtschaft in EL abgeleitet.

#### **3.2 Das Leitbild der 'Nachhaltigen Entwicklung'**

Das Leitbild der ‚Nachhaltigen Entwicklung‘ prägt seit etwa Ende der 80er Jahre die entwicklungspolitische Debatte. Bereits 1972 hatte der ‚Club of Rome‘ [Meadows et al. 1972] darauf hingewiesen, dass ein weltweiter Gleichgewichtszustand nur erreicht werden könne, wenn sich die Verhältnisse in den EL grundsätzlich verbessern, absolut und relativ zu den hoch entwickelten IL. Er forderte die Entwicklung einer übergreifenden Strategie zur Lösung der globalen Umwelt- und Ressourcenprobleme und eine langfristige, gemeinsame Planung mit aufeinander abgestimmten internationalen Maßnahmen, wobei den IL die Hauptverantwortung zugewiesen wird. Dazu sei eine radikale Reform institutioneller und politischer Prozesse auf allen Ebenen, einschließlich der Ebene der Weltpolitik, erforderlich. Die von den Vereinten Nationen eingesetzte unabhängige Sachverständigenkommission ‚World Commission on Environment and Development‘ greift diese Erkenntnisse in ihrem als ‚Brundtland-Report‘ bekannt gewordenen Bericht „Our Common Future“ [WCED 1987] auf und stellt die Problembereiche ‚Umwelt‘ und ‚Entwicklung‘ in einen gemeinsamen Kontext.

Darin hat die Kommission erstmals das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung entworfen und eine neue Ära einer umweltgerechten wirtschaftlichen Entwicklung gefordert. Dieser beeinflusste die internationale Debatte über Entwicklungs- und Umweltpolitik maßgeblich. Die Fortsetzung des ressourcenintensiven industriellen Entwicklungspfades sei an die Grenzen der Aufnahmefähigkeit natürlicher Systeme gestoßen und gefährde die natürlichen Lebensgrundlagen. Aufgrund der erreichten Ausdehnung des ökonomischen Systems durch Globalisierung stoße die Verlagerung der Probleme an natürliche und systemische Grenzen. Die lebenserhaltenden Funktionen der Ökosysteme würden irreversibel gestört und damit die Entwicklungschancen künftiger Generationen vermindert (‚intergenerative Gerechtigkeit‘). Die in den Industrieländern erreichten Verbrauchsniveaus natürlicher Ressourcen ließen sich nicht auf die gesamte Erdbevölkerung übertragen, während gleichzeitig die sozialen und wirtschaftlichen Verhältnisse in den EL weiteren Entwicklungsbedarf signalisierten. Aus dieser Grundkonstellation ergeben sich Fragen nach der Entwicklungsgerechtigkeit zwischen den entwickelten Ländern des Nordens und den EL (‚intragenerative Gerechtigkeit‘).

Die im Brundtland-Bericht vorgenommene globale Problemsicht, die Zusammenführung von

Umwelt- und Entwicklungsaspekten und die langfristige Sicherung der Entwicklungsmöglichkeiten durch schonende Nutzung der natürlichen Ressourcen sowie die inter- und intragenerationale Entwicklungsgerechtigkeit bilden die grundlegenden Elemente des heutigen Nachhaltigkeitsverständnisses [Lucas 2007]. Seine Konkretisierung findet es in der Agenda 21 für einzelne Sektoren in Form eines Aktionsprogramms (vgl. Kap. 3.3.1).

### 3.3 Entwicklungspolitischer Handlungsrahmen

Der entwicklungspolitische Handlungsrahmen für die Abfallwirtschaft wird entscheidend durch die ‚Agenda 21‘ von 1992, die ‚Millenniumserklärung der Vereinten Nationen‘ in Verbindung mit dem auf dem Weltgipfel von Johannesburg im Jahr 2002 beschlossenen Aktionsplan vorgegeben. Mit Unterzeichnung und Ratifizierung dieser internationalen Übereinkommen werden diese völkerrechtlich verbindlich und gehen in nationales Recht über. Auch die Bundesregierung richtet ihre Entwicklungspolitik auf die in der Millenniumserklärung formulierten Entwicklungsziele aus und orientiert sich am Leitbild einer globalen nachhaltigen Entwicklung, die sich gleichermaßen in wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit, politischer Stabilität, sozialer Gerechtigkeit und ökologischer Tragfähigkeit ausdrückt [BMZ o.J.].

Während die Agenda 21 sektoral strukturiert ist und sektorale Ziele und Maßnahmen definiert, stellen die Millenniums-Entwicklungsziele sektorübergreifende Ziele dar, die der wachsenden Verelendung, der Benachteiligung von Frauen und der zunehmenden Umweltzerstörung in EL entgegenwirken sollen. Im Folgenden werden - nach einer Darstellung der wesentlichen Inhalte der Vereinbarungen und des Aktionsprogramms - die Bezüge und Beiträge der Abfallwirtschaft zur Erreichung der entwicklungspolitischen Ziele dargestellt.

#### 3.3.1 Vereinbarungen der Konferenz von Rio 1992

Die Konferenz über „Umwelt und Entwicklung“ 1992 in Rio de Janeiro / Brasilien markiert den entscheidenden Meilenstein auf dem Weg zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Der sog. ‚Erdgipfel‘ wurde zum Symbol des neuen Bewusstseins der gemeinsamen Verantwortung für die ‚Eine Welt‘ [BMZ 2002]. Mit dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung ist in Rio erstmals ein umfassender globaler Ansatz für eine internationale Entwicklungs- und Umweltpartnerschaft entwickelt worden, der in der Vereinbarung mehrerer Dokumente<sup>45</sup> als politisch und rechtlich verbindliche Handlungsvorgaben mündete. Die Beschlüsse wurden von mehr als 170 Staaten mitgetragen. Die Konferenz von Rio stellt insofern einen Wendepunkt in der internationalen Entwicklungs- und Umweltpolitik dar. Die Bewahrung der Lebensgrundlagen der Menschen auf der Basis eines nachhaltigen Umgangs mit den natürlichen Ressourcen bildet seither das völkerrechtlich anerkannte Leitbild für die internationale EZ.

Die Rio-Deklaration definiert die wesentlichen Grundsätze, die das Verhältnis der Staaten untereinander sowie das Verhältnis zwischen Staat und Bürger im Bereich Umwelt und Entwicklung bestimmen sollen. In den 27 Prinzipien (Grundsätzen) wird erstmals global das Recht auf nachhaltige Entwicklung verankert. Den Staaten wird das souveräne Recht über ihre Ressourcen zugestanden, sie sind zugleich aber auch zu umweltschonendem Verhalten verpflichtet (Prinzip 2). Als unerlässliche Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung werden u.a. die Bekämpfung der Armut (Prinzip 5) sowie Verringerung und Abbau nicht nachhaltiger Konsum- und Produktionsweisen (Prinzip 8) angeführt. Die Rio-Deklaration betont die besondere Verantwortung der Industrieländer als wesentliche Verursacher für bisher entstandene globale Umweltschäden (Prinzip 7) und propagiert die Anwendung des Verursacher- und des Vorsorgeprinzips (Prinzip 16). Sie verlangt die Integration des Umweltschutzes in alle Politikbereiche (Prinzip 4), die Beteiligung der Öffentlichkeit (Prinzip 10) und eine wirksame Umweltschutzgesetzgebung (Prinzip 11) als wichtige Instrumente für die Umsetzung. Die Staaten sollen durch wissenschaftlichen Austausch, Kapazitätsentwicklung und Technologietransfer kooperieren (Prinzip 9).

Die Agenda 21 ist das in Rio verabschiedete globale Aktionsprogramm für die Umwelt- und

---

45 Rio-Deklaration, Waldgrundsatzerklärung, Agenda 21, Klimarahmenkonvention, Übereinkommen über die biologische Vielfalt – Biodiversitätskonvention sowie die auf die Rio-Konferenz zurückgehende Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung – Desertifikationskonvention - von 1996

Entwicklungspolitik im 21. Jahrhundert. Sie beinhaltet konkrete Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der internationalen Rahmenbedingungen, von Fragen des Handels, der Technologiekoooperation und der finanziellen Unterstützung der Entwicklungsländer bis hin zu Aussagen zu zentralen entwicklungspolitischen Themen wie Armutsbekämpfung, nachhaltiger Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen (Wasser, Boden, Wälder etc.) und Umweltproblemen. Die Wechselwirkung zwischen Umweltsicherheit und Armutsminderung wird herausgestellt: Die wachsende Zerstörung der natürlichen Ressourcen gefährde in dramatischer Weise die wirtschaftliche, soziale und kulturelle Lebensgrundlage v.a. armer Menschen, gleichzeitig zwingt ein Leben in Armut häufig zu einer unumkehrbaren Übernutzung empfindlicher Ökosysteme.

In insgesamt 40 Kapiteln<sup>46</sup> werden alle wesentlichen Politikbereiche einer nachhaltigen Entwicklung behandelt. Unmittelbar mit der Abfallwirtschaft befassen sich die Kapitel 20<sup>47</sup> und 21<sup>48</sup>. Weitere Kapitel haben enge Bezüge zum Sektor, weil Abfälle die Ursache von Umweltproblemen oder das Ergebnis menschlicher Aktivitäten bilden [UNEP 1992]. Als Programmschwerpunkte für die Siedlungsabfallwirtschaft benennt Kapitel 21:

- Förderung der Abfallvermeidung und -verwertung
- Maximierung der umweltverträglichen Wiederverwendung und Verwertung
- Förderung einer umweltverträglichen Abfallbehandlung und -beseitigung
- Ausweitung der Abfallentsorgung

Kapitel 20, das sich mit gefährlichen Abfällen befasst, benennt als Programmschwerpunkte:

- Förderung der Vermeidung gefährlicher Abfälle
- Förderung und Stärkung der institutionellen Kapazitäten
- Förderung und Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit zur Regelung der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle
- Verhinderung des illegalen internationalen Handels mit gefährlichen Abfällen

Für diese Programmbereiche werden Ziele, Maßnahmen und Instrumente zur Umsetzung aufgeführt. Sie werden im Rahmen dieser Arbeit in Kap. 7 aufgegriffen und operationalisiert.

Die in Rio vereinbarten Konventionen zum Klimaschutz, zur Biodiversität sowie zur Desertifikation<sup>49</sup> beinhalten für die ratifizierenden Länder Verpflichtungen, die sich von Land zu Land, meist bezogen auf die Wirtschaftsleistung, unterscheiden. Auch für die EZ bilden sie ein rechtliches Bezugssystem für die Zusammenarbeit mit den EL. Die Abwehr globaler Umweltgefahren ist damit neben den Beiträgen zur wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung der Partnerländer zu einer zusätzlichen Aufgabe für die Entwicklungspolitik geworden [BMZ 2002]. Während die Biodiversitäts- und die Desertifikations-Konvention allenfalls indirekt Bedeutung für die Abfallwirtschaft haben, bildet die Klimarahmenkonvention eine zentrale Grundlage für den Sektor<sup>50</sup>. Sie wurde bislang von mehr als 180 Staaten ratifiziert<sup>51</sup> und bildet in Verbindung mit dem Kyoto-Protokoll sowie den Verhandlungen für ein Nachfolgeregime den klimapolitischen Handlungsrahmen (s. Kap. 3.4).

### 3.3.2 Millenniumserklärung der Vereinten Nationen

In der Folge zur Rio-Konferenz wurden verschiedene Gremien und Arbeitsorgane gegründet, weitere Konferenzen durchgeführt und Konventionen verabschiedet mit dem Ziel einer global nachhaltigen Entwicklung<sup>52</sup>. In seinem Bericht ‚Shaping the 21st Century‘ von 1996 hat der Entwicklungshilfesausschuss DAC der OECD die Ergebnisse der internationalen Konferenzen der 90er Jahre zu sieben Entwicklungszielen für das 21. Jahrhundert zusammengefasst. Diese hat die internationale Staatengemeinschaft beim Millenniumsgipfel der Vereinten Nati-

---

46 Eine gute Übersicht sowie Links zu den Originaldokumenten finden sich in: [Weißbach Stiftung o.J.]: Lexikon der Nachhaltigkeit, [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/agenda\\_21\\_dokumente\\_985.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/agenda_21_dokumente_985.htm)

47 Umweltverträgliche Entsorgung gewerblicher Abfälle - gefährliche Abfälle

48 Umweltverträglicher Umgang mit festen Abfällen - dies umfasst i.W. die Siedlungsabfälle im Jahr 1996 beschlossen

50 United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC

51 Stand Ende 2008, vgl. [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/klimaschutzkonvention\\_903.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/klimaschutzkonvention_903.htm)

52 gute Übersicht siehe [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/geschichte\\_10/Von\\_Rio\\_nach\\_Johannesburg\\_49](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/geschichte_10/Von_Rio_nach_Johannesburg_49)

onen im September 2000 bestätigt sowie weitere Vereinbarungen (s.u.) getroffen. Die von 189 Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen verabschiedete sog. ‚Millenniumserklärung‘ enthält einen Katalog grundsätzlicher, verpflichtender Zielsetzungen für alle UN-Mitgliedstaaten. Armutsbekämpfung, Friedenserhaltung und Umweltschutz wurden als die wichtigsten Ziele der internationalen Gemeinschaft bestätigt. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf dem Kampf gegen die extreme Armut. Zur Umsetzung wurde eine Liste mit internationalen Entwicklungszielen, die ‚MDG – Millennium Development Goals‘ [BMZ o.J.] erarbeitet.

Die Ziele 1 - 7 fordern Maßnahmen von den EL selbst: Sie müssen v.a. finanzielle Mittel für Arme einsetzen, Gleichberechtigung und demokratische Prozesse fördern und die Korruption bekämpfen. Ziel 8 richtet sich an die IL: Sie sollen mehr Mittel für eine qualitativ bessere Unterstützung der EL bereit stellen, Schulden wirksam erlassen, Regierungen unterstützen, die die Armut bekämpfen, und Handelshemmnisse abbauen. Die MDG werden durch 21 Zielvorgaben und 60 Indikatoren konkretisiert. 1990 bildet das Basis- und 2015 das Zieljahr. Für die Geberländer stellen die Millenniumserklärung und die darin formulierten Entwicklungsziele den zentralen Referenzrahmen für die Gestaltung ihrer EZ dar [BMZ o.J.].

Obwohl die Abfallwirtschaft in der Millenniumserklärung nicht explizit genannt wird, leistet sie zu mehreren Zielen Beiträge, v.a. zu den umwelt- und gesundheitsbezogenen Zielen, die der Bevölkerung insgesamt zugutekommen, sowie zur Verbesserung der Lebens- und Arbeitssituation der informell in der Abfallwirtschaft tätigen Personen [vgl. Coad/CWG 2006; Gonzenbach/Coad 2007].

### **3.3.3 Aktionsplan von Johannesburg**

Auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg hat die internationale Gemeinschaft ihre auf der Konferenz von Rio eingegangene Verpflichtung zur Umsetzung der Agenda 21 und zur nachhaltigen Entwicklung bekräftigt. Die Teilnehmer verabschiedeten einen Aktionsplan und bekannten sich zur Verwirklichung der international vereinbarten Entwicklungsziele: Beseitigung der Armut, Veränderung nicht nachhaltiger Konsumgewohnheiten und Produktionsweisen, sowie Schutz und Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcenbasis wurden als Ziele einer nachhaltigen Entwicklung bestätigt (cf. 11 in [VN 2002]).

Inhaltlich stellen die Ergebnisse von Johannesburg weitgehend eine Wiederholung der Beschlüsse von Rio und der Agenda 21 dar, ergänzt um Komponenten der Millenniumserklärung. Durch Zielvorgaben, Zeitpläne und Partnerschaften sollen der Zugang zur Deckung von Grundbedürfnissen wie sauberes Wasser, Sanitärversorgung, angemessener Wohnraum, Energie, Gesundheitsversorgung und Ernährungssicherheit sowie Schutz der biologischen Vielfalt rasch ausgeweitet werden. Als Instrumente und Maßnahmen dienen die Bereitstellung von Finanzmitteln, Öffnung der Märkte, Kapazitätsaufbau, Einsatz moderner Technologien und Technologietransfer, Erschließung der menschlichen Ressourcen sowie Bildung und Ausbildung [cf. 18 VN 2002]. Besondere Relevanz für die Abfallwirtschaft haben

- Kap. III. Veränderung nicht nachhaltiger Konsumgewohnheiten und Produktionsweisen
- Kap. VI. Gesundheit und nachhaltige Entwicklung

Der Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung soll durch erhöhte Effizienz und Nachhaltigkeit bei der Ressourcenverwendung und bei den Produktionsabläufen sowie durch die Verringerung der Ressourcendegradation, der Verschmutzung und der Abfallproduktion angegangen und gegebenenfalls aufgelöst werden (Kap. III cf. 15). Dazu sollen Politiken, Programme, Aktivitäten und Instrumente entwickelt, Maßnahmen durchgeführt und Überwachungs- und Bewertungsmechanismen eingeführt werden. Abfälle sollen vermieden und das Abfallaufkommen minimiert werden, indem Reststoffe in möglichst großem Umfang wiederverwendet und verwertet werden. Durch Anwendung alternativer umweltschonender Materialien sollen die schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt so gering wie möglich gehalten und die Ressourceneffizienz erhöht werden. Umweltverträgliche Entsorgungseinrichtungen einschließlich Technologien zur Energiegewinnung aus Abfällen sollen geschaffen, Kleininitiativen zur Wiederverwertung von Abfällen, die die städtische und ländliche Abfallwirtschaft unterstützen und Möglichkeiten zum Einkommenserwerb bieten,

unterstützt werden. Den EL soll dazu finanzielle, technische und sonstige Hilfe gewährt werden (Kap. III cf. 22). Darüber hinaus werden Aspekte der Chemikaliensicherheit und der Entsorgung gefährlicher Abfälle behandelt und Maßnahmen beschrieben.

Kapitel VI stellt die Bedeutung der Gesundheit für die nachhaltige Entwicklung heraus. Der Aktionsplan unterstreicht, dass sich die Ziele nicht erreichen lassen, solange auszehrende Krankheiten verbreitet sind. Die Relevanz der Funktionsfähigkeit der Ver- und Entsorgungssysteme für den Gesundheitsschutz wird durch die Forderung unterstrichen, Technologien zu übertragen und zu verbreiten, mit deren Hilfe die Versorgung mit sauberem Trinkwasser, die Abwasserentsorgung und die Abfallbewirtschaftung sichergestellt werden können.

### 3.4 Klimapolitischer Handlungsrahmen

Obwohl bereits auf der Konferenz von Rio im Jahr 1992 internationale Vereinbarungen zu den Themen 'Rohstoffverknappung' und 'Klimawandel' - neben anderen Themen der nachhaltigen Entwicklung - getroffen wurden, haben viele Staaten erst viel später nationale Nachhaltigkeitsstrategien vorgelegt<sup>53</sup>. Die Themen sind erst durch die Verknappung der Rohstoffe und die damit verbundenen Preissteigerungen etwa ab dem Jahr 2000 verstärkt ins öffentliche Bewusstsein gerückt. Für den Klimaschutz bildete die Veröffentlichung des 3. Sachstandsberichts des IPCC [2001] einen Wendepunkt<sup>54</sup>. Darin wurde erstmals dargestellt, dass die anthropogen verursachten THG-Emissionen für den größten Teil der Erderwärmung verantwortlich sind. In der Folge verstärkte sich die öffentliche und politische Aufmerksamkeit für das Thema, v.a. auch aufgrund des Ringens um die Inkraftsetzung des Kyoto-Protokolls.

Ressourcenschonung und Klimaschutz bilden in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (BR) unter dem Kriterium der ‚Generationengerechtigkeit‘<sup>55</sup> vorrangige Ziele [BR 2002]. Sie bekennt sich darin zu ihrer internationalen Verantwortung für eine global nachhaltige Entwicklung durch ein ambitioniertes Klimaschutzprogramm und Anstrengungen für einen schonenden, effizienten Umgang mit knappen Ressourcen. Sie betont die Notwendigkeit der internationalen und europäischen Zusammenarbeit und fordert neben der finanziellen und wirtschaftlichen auch eine 'ökologische Globalisierung'. Die Einbindung der EL und TL ist für sie Voraussetzung, dass die internationalen Anstrengungen zum Ressourcen- und Klimaschutz erfolgreich sein können.

Für die EU-Kommission sind die Themen ‚Klimawandel‘ und ‚Natürliche Ressourcen und Abfallwirtschaft‘ ‚übergeordnete Zielsetzungen‘<sup>56</sup> des 6. Umweltaktionsprogramms für die Jahre 2002 – 2012 [EU 2002]. Dieses bildet ein wichtiges Instrument zur Umsetzung der EU Nachhaltigkeitsstrategie von 2001. Zwei der insgesamt sieben ‚Thematischen Strategien‘ des Programms sind für die Abfallwirtschaft bedeutsam: ‚Abfallvermeidung und Recycling‘ [EU 2005a] sowie ‚Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen‘ [EU 2005b]<sup>57</sup>. Sie sind eng miteinander verknüpft: Abfallvermeidung und Recycling steigern die Ressourceneffizienz und mildern die negativen Auswirkungen der Nutzung natürlicher Ressourcen auf die Umwelt. Die thematischen Strategien enthalten zwar keine unmittelbaren Maßnahmen bezüglich der EL, sind jedoch wegen der inhaltlich-programmatischen Aussagen von hoher Bedeutung. Als Ziele nennt die Kommission u.a. die Verbesserung der Ressourceneffizienz sowie die Entkopplung von Abfallaufkommen und Wirtschaftswachstum. In ihrer Ende 2008 vorgelegten ‚Strategie für nichtenergetische Rohstoffe‘ [EC 2008] wird die Bedeutung des Recyclings für die Minderung der Exportabhängigkeit betont. Sie hat dabei v.a. Altprodukte im Visier, die wertvolle seltene Metalle enthalten und der europäischen Wirtschaft durch den Export verloren gehen. In den Zielländern fehlen zumeist die technischen Möglichkeiten und die Kenntnisse, damit diese Stoffe ohne schädliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit zurückgewonnen werden. Gegenüber den EL will die Kommission darauf hinarbeiten, dass die

---

53 in Deutschland im Jahr 2002 [BR 2002]

54 Das IPCC hat bislang vier sog. ‚Sachstandsberichte‘ vorgelegt (zuletzt 2007), ein fünfter Bericht ist in Vorbereitung. Im ersten Sachstandsbericht von 1990 wird die Klimaerwärmung noch hauptsächlich auf einen natürlichen Treibhauseffekt zurückgeführt.

55 Weitere Aspekte sind ‚Lebensqualität‘, ‚Sozialer Zusammenhalt‘ und ‚Internationale Verantwortung‘

56 neben den Themen ‚Gesundheit und Lebensqualität‘ und ‚Natur und biologische Vielfalt‘

57 weitere thematische Strategien: Luftreinhaltung, Meeresschutz, Pestizide, Bodenschutz, städtische Umwelt

Behandlung von Abfällen, die aus der EU in diese Länder exportiert werden, unter fairen und nachhaltigen Bedingungen erfolgt.

### 3.4.1 Klimarahmenkonvention

Die Klimarahmenkonvention (KRK) [UN 1992] ist der erste und bedeutendste internationale Vertrag zum Klimaschutz. Durch Stabilisierung der anthropogenen THG-Emissionen soll den globalen Klimaänderungen vorgebeugt werden. Höchstes Gremium der KRK ist die ‚Conference of the Parties‘ (COP)<sup>58</sup>, die für die Überprüfung der Durchführung zuständig ist und Beschlüsse fasst. Administrativ wird sie vom in Bonn angesiedelten Klimasekretariat der Vereinten Nationen unterstützt. Die in Annex 1 der Konvention genannten Staaten - i.e. im Wesentlichen die Mitgliedsstaaten der OECD - verpflichten sich

- die Entwicklung, Anwendung und Verbreitung - einschließlich Weitergabe - von Technologien, Methoden und Verfahren zur Bekämpfung, Verringerung oder Verhinderung anthropogener Emissionen in wichtigen Bereichen zu fördern (Art. 4.1c)
- neue, zusätzliche Finanzmittel bereitzustellen zur Deckung der vereinbarten vollen Kosten, die den EL bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen entstehen<sup>59</sup> (Art. 4.3)
- umweltfreundliche Technologien und Know-how weiterzugeben oder den Zugang dazu zu fördern, zu erleichtern und zu finanzieren sowie die im Land vorhandenen Fähigkeiten und Technologien der Vertragsparteien zu entwickeln und zu stärken, um es ihnen zu ermöglichen, die Bestimmungen des Übereinkommens durchzuführen (Art. 4.5)

Den EL wird zugestanden, Reduktionsverpflichtungen nur in dem Maße zu erfüllen, wie die entwickelten Länder ihren finanziellen Verpflichtungen nachkommen und umweltfreundliche Technologie weitergeben. Es wird anerkannt, dass wirtschaftliche und soziale Entwicklung sowie die Beseitigung der Armut für die EL erste und dringlichste Anliegen sind (Art. 4.7).

Die KRK bildet die erste und bislang einzige internationale rechtsverbindliche Grundlage im Sinne der vom Club of Rome geforderten 'langfristigen gemeinsamen Planung mit aufeinander abgestimmten internationalen Maßnahmen' [Meadows 1972]. Sie bezieht die Aspekte 'Umwelt' und 'Entwicklung' implizit ein. Trotz der klaren Formulierungen und Zuweisung von Verantwortlichkeiten sind die Verhandlungen zu ihrer Ausgestaltung zäh verlaufen. Nachfolgend werden die Vereinbarungen zur Umsetzung und der Verhandlungsstand skizziert.

### 3.4.2 Kyoto-Protokoll

Ein Meilenstein im Zuge der internationalen Klimaschutzverhandlungen war das auf der COP 3 im Dezember 1997 verabschiedete<sup>60</sup> Kyoto-Protokoll (KP), in dem sich die internationale Staatengemeinschaft erstmals auf verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz geeinigt hat. Dabei gilt das Prinzip der 'gemeinsamen, aber differenzierten Verantwortung entsprechend der jeweiligen Fähigkeiten der Mitgliedsstaaten' (Art. 10 KP). Da der Großteil der weltweiten THG-Emissionen von den IL verursacht wurde, nehmen die KRK und das KP diese Länder einschließlich der ehemaligen Ostblockstaaten besonders in die Verantwortung. Die in Annex B des Protokolls aufgeführten Vertragsstaaten haben sich verpflichtet, ihre Emissionen an sechs THG bzw. THG-Gruppen<sup>61</sup> bis zum Jahre 2012 um mindestens 5% unter das Niveau von 1990 zu senken<sup>62</sup>. Dafür wurde ein umfassendes System zur Steuerung der Emissionsmengen geschaffen. Für jede emittierte Tonne eines Treibhausgases – gemessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-äqu.) – muss ein international anerkanntes Emissionszertifikat vorgelegt werden. Die erste Verpflichtungsperi-

---

58 Vertragsstaatenkonferenz (VSK)

59 d.h. über die ODA-Mittel der EZ hinausgehende Finanzmittel

60 Das Protokoll konnte erst im Februar 2005 in Kraft treten, da dafür die Ratifizierung von mindestens 55 Staaten, die zusammengerechnet mehr als 55 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 1990 verursachten, erforderlich war. Die USA und Russland als größte Emittenten verweigerten lange die Zustimmung.

61 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) - "Lachgas", Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)

62 Art. 3 Abs. 1 KP; die Europäische Union hat eine Reduktion um 8% während der Jahre 2008 – 2012 gegenüber dem Niveau von 1990 zugesagt. Deutschland hat sich verpflichtet, die THG im gleichen Zeitraum um 21 % (bezogen auf 1990) zu reduzieren. Im Jahr 2007 hat die EU nachgelegt und sich einseitig zu einer Reduktion der THG-Emissionen um 20% gegenüber dem Niveau von 1990 verpflichtet. Sofern andere entwickelte Länder sich zu ähnlichen Reduktionen verpflichten, ist sie sogar zu einer Reduktion um 30% bereit.

ode umfasst die Jahre 2008 – 2012<sup>63</sup>. Für Staaten, die nicht im entsprechenden Umfang Emissionszertifikate vorlegen, sind fest definierte Sanktionen vorgesehen.

Zur Umsetzung der Reduktionsverpflichtungen können neben Minderungsmaßnahmen im eigenen Land die 'Kyoto-Mechanismen' oder ‚flexiblen Instrumente‘ genutzt werden:

- Weltweiter Handel mit Treibhausgas-Emissionsrechten (Emissionshandel, Art. 4 KP)
- Minderungsmaßnahmen in EL (Clean Development Mechanism – CDM, Art. 12 KP)
- Projektbezogene Kooperation mit Industriestaaten (Joint Implementation - JI Art. 6 KP)

Die Kyoto-Mechanismen erlauben es den IL resp. den verpflichteten Unternehmen, einen Teil ihrer Reduktionsverpflichtungen im Ausland zu erbringen und untereinander mit Emissionsrechten zu handeln. Mit diesem Instrument sollen finanzielle Mittel dorthin gelenkt werden, wo die THG-Vermeidung am kostengünstigsten ist. Erreicht ein Unternehmen seine erforderlichen Emissionsreduktionen durch eigene THG-Minderungsmaßnahmen, kann es nicht benötigte Zertifikate am Markt verkaufen. Alternativ kann es Zertifikate am Markt zukaufen, falls eigene Minderungsmaßnahmen teurer würden (Emissionshandel). Während am JI nur die in Annex I der KRK aufgeführten Staaten teilnehmen dürfen, regelt der CDM die Kooperation zwischen IL (Annex I Staat) und EL (Non-Annex I Staat). Auf das Instrument JI wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen. Das Grundmuster ist dem des CDM vergleichbar [vgl. UBA/DEHSt 2009]. Beide Mechanismen unterscheiden sich i.W. in der Art der beteiligten Staaten und den für die Prüfung und Genehmigung zuständigen Gremien beim UN Klimareferat.

### 3.4.3 Clean Development Mechanism

Für die Durchführung von Projekten in EL gilt der CDM. Das KP nennt zwei gleichberechtigte Ziele (Art. 12 Abs. 2 KP): Der Transfer von Technologie soll die EL (Gastland) beim Aufbau einer klimafreundlichen Wirtschaftsweise unterstützen und zur nachhaltigen Entwicklung des Gastlandes beitragen. In den Übereinkommen von Marrakesch<sup>64</sup> sind die Modalitäten und Verfahren für die Durchführung von CDM-Projekten festgelegt. Die Emissionsreduktionen müssen „real, messbar und von Dauer“ sowie „zusätzlich“ sein. Projekte, die auch ohne die zusätzlichen Einnahmen aus dem CDM realisierbar wären, sind nicht zulässig.

Mit bislang über 8.100 Projekten<sup>65</sup>, hat der CDM ganz erhebliche klimapolitische Bedeutung zur Etablierung eines globalen Kohlenstoffmarktes erlangt [Schneider 2007] und THG-Minderungen in der Größenordnung der jährlichen Emissionen Deutschlands bewirkt. Auf diese Weise wurden Investitionen in Höhe von mehreren Mrd. EUR in EL realisiert. Die EL kritisieren jedoch, dass die Einnahmen aus dem CDM nicht verlässlich sind. Das Genehmigungsverfahren verursacht hohe Transaktionskosten, Einnahmen werden aber erst erzielt, wenn das Vorhaben auch tatsächlich Emissionseinsparungen generiert. Die EL sehen hierin einen Widerspruch zur Zusage der IL in der KRK, dass ‚der Fluss der Finanzmittel angemessen und berechenbar‘ (Art. 4 Abs. 3 KRK) sein soll, um Klimaschutzprojekte durchzuführen.

Kritisiert werden ferner die Schwerfälligkeit des CDM, die aufwändigen Verfahren und unübersichtlichen Regelungen. Der CDM hat eine solche Komplexität erreicht, dass die hohen prozeduralen und institutionellen Anforderungen abschreckend auf Projektträger, Entwickler und Auditoren wirken<sup>66</sup> [McKinsey 2009b]. Insbesondere der Aufwand zum Nachweis der Zusätzlichkeit führt zu zahlreichen Rückfragen und verzögert die Projektimplementierung<sup>67</sup> [IGES 2010]. Dies liegt daran, dass der CDM in hohem Maße über projektbezogene Einzelentscheidungen und Regeln entwickelt wurde. Fortschritte auf der einen Seite wurden erkaufte durch eine zunehmende Anzahl und Unübersichtlichkeit von Regeln auf der anderen Seite [Schröder 2010].

---

63 zur Zukunft des KP nach 2012 s. Kap. 3.4.4

64 'Marrakesh-Accords', die 2001 durch die COP 7 beschlossen und in Kraft gesetzt wurden

65 Stand Ende März 2012 [UNEP 2012]; davon in der Validierung: rd. 3.100, registriert ca. 3.300 Projekte

66 Auswertungen zu Verfahrensdauern, Gründen für Verzögerungen und Ablehnungen sowie Performance der CDM-Projekte s. [IGES 2010]

67 Schneider [2007] schätzt, dass bei 40% der registrierten Projekte die Zusätzlichkeit unwahrscheinlich oder fragwürdig ist. Zahlreiche Evaluierungen durchgeführter Projekte kamen zum Ergebnis, dass die CDM-Vorhaben nur unzureichend zum Ziel der nachhaltigen Entwicklung beitragen.

Die fachliche Kritik zielt auf die fehlende wirksame Prüfung der ökologischen Integrität vieler Vorhaben und deren Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung [Sterk 2008]. Kritisiert wird ferner die Konzentration auf Großprojekte [Schneider 2007]. Aufgrund der hohen Transaktionskosten und Risiken sind für private Investoren nur größere Vorhaben in Ländern mit einem stabilen Investitionsumfeld von Interesse [Ott et al. 2009]. V.a. an den südlich der Sahara gelegenen afrikanischen Ländern ist der CDM bisher weitgehend vorbeigegangen. Auch schaffe ein projektbasierter Ansatz kaum Anreize für sektorale Transformationen, so dass die CDM-Projekte zumeist isolierte lokale Anstrengungen mit geringer Breitenwirkung darstellen.

Zur Weiterentwicklung der CDM werden zahlreiche Reformvorschläge diskutiert. Dazu wurden die Einführung von Positiv-/Negativlisten für Projekttypen, die Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren und standardisierten Baselines, Vereinfachungen zum Nachweis der Zusatzlichkeit u.a.m. vorgeschlagen [McKinsey 2009b]. Ferner wurde die Bündelung von Maßnahmen bei einem Projektträger zu sog. ‚PoA - Programme of Activities‘ zugelassen, was am ehesten mit einem programmatischen CDM<sup>68</sup> beschrieben werden kann [UNFCCC 2009]. Ziel ist es, auch kleinformartige Maßnahmen als CDM- oder JI-Projekte zu registrieren, um substantielle Emissionsminderungen zu erreichen, ohne jedem einzelnen Projekt die vollen Transaktionskosten der Registrierung bei CDM bzw. JI aufzubürden [Neufeld 2011].

### 3.4.4 Zukunft des Kyoto-Protokolls und des CDM

Gerade noch rechtzeitig vor Ablauf der ersten Verpflichtungsperiode wurde auf der COP 17<sup>68</sup> eine zweite Verpflichtungsperiode des KP und der flexiblen Mechanismen beschlossen. Sie beginnt im Januar 2013 und soll fünf oder acht Jahre dauern. Eine Entscheidung hierzu ist auf der nächsten COP vorgesehen. Mit diesem Beschluss ist der Fortbestand zwar prinzipiell abgesichert. Für die Umsetzung ist jedoch die Nachfrage nach Zertifikaten entscheidend, die wiederum von den eingegangenen Emissionsminderungsverpflichtungen der teilnehmenden Staaten getragen wird. Globale Ziele für die zweite Periode des KP wurden bislang nicht vereinbart. Diese sollen 2012 ausgehandelt werden, wobei als Grundlage die seit der COP 16 in Kopenhagen gemachten freiwilligen Minderungszusagen gelten. Die Vergleichbarkeit dieser Zusagen ist jedoch schwierig. Das neue Abkommen soll zudem erst ab 2020 wirksam werden, bis dahin gelten nur die unverbindlichen Zusagen aus Kopenhagen und Cancún. Der Kreis der Staaten mit verbindlichen Minderungszielen beschränkt sich bislang auf die EU, die Schweiz, Norwegen, Australien und Neuseeland und wenige weitere Länder. Die EU-Nachfrage alleine jedoch genügt auf Dauer nicht, um den Markt anzutreiben. Außerhalb des EU-Emissionshandels ist die Nachfrage nach Emissionszertifikaten begrenzt<sup>69</sup>.

Die EU hat entschieden, Zertifikate aus Projekten, die nach 2012 registriert werden, im Rahmen des EU-ETS<sup>70</sup> nur noch zuzulassen, wenn diese in den LDC durchgeführt werden. Die Vereinbarungen von Durban erfüllen aus Sicht der EU nicht die Anforderungen an ein internationales Post-2012-Abkommen im Sinne der EU-Emissionshandelsrichtlinie hinsichtlich eines ‚effort sharing‘ zwischen IL und EL. Sie ist daher nicht zur Änderung ihrer Zulässigkeitsregeln für Zertifikats-Importe in das EU-ETS bereit [EC 2012]. Damit soll mehr Druck auf die weiter entwickelten EL gemacht werden, eigene Anstrengungen zur THG-Minderung in ihren Ländern umzusetzen.

Der CDM hat damit z.Zt. nur durch den EU-Emissionshandel eine verbindliche Perspektive und wird in der näheren Zukunft auf LDC beschränkt sein. Forth [2011] sieht zwei Szenarien:

- Fragmentierung und Zerfall des Kohlenstoffmarktes: Die Nutzung unilateraler Mechanismen wird wahrscheinlicher und der einheitliche Kohlenstoffmarkt kommt zum Erliegen. Entstehende regionale Emissionshandelssysteme führen zu einer Vielfalt von Regelungen und sich sektoral und regional überlagernden Märkten.
- Pragmatisches Handeln einer ausreichend großen Gruppe von IL: Die Staaten haben

---

68 Diese fand vom 28. November bis 9. Dezember 2011 in Durban/Südafrika statt.

69 Einige Länder, v.a. Australien, haben Gesetze für die Implementierung von Emissionshandelssystemen verabschiedet. Südkorea plant die Einführung für 2015. China entwickelt Pilotmaßnahmen, einige Bundesstaaten in großen Ländern wie Rio de Janeiro/Brasilien oder Kalifornien/USA planen eigene Systeme.

70 EU Emissionshandelssystem/EU Emission-Trading-System

Interesse an der Sicherung des Kohlenstoffmarkts, treiben die CDM-Reform voran und erkennen die UN-Institutionen an; neue Instrumente und reformierter CDM.

Beide Entwicklungen sind derzeit zu beobachten. Für Karcher [2012] hat sich letztlich die Erkenntnis durchgesetzt, dass Marktansätze einen wichtigen Beitrag leisten können und müssen. Ebenso sei klar, dass die vorhandenen Mechanismen der Optimierung bedürfen.

Der angestoßene CDM-Reformprozess zielt auf eine verbesserte Anwendbarkeit durch vereinfachte Anforderungen und Verfahren ab. Zu den Beschlüssen von Durban und Arbeitsaufträgen an den CDM Exekutivrat zählten die Einführung von Wesentlichkeitsschwellen bei der Berücksichtigung von Emissionsquellen (Materiality) und eine insgesamt effizientere Gestaltung des Genehmigungsverfahrens. Ferner soll weiter an der Standardisierung von Referenzszenarien (Baseline) und an vereinfachten Zusätzlichkeitsprüfungen gearbeitet werden. Eine weitere Maßgabe war, Maßnahmen für eine ausgewogenere regionale Verteilung des CDM zu ergreifen. Hiervon sollen insbesondere die LDC und Afrika profitieren.

Ferner wurde der Weg für die Ausarbeitung eines Neuen Marktmechanismus auf Grundlage der mit dem ‚Bali Action Plan [UNFCCC 2007] beschlossenen ‚kooperativen sektoralen Ansätze und sektorspezifischen Maßnahmen‘ sowie ‚NAMA – Nationally Appropriate Mitigation Actions‘ geebnet. Mit den Beschlüssen zu neuen Marktmechanismen besteht die Chance, ein breitenwirksames marktbasierendes Instrumentarium zu entwickeln, das über die Grenzen der bisher rein projektbasierten Marktmechanismen hinausgeht und ganze Sektoren einer Volkswirtschaft abdecken kann. Nachfolgend werden diese Ansätze erläutert.

### **3.4.5 NAMA und kooperative sektorale Ansätze**

Die bisherigen Vereinbarungen zum Klimaschutz und die in der KRK von den Annex I Staaten eingegangenen Reduktionsverpflichtungen reichen nach gegenwärtigem Kenntnisstand bei Weitem nicht aus, um den Klimawandel in vertretbaren, ungefährlichen Grenzen zu halten. Nach Einschätzung des IPCC [2007b] darf der Temperaturanstieg 2°C nicht übersteigen, um Rückkopplungseffekte oder sog. ‚Kipp-Punkte‘<sup>71</sup> zu überschreiten, die zu drastischen, z.T. abrupten Klimaänderungen führen können. In den auf der COP 16 verabschiedeten ‚Cancun Agreements‘ [UNFCCC 2010b] benennt die Staatengemeinschaft das 2°Ziel. Zur Einhaltung muss der globale Ausstoß bis 2050 weltweit um 50 – 85% reduziert werden, kurzfristig sind Reduktionen von 15 – 30% bis zum Jahr 2020 erforderlich [IPCC 2007a].

Die Reduktionsziele können ohne substantielle Beteiligung der EL nicht erreicht werden. Aufgrund nachholender Industrialisierung und Bevölkerungsentwicklung werden sie bereits im Jahr 2025 für die Hälfte der weltweiten THG-Emissionen verantwortlich sein. Gleichwohl liegen ihre Pro-Kopf-Emissionen auch dann noch immer weit unterhalb derer der IL. Angesichts der Dimension der Herausforderungen werden verstärkt Forderungen nach strukturbildenden Wirkungen und systemischen Ansätzen in der internationalen politischen und fachlichen Diskussion erhoben. Mit der bisherigen Förderung von Einzelprojekten und den schwerfälligen Kyoto-Mechanismen können die notwendigen Mittel nicht innerhalb der für erforderlich gehaltenen kurzen Zeiträume aufgebracht werden.

Mit dem Instrument der ‚NAMA‘ sollen den EL Möglichkeiten eröffnet werden, stärkere eigene, freiwillige Beiträge zur Emissionsreduktion zu leisten [Ott et al. 2009], die durch den Einsatz von Technologie, Finanzierung und Capacity Building unterstützt und ermöglicht werden sollen. Der genaue Charakter ist derzeit allerdings noch wenig präzisiert. Eine Untersuchung von 16 ausgewählten Pilot-NAMA zeigt, dass sich das Instrument noch in einer frühen Entwicklungsphase befindet. Die Vorschläge reichen von ersten Skizzen bis zu umfassenden Studien. Dennoch ist bereits erkennbar, dass die meisten NAMA auf eine grundlegende Transformation des jeweiligen Sektors abzielen. Dies eröffnet neue Möglichkeiten einer strategischen Kooperation zwischen IL und EL [Wang-Helmreich et al. 2011]. Sterk [2010] erwartet, dass letztendlich jede Maßnahme zulässig sein wird, die zu Emissionsreduktionen führt.

---

71 z.B.durch Freiwerden von Kohlendioxid durch die Erwärmung der Ozeane; Freiwerden von Methan durch Auftauen von Permafrostböden; verstärkte Aufnahme von Wärmestrahlung von zuvor mit Eis bedeckten Flächen, Änderung oder Abreißen von Meeresströmungen etc.

Klärungsbedarf besteht hinsichtlich des Rahmens und des Umfangs der Maßnahmen, der Kriterien für deren Registrierung und Unterstützung, der Methoden zur Bestimmung der zusätzlichen Kosten, der Zuständigkeiten, der Verfahren und Methoden für die Messung, Berichterstattung und Überprüfung der Wirkungen<sup>72</sup> sowie der Unterstützung [UNFCCC 2009].

Diskutiert werden NAMA sowohl zur Fortentwicklung des CDM als Instrument des Emissionshandels wie auch als Grundlage für eine weitergehende Unterstützung durch die IL. Für die Implementierung von NAMA werden drei Formen unterschieden:

- von EL aus eigener Kraft finanzierte Maßnahmen („Unilateral NAMA“)
- von IL unterstützte („Supported NAMA“)
- durch den Verkauf von Zertifikaten finanzierte Maßnahmen („Credited NAMA“)

Während die IL die Mobilisierung privater Mittel über die Kohlenstoffmärkte für Minderungsmaßnahmen und die Nutzung von Mitteln im Rahmen der EZ bevorzugen, erwarten die EL zusätzliche öffentliche Mittel von den IL, die über die Zusagen im Rahmen der klassischen EZ hinausgehen.

NAMA haben das Potential, sich langfristig zu einem Standardrahmen für Klimaschutzprojekte mit EL zu etablieren. Sie können den zentralen Ansatzpunkt für einen systemischen Umgang zwischen IL und EL bei der Zusammenarbeit im Klimaschutz bilden. Die EU sieht darin Möglichkeiten als nicht-marktbasiertes Instrument u.a. zur Technologiekooperation und für länderbezogene Minderungsstrategien auch in EL [EU 2009]. Andere Vorschläge beinhalten die Entwicklung von sektorbezogenen Programmen und Politiken, sektorspezifischen Normen u.a.m. und weisen damit Parallelen zu NAMA auf.

Sektorale Ansätze werden v.a. für Sektoren mit einer vergleichsweise homogenen Struktur und überschaubaren Anzahl von Anlagen, z.B. für die Energieerzeugung, Zement-, Stahl- oder Aluminiumherstellung, in Erwägung gezogen [UNFCCC 2008a]. Die methodischen Schwierigkeiten liegen v.a. in der Definition der Baseline für einen ganzen Sektor als Grundlage für die Messung der erreichten THG-Reduktionen. Dabei werden absolute Emissionsobergrenzen, indexierte oder 'Intensitätsziele' oder auch technologiebasierte Sektorziele diskutiert. Intensitäts-Emissionsziele beziehen sich zumeist auf das Produkt, bei dessen Herstellung THG entstehen<sup>73</sup>. Technologie-bezogene Ziele definieren Mindestanteile THG-arter Technologien in einem Sektor<sup>74</sup>. Für den Abfallsektor wurden sektorale Ansätze bisher nur von Japan und Thailand in die Diskussion gebracht. Diese werden in Kap. 4.3.6 diskutiert.

Bei den marktbezogenen Mechanismen würden projektbasierte ('bottom-up') durch sektorale ('top-down') Ansätze ergänzt oder ersetzt. Partner wären nicht mehr die Akteure auf Projektebene, sondern die Kooperation würde auf staatlicher Ebene zwischen Liefer- und Käuferland mittels Regierungsabkommen vereinbart, wie dies bei der Vereinbarung von ODA-Mitteln im Rahmen der EZ üblich ist. Die Maßnahmen würden von einer staatlichen Institution eines EL koordiniert und gesteuert. THG-Reduktionen würden nicht mehr einem einzelnen Vorhaben gut geschrieben, sondern die Performance eines ganzen Sektors messen. Zertifikate würden ausgeschüttet, wenn die THG-Emissionen insgesamt in einem Land, einer Region oder einer Gruppe von Ländern unterhalb eines vorab festgelegten und vereinbarten Levels bleiben [Schneider/Cames 2009]. Das Konzept der 'Sectoral no-lose'-Ansätze sieht vor, keine Sanktionen für den Fall des Überschreitens vorzunehmen, um den EL Sektorbezogene Vereinbarungen zu erleichtern. Der Nachweis der Zusätzlichkeit einzelner Vorhaben würde entfallen. Die Einnahmen können für nationale Maßnahmen ausgegeben werden.

Die OECD [Baron et al. 2009] sieht in sektoralen Ansätzen erhebliche Potentiale zur Ausweitung der Kohlenstoffmärkte. Sie weist dabei jedoch auf das Erfordernis des sorgfältigen Ausgleichs zwischen Angebot und Nachfrage nach Emissionszertifikaten hin. Nur in Verbindung mit hohen Reduktionsverpflichtungen der IL könnten die größeren Angebotsmengen auch untergebracht werden, ansonsten drohe ein Preisverfall. Die Verlässlichkeit der Einnahmen

---

72 MRV – Measuring, Reporting, Verification

73 z.B. CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro MWh erzeugtem Strom oder pro Tonne Zement, Stahl, Aluminium etc.

74 z.B. Anteil des Windstroms an der gesamten Stromerzeugung eines Landes/einer Region

für die EL aus sektoralen Ansätzen ist somit gering und hängt entscheidend vom Willen der IL ab, anspruchsvolle Reduktionsverpflichtungen einzugehen, die eine entsprechende Nachfrage nach Zertifikaten induzieren. Die EL haben betont, dass die Entwicklung sektoraler Ansätze die Verfügbarkeit finanzieller Mittel, Zugang zu Technologien und Implementierungskapazitäten erfordert [UNFCCC 2008a]. Aufgrund der starken Schwankungen auf dem Zertifikatemarkt ist nicht gesichert, dass sie die für die erforderliche Vorfinanzierung der Maßnahmen eingesetzten Mittel auch erstattet bekommen.

### **3.5 Folgerungen aus den internationalen Klimaschutzverhandlungen für die Arbeit**

Die Verhandlungen zu einem Folgeabkommen zum KP und zur Weiterentwicklung der KRK schaffen neue Rahmenbedingungen und Möglichkeiten für die Unterstützung der EL. Die Vertragsstaaten haben sich allerdings bislang nicht, trotz grundsätzlich bestehender Bereitschaft, auf eine Folgevereinbarung zur KRK und zum KP einigen können. Auf der bislang letzten Konferenz in Durban wurde eine neue „Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action“ eingerichtet, die bis 2015 ein neues Abkommen in Form eines völkerrechtlich bindenden Instruments mit Rechtskraft für alle Staaten aushandeln soll. Ein solches neues Abkommen soll 2020 in Kraft treten und damit die ebenfalls in Durban beschlossene zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls ablösen. Die Klimaschutzbeiträge der einzelnen Staaten sollen sich dabei an der Begrenzung des anthropogenen Klimawandels auf einen mittleren Temperaturanstieg von nur 2°C oder gar 1,5°C seit Beginn der Industrialisierung orientieren [UNFCCC 2012]. Für Klimaexperten ist allerdings schon jetzt klar, dass mit den bislang eingegangenen verbindlichen Reduktionsverpflichtungen und den langen Zeiträumen bis zum Inkrafttreten eines neuen Abkommens das 2°C Ziel nicht mehr erreicht werden kann.

Mit dem "Bali Action Plan" [UNFCCC 2007] haben sich auch die EL bereit erklärt, künftig messbare, berichtspflichtige und überprüfbare eigene Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen, die durch Technologiekooperation, Finanzierung und Kapazitätsaufbau von den IL unterstützt werden sollen.

In Durban wurde ferner beschlossen, dass der ‚Green Climate Fund‘ (GCF), dessen Einrichtung auf der COP 16 in Cancún vereinbart wurde, im nächsten Jahr seine Arbeit aufnimmt. Über den GCF soll ein Teil der 100 Milliarden US-Dollar abgewickelt werden, die ab 2020 jährlich für Klimafinanzierung zur Verfügung stehen sollen. Wo diese Mittel allerdings herkommen sollen, bleibt bislang vage. Es konnten weder Zwischenziele bis 2020 noch innovative neue Finanzquellen<sup>75</sup> vereinbart werden.

Die Grundsätze einer globalen Kooperation sind seit der Konferenz von Rio 1992 im Prinzip vereinbart. Diese Arbeit geht davon aus, dass trotz aller Schwierigkeiten den EL künftig vermehrt finanzielle Mittel für Klimaschutzmaßnahmen zur Verfügung gestellt werden, die zugleich einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung leisten können. Ziel und Aufgabe dieser Arbeit ist es nicht, die Perspektiven eines internationalen Klimaschutzabkommens und der Entwicklung an den Kohlenstoffmärkten zu diskutieren. Vielmehr wird untersucht, inwieweit durch Vergütungen für THG-Minderungsleistungen der EL ein ausreichend großer Beitrag zur Deckung der Kosten fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme in EL erlöst werden kann. In Verbindung mit dem grundsätzlich vereinbarten Transfer von Technologie, der Bereitstellung von Know-how sowie Unterstützung beim Aufbau von Kapazitäten bestehen gute Voraussetzungen für die Implementierung fortschrittlicherer Technologien zum Klimaschutz in EL, auch und insbesondere für fortschrittliche Abfallwirtschaftssysteme.

---

75 z.B. die heftig diskutierte Klimaschutzabgabe für den internationalen Luft- und Schiffsverkehr

## **4 BEITRAG DER ABFALLWIRTSCHAFT ZUR NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG**

### **4.1 Entwicklungspolitische Bedeutung**

Die Bedeutung der Abfallwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung wird in den EL erst in den letzten Jahren verstärkter wahrgenommen. Wilde Abfallablagerungen stellen zwar ein – für jedermann sichtbares – ästhetisches Problem dar, und die negativen Folgen für Wasser, Boden und Luft sind offensichtlich, aber der Öffentlichkeit und den Entscheidungsträgern in den EL sind die Gefährdungen der Gesundheit durch unzuverlässige Abfallsammlung, die Beeinträchtigung städtischer und landwirtschaftlicher Infrastruktursysteme und die negativen Wirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung kaum bewusst. Im Folgenden werden diese Aspekte entlang der relevanten Kapitel der Agenda 21 (s. Kap. 3.3.1) diskutiert.

#### **4.1.1 Schutz der menschlichen Gesundheit und der Siedlungshygiene**

'Gesundheit und Entwicklung stehen in einer engen Wechselbeziehung zueinander. Entwicklungsdefizite und die daraus resultierende Armut, ebenso wie Entwicklungsmängel und der daraus resultierende verschwenderische Verbrauch, können im Verbund mit einer kontinuierlich steigenden Weltbevölkerung sowohl in Entwicklungs- als auch in Industrieländern Ursache gravierender umweltbedingter Gesundheitsgefahren sein' (Agenda 21, Kap.6). Vier der insgesamt fünf Programmbereiche des Kapitels 6 haben Bezüge zur Abfallwirtschaft:

- Bekämpfung übertragbarer Krankheiten
- Schutz besonders anfälliger Gruppen
- Lösung der Gesundheitsprobleme in den Städten
- Reduzierung der durch Umweltverschmutzung bedingten Gesundheitsrisiken

Nicht ordnungsgemäß entsorgte Abfälle beeinträchtigen die Stadt- und Siedlungshygiene und bergen Gesundheitsrisiken in sich [Coad/CWG 2006]. In Gebieten ohne geregelte Abfalleinsammlung sind Abfälle oft mit menschlichen und tierischen Exkrementen vermischt und werden an Straßen, in Gräben und Abflussrinnen abgelagert [Zurbrügg/Schertenleib 1998]. Dort behindern sie den Abfluss von Regen- und Abwasser und führen zu Überflutungen und stehendem Wasser im unmittelbaren Wohnumfeld. So bilden sich Brutstätten für Überträger von Krankheiten (Malaria, Gelbfieber, Dengue-Fieber et al.) und ideale Milieus zur Vermehrung von Krankheitserregern (Durchfallerkrankungen, Cholera, Pest...). V.a. Nahrungsmittelabfälle sind Nahrungsquelle für Ratten, Ungeziefer, Fliegen, Moskitos und andere Überträger von Krankheiten. Die häuslichen Abfälle selbst sind zwar nicht infektiös, in den Ablagerungen finden sich jedoch gewöhnlich auch gefährliche Abfälle aus Industrie- und Gewerbebetrieben, infektiöse Abfälle aus Krankenhäusern und Gesundheitsstationen, Exkremente, Schlachtabfälle, Tierkadaver u.a.m. [UNEP 2005]. Insbesondere ärmere Bevölkerungsschichten in Stadtgebieten ohne geordneten Entsorgungsservice sind so hohen Gesundheitsrisiken ausgesetzt.

Besondere Gesundheitsgefährdungen bestehen für die Beschäftigten der Müllabfuhr und die informell tätigen Wertstoffsammler [vgl. Coad/CWG 2006]. Sie verfügen i.d.R. über keinerlei Schutzkleidung und laufen Gefahr, Stich- und Schnittwunden durch spitze und scharfkantige Gegenstände zu erleiden. Aufgrund der unhygienischen Arbeitsbedingungen führen solche Verletzungen leicht zu langwierigen Entzündungen. Ferner gehören Atemwegs- und Lungenerkrankungen (Bronchitis, Asthma, Tuberkulose) zu den häufigsten Gesundheitsbeschwerden. Deponiegas, Brände, Rauch, Staub, Gerüche führen zu Luftverunreinigungen, die negative Wirkungen auf die Gesundheit haben. Die informellen Wertstoffsammler leiden häufig an Magen-, Darm- (Wurm-, Parasitenbefall, Diarrhöe, Cholera) und Bluterkrankungen (Tetanus, Hepatitis, Aids) aufgrund des direkten Kontakts mit Abfällen oder des Verzehrs von aus dem Abfall herausgelesenen Nahrungsmitteln. Frauen haben häufig Komplikationen während der Schwangerschaft, Kinder bei der Geburt ein unterdurchschnittliches Gewicht. Hinzu kommen Schädigungen des Rückens und der Muskulatur durch das häufige Heben von schweren Lasten.

Kinder haben besonders hohe Gesundheitsrisiken und leiden häufig unter Krankheiten. Sie

suchen zumeist barfuß oder mit unzulänglichem Schuhwerk auf den Müllkippen nach wertbaren Stoffen und leiden oft an eiternden und schmerzhaften Entzündungen. Die Tätigkeit auf den Müllkippen beeinträchtigt sie physisch, mental und emotional und enthält ihnen grundlegende Menschenrechte vor [Coad/CWG 2006]. Auch die in der Nähe der Müllkippen lebenden Personen haben hohe Gesundheitsgefährdungen aufgrund unkontrollierter Emissionen. Fliegen und Moskitos sind ständig gegenwärtig und übertragen Infektionskrankheiten.

Die Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser, Böden und Nahrungsmitteln durch unzulängliche Abfallentsorgung, Sickerwässer aus Müllkippen und v.a. durch toxische Abfälle aus der Industrie gefährden die Gesundheit indirekt [Furu 2008]. Besonders hohe Gesundheitsrisiken entstehen durch das unkontrollierte Verbrennen von Abfällen auf Müllkippen, das zur Bildung von hochtoxischen Verbindungen führt. Gemäß einer Untersuchung der US-amerikanischen Umweltbehörde ist die unkontrollierte Abfallverbrennung<sup>76</sup> in den USA eine der bedeutendsten Quellen für Dioxin- und Furanemissionen [US EPA 2005]. Auch das schweizerische Bundesamt für Umwelt hat die Verbrennung von Abfällen in privaten Einzelfeuerungen, Kaminen oder im Garten als sehr bedeutende Quelle von Dioxinen, Furanen und PAK<sup>77</sup> identifiziert [Nussbaumer 2004].

Die Rückgewinnung von Metallen aus Batterien, Kabeln, Elektronikschrott und das Abbrennen von Reifen und Elektrokabeln, um die Stahlkarkassen bzw. das Kupfer freizulegen, verursachen hohe Luftbelastungen durch Schwermetalle und gravierende Gesundheitsschäden. Chronische Erkrankungen, neurologische Schäden bis hin zu Todesfällen sind die Folge. Das Recycling von Bleiakkumulatoren unter unzulänglichen Bedingungen zählt nach der Bewertung des 'Green Cross Schweiz' zu den 'Top Ten der größten ökologischen Sünden' [zit. in Euwid 2008f]. Eine Häufung von Todesfällen unter Kindern in einem Vorort von Dakar ist nach einer Untersuchung der WHO auf die Bleibelastung der Umgebung infolge Akkurecyclings zurückzuführen [Euwid 2008a]. Die Zerlegung von Elektro- und Elektronikschrott, deren illegaler Export in EL nach Untersuchungen von Greenpeace [zit. in Euwid 2008b] in den letzten Jahren rapide zunimmt, stellt ein zunehmend größeres Problem dar. Arbeiter, darunter oftmals Kinder, zerlegen Computer, Bildschirme, Fernseher etc. ohne jeglichen Arbeitsschutz auf der Suche nach wertvollen Metallen. Die übrig bleibenden Kunststoffteile, die vielfach mit Phtalaten, bromierten Flammschutzmitteln, Schwermetallen und andern gefährlichen Chemikalien belastet sind, werden entweder verbrannt oder abgekippt. Sie haben negative Auswirkungen auf die Entwicklung des Gehirns und des Nervensystems und beeinträchtigen die Fortpflanzungsfähigkeit.

Die Bedeutung einer umweltgerechten Abfallwirtschaft für die Gesundheit wurde von der 9. Vertragsstaatenkonferenz zum Basler Übereinkommen<sup>78</sup> in der "Bali-Erklärung über Abfallwirtschaft für die menschliche Gesundheit und die Lebensgrundlagen" hervorgehoben [UNEP/ FAO 2008]. V.a. in EL kommt es zu Gesundheitsschäden durch unsachgemäße Abfallbehandlung. In der Erklärung werden Maßnahmen zu Bewusstseinsbildung, Kapazitätsaufbau und verbesserten Kontrollen von Abfallverbringungen angeregt. Die WHO wurde aufgefordert, eine Resolution zur Verbesserung der Gesundheit durch umweltgerechte Abfallwirtschaft zu behandeln. Auf der Konferenz wurden die Beziehungen zwischen Abfall, Gesundheit, Umwelt- und Klimaschutz und den MDG hervorgehoben [Basel Convention 2008].

#### **4.1.2 Förderung einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung**

'Oberstes Ziel der Siedlungspolitik ist die Verbesserung der sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen und der Umweltqualität in städtischen und ländlichen Siedlungen sowie in der Lebens- und Arbeitswelt aller Menschen, insbesondere der städtischen und ländlichen Armutgruppen' (Agenda 21 / Kap. 7). Abfallwirtschaft leistet Beiträge v.a. zu den Bereichen

- angemessene Unterkunft für alle
- Förderung einer nachhaltigen Flächennutzungsplanung und Flächenwirtschaft

---

76 'backyard barrel burning of refuse'

77 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

78 Die 'Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal' regelt die grenzüberschreitende Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung.

- Förderung einer integrierten Umweltschutz-Infrastruktur zur Bereitstellung von Trinkwasser, Kanalisation und Abfallentsorgung

Die Verfügbarkeit einer gesunden und sicheren Wohnung ist von entscheidender Bedeutung für das körperliche und seelische Wohlbefinden und das soziale und wirtschaftliche Wohlergehen der Menschen. Nur so können sie Potentiale und Fähigkeiten entwickeln.

Die Gebiete ärmerer Bevölkerungsschichten, v.a. Elendsviertel, Slums und Squattergebiete, leiden neben unzulänglichen Behausungen insbesondere an fehlenden oder unzulänglichen Systemen der Abwasser- und Abfallentsorgung sowie Regenwasserableitung [Wehenpohl 1987]. Müllkippen entstehen zumeist ungeplant am Rande oder unweit der Siedlungen. Infolge des raschen Wachstums der Städte werden sie oft innerhalb weniger Jahre von Wohnbebauung umschlossen oder sogar von Squatterbewohnern besiedelt [Zurbrügg/Schertenleib 1998]. Durch sorgfältige Standortauswahl für Entsorgungsanlagen leistet die Abfallwirtschaft einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung. Voraussetzung ist, dass die für die Abfallwirtschaft besonders geeigneten Flächen planerisch gesichert werden.

Belherazem [2003] weist darauf hin, dass infolge ungeordneter Abfallentsorgung Investitionen in die Infrastruktur untergraben und die Funktionsfähigkeit städtischer Infrastruktursysteme beeinträchtigt werden. Trinkwasserressourcen werden kontaminiert und Wassergewinnungsanlagen beeinträchtigt, Entwässerungseinrichtungen und Kanalsysteme verstopft. Auch die Ablagerungen von Abfällen entlang von Verkehrswegen und Bewässerungskanälen führen zu Beeinträchtigungen dieser Infrastrukturanlagen.

Darüber hinaus fallen in städtischen Infrastruktursystemen Abfälle an. Rückstände aus der Abluftreinigung von Kraftwerken und industriellen Feuerungsanlagen (Schlacken, Aschen, Filterstäube etc.), aus der Trinkwasseraufbereitung (Filterschlämme) oder aus der Abwasserreinigung (Klärschlamm, Rechengut, Sandfanggut) bedürfen zur Gewährleistung eines umweltverträglichen und ordnungsgemäßen Betriebs ebenso einer sachgerechten Entsorgung wie Abfälle aus kommunalen Einrichtungen (Schlachthöfe, Märkte, Krankenhäuser u.a.m.). Nachhaltige Siedlungsentwicklung erfordert zwingend eine zuverlässige und umweltverträgliche Abfallwirtschaft, um sozialen und ökologischen Problemen des Lebensraumes Stadt wirksam zu begegnen und die Attraktivität als Wirtschaftsstandort zu fördern.

#### **4.1.3 Wasserressourcen-, Boden- und Umweltschutz**

Dem ‚Schutz der Güte und Menge der Süßwasserressourcen‘ ist eines der umfangreichsten Kapitel der Agenda 21 gewidmet. Kap. 18 unterstreicht die in vielen Regionen der Erde bestehende verbreitete Knappheit an Süßwasserressourcen und weist auf deren Übernutzung und zunehmende Verschmutzung hin. Wilde Abfallablagerungen und ungeordnete Deponien tragen zur Kontamination der Süßwasserressourcen bei und führen insbesondere im Umfeld der Städte zur zusätzlichen Verknappung des nutzbaren Wasserdargebots. In der Agenda 21 werden folgende Ziele und Maßnahmen für die Abfallwirtschaft zum Schutz der Süßwasserressourcen formuliert:

- Schutz der Umwelt und Erhaltung der Gesundheit durch integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen sowie flüssiger und fester Abfälle (18.48a)
- Schaffung hygienischer Abfallbeseitigungseinrichtungen auf der Grundlage umweltverträglicher, kostengünstiger und erweiterungsfähiger Technologien (18.59a, i)
- Schutz der Wasserressourcen vor Erschöpfung, Verunreinigung und Schädigung u.a. durch Förderung der Wiederverwendung von Abwasser und Abfällen ((18.59a iii)
- Förderung der Beteiligung der Öffentlichkeit an der Sammlung, Wiederverwendung und Beseitigung von Abfällen (18.59d iii)
- Durchführung von schwerpunktmäßig auf städtische Armutgruppen ausgerichteten Wasser-, Abwasserbeseitigungs- und Abfallwirtschaftsprogrammen (18.59f, i)

Merkwürdigerweise wird die Bedeutung der Abfallwirtschaft für das übergreifende Ziel ‚Schutz der Umwelt und der natürlichen Ressourcen‘ in den diesem Thema gewidmeten Kapiteln der internationalen Vereinbarungen kaum explizit erwähnt. In der Millenniumserklärung kann der Bezug nur indirekt aus den Zielvorgaben 7 C ‚Verbesserung des Zugangs zu sani-

tären Einrichtungen' und 7 D ‚Verbesserung der Lebensbedingungen von Slumbewohnern‘ abgeleitet werden. Das ‚Sektorkonzept Wasser‘ des BMZ [2006] stellt dagegen klar heraus, dass Trinkwasserversorgung, sanitäre Basisversorgung, Abwasser- und Abfallmanagement wichtige Voraussetzungen für ein menschenwürdiges Leben sind. Kapitel IV des Johannesburg-Aktionsplans - Schutz und Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcenbasis der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung - stellt zwar fest, dass die Tätigkeit des Menschen zunehmende Auswirkungen auf die Unversehrtheit der Ökosysteme hat, die für das menschliche Wohl und für die Wirtschaftstätigkeit unverzichtbare Ressourcen und Dienste bereitstellen. Der Bezug zur Abfallwirtschaft wird allerdings nur in Kap. III - Veränderung nicht nachhaltiger Konsumgewohnheiten und Produktionsweisen - aufgegriffen, das auf die Umweltzerstörung und Ressourcendegradation durch mangelnde Ressourceneffizienz bei der Produktion und Verschmutzung durch Abfallproduktion hinweist (s. Kap. 3.3.3).

Auch in den den Umweltschutzgütern gewidmeten Kapiteln der Agenda 21, v.a. Kap. 10 – Nachhaltige Bewirtschaftung der Bodenressourcen – wird auf die Bezüge zur Abfallwirtschaft nicht explizit hingewiesen. Kap. 9 der Agenda 21 stellt zwar die Bedeutung der Bodenressourcen für alle umwelt- und ressourcenbezogenen Komponenten (d.h. Luft, Wasser, Flora und Fauna, Boden, geologische und natürliche Ressourcen) heraus und verweist auf die von den Aktivitäten der Wirtschaft und der Gesellschaft ausgehenden Wirkungen auf die Umwelt und natürlichen Ressourcen. Die Bedeutung der Abfallwirtschaft für den Umwelt- und Ressourcenschutz findet sich allerdings in Kap. 4 – Veränderung des Konsumverhaltens. Darin wird festgestellt, dass die ‚Hauptursache für die allmähliche Zerstörung der globalen Umwelt in den nicht nachhaltigen Verbrauchs- und Produktionsmustern - insbesondere in den Industrieländern - zu sehen‘ ist (Kap. 4.3/Agenda 21). Die dadurch bedingte übermäßige Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen führe zur Verknappung und zu Umweltbelastungen, der es durch schonende bzw. effiziente Ressourcennutzung (Kap. 4.5/Agenda 21) und Senkung des Energie- und Materialverbrauchs je Produktionseinheit bei der Erzeugung von Gütern und Erbringung von Dienstleistungen (Kap. 4.18/Agenda 21) entgegenzuwirken gilt. Es müssten wirksame Mittel und Wege zur Lösung des Problems der Entsorgung des steigenden Abfallvolumens, v.a. durch Förderung des Recyclings auf Produktions- und Verbraucherebene, Vermeidung aufwendiger Verpackungen und Begünstigung der Einführung umweltverträglicher Produkte gefunden werden (Kap. 4.19/Agenda 21).

Das ‚Positionspapier Ressource Abfall‘ [BMZ 2012] stellt die Bedeutung der Abfallwirtschaft für den Umweltschutz insgesamt heraus und weist auf die Wirkungsbezüge hin: ‚Gewässer, Luft, Boden, Landschaft, Flora und Fauna werden durch ungeordnete Müllkippen gefährdet, Landschaft und nutzbare Flächen durch wilde Abfallablagerungen verbraucht und zerstört, das Stadt- und Landschaftsbild negativ beeinträchtigt‘. Vorhaben der Abfallwirtschaft dienen innerhalb der deutschen EZ dem Umwelt- und Gesundheitsschutz und werden vorwiegend im Rahmen des Förderbereichs ‚Umwelt- und Ressourcenschutz‘ durchgeführt.

#### **4.1.4 Nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung**

Die Stärkung der Wirtschaftskraft der Entwicklungsländer ist ein entscheidender Faktor für die Beseitigung struktureller Ursachen der Armut, weil Handlungsspielräume zu Gunsten armer Bevölkerungsschichten eröffnet und deren produktive Potenziale genutzt werden [BMZ 2002]. Zuverlässige und umweltverträgliche Abfallentsorgung ist neben weiteren Faktoren eine wichtige Voraussetzung für nachhaltiges Wirtschaften. Ungeordnete Abfallentsorgung behindert die wirtschaftliche Entwicklung auf vielfältige Weise. In der globalisierten Wirtschaft unterhalten Unternehmen Produktions- und Fertigungsstätten weltweit, Handelsbeziehungen erstrecken sich über alle Kontinente. In vielen Bereichen sind Qualitätsstandards für Produkte etabliert. Unternehmen, die Umweltmanagementsysteme eingeführt und sich den weltweit gültigen Normen der DIN ISO 14.000 ff oder der EMAS-Verordnung der EU (Öko-Audit) zur Einhaltung von Umweltstandards bei der Produktion unterworfen haben, sind verpflichtet, auch ihre Lieferanten und Geschäftspartner auf Einhaltung von Mindest-Umweltstandards bei deren Produktion zu überprüfen, v.a. wenn sie Vorprodukte liefern. Dazu zählt u.a. eine sachgerechte und umweltverträgliche Entsorgung der Produktionsabfälle.

Die Nichteinhaltung solcher Vorgaben führt zu Imageeinbußen und kann den Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zur Folge haben [BMZ 2012]. Absatzmärkte drohen verlorenzugehen, wenn Betriebe aus EL die Forderungen ihrer Geschäftspartner und Kunden aus entwickelten Ländern nach Einhaltung von Umweltstandards nicht erfüllen können. Cherif [2005] beschreibt dies am Beispiel Tunesiens: ‚Vor dem Hintergrund der bevorstehenden Freihandelszone mit der EU und der generellen Globalisierung der Handels- und Exportbeziehungen gewinnt die Frage des Umweltschutzes für die tunesische Wirtschaft zunehmend an Bedeutung. Insbesondere diejenigen Unternehmen, die tunesische Vor- und Zwischenprodukte in den europäischen Markt exportieren wollen, erkennen die Notwendigkeit umweltfreundlicher Produktion. Neben den staatlichen Stellen ist deshalb in der Privatwirtschaft – zunehmend im exportorientierten produzierenden Gewerbe – ein wichtiger strategischer Partner für die Umsetzung der tunesischen Umweltpolitik zu sehen.‘

Unternehmen in EL stehen zunehmend vor dem Dilemma, neben anderen Umweltschutzanforderungen auch eine geordnete und umweltverträgliche Entsorgung der bei der Produktion anfallenden Abfälle nachweisen zu müssen, ohne dass die Voraussetzungen in ihren Ländern hierfür vorhanden sind. Die als Behelfsmaßnahme praktizierte Lagerung insbesondere von gefährlichen Abfällen auf dem Betriebsgelände führt zur schleichenden Kontamination der Produktionsstätten und Entstehung von Altlasten. Sie gefährdet die Gesundheit der Beschäftigten und der im Umfeld lebenden Menschen. Leistungsfähige, meist international agierende Unternehmen gehen daher zunehmend dazu über, für ihre Abfälle eigene Anlagen zu realisieren oder ihre Produktionsabfälle in Länder mit hochwertigen Entsorgungsanlagen zu exportieren.

Darüber hinaus wird die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in EL durch die geringe Material- und Energieeffizienz der angewandten Produktionsverfahren beeinträchtigt. Rohstoffe und Energie stellen für sie Hauptkostenfaktoren dar. Deren Preisbildung erfolgt an den internationalen Rohstoffmärkten und nimmt auf die finanziellen Kapazitäten der Betriebe aus EL keine Rücksicht. Abfälle stellen Rohstoff- und Energieressourcen dar, die es durch Modernisierung der Produktionsverfahren und differenziertes Stoffstrommanagement durch Vermeidung der Entstehung und Nutzung als Sekundärrohstoffe zu erschließen gilt, um die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe zu verbessern. Erfahrungen von Unternehmen in Europa belegen den Zusammenhang zwischen Ressourcenverbrauch, Abfallerzeugung und ökonomischer Effizienz. Durch verbessertes Prozessmanagement werden die Kosten der Produktion gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit verbessert. Abfallminimierung und Steigerung des Recyclings vermindern die Ausgaben für Rohstoffe, Energie, Wasser, Abwasser und Abfall substantiell [EEA 2010]. Vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) in EL ist das Bewusstsein für eine umweltfreundliche und ressourcenschonende Produktion noch nicht ausreichend vorhanden. Sie verfügen in vielen Fällen weder über die erforderlichen Kenntnisse noch über die personellen und finanziellen Möglichkeiten, um Umweltaspekte in ihre Unternehmensführung zu integrieren.

Neben dem produzierenden Gewerbe wird insbesondere die Entwicklung des Tourismus und der Landwirtschaft von der ungeordneten Abfallentsorgung behindert. Touristen und potenzielle Investoren werden durch ungeordnete Müllablagerungen und unzuverlässige Abfallentsorgung abgeschreckt. Unsaubere Städte signalisieren eine inkompetente Verwaltung und lassen hohe Krankheitsraten der Beschäftigten befürchten [Klundert/Anschütz 2001]. Anbauflächen und Bewässerungsanlagen der Landwirtschaft werden durch wilde Abfallablagerungen und Abfallverwehungen beeinträchtigt, Ackerflächen und Bewässerungswasser kontaminiert [BMZ 2012].

Die Abfallwirtschaft hat ferner volkswirtschaftliche Bedeutung im Hinblick auf die Rohstoffversorgung. Abfälle enthalten Ressourcen, die durch Rückgewinnung einen Beitrag zur Reduzierung der Devisenausgaben für die Einfuhr von Rohstoffen und Energie leisten können, oder zu Deviseneinnahmen durch Export führen<sup>79</sup>. Die energetische Nutzung der Abfälle

---

79 Deutschland hat im Jahr 2007 durch Nutzung von Sekundärrohstoffen und Energieerzeugung aus Abfällen Einfuhren in Höhe von 5,3 Milliarden Euro vermieden [IWD 2009]

kann einen Beitrag zur Energieversorgung leisten. In EL bilden insbesondere die Biogaserzeugung und die Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus Abfällen erfolgversprechende Ansätze [Lechtenberg 2008]. Nach [WBGU 2008] könnten rd. 10%<sup>80</sup> des globalen Primärenergiebedarfs durch energetische Nutzung von Abfällen und Abfallbiomasse gedeckt werden.

#### 4.1.5 Förderung von Beschäftigung und Einkommen durch Abfallwirtschaft

Abfälle sind traditionell eine wichtige Einkommensquelle für die arme Bevölkerung. Abfallwirtschaft allgemein und Recycling im Besonderen schaffen in erheblichem Maße Beschäftigungsmöglichkeiten gerade für geringqualifizierte Personen. Die Einbeziehung der Armen, insbesondere durch Kooperation mit dem informellen Sektor, eröffnet berufliche Chancen und trägt zu MDG 1 bei [GIZ 2011]. Selbst Analphabeten können für bestimmte Aufgaben angelernt werden, v.a. im Bereich Abfalleinsammlung, Sortierung und Straßenreinigung.

Mit der Entwicklung einer Sekundärrohstoff-Wirtschaft entstehen darüber hinaus neue Wirtschaftszweige und qualifizierte Arbeitsplätze. Eine Studie für die EU zeigt, dass in der Umweltschutzindustrie rd. 3,4 Mio Personen beschäftigt sind, darunter 30% im Abfallmanagement und weitere 13% im Bereich Recycling [EEA 2010].

### 4.2 Abfallwirtschaft und Ressourcenschutz

#### 4.2.1 Begriffsbestimmungen

Im Rahmen einer nachhaltigen Politik der Schonung natürlicher Ressourcen kommt der Schaffung geschlossener Stoffkreisläufe eine hohe Bedeutung zu [UBA 2007]. Ziel ist eine möglichst weitgehende Entkopplung des Abfallaufkommens vom Wirtschaftswachstum durch eine möglichst hohe Nutzungsintensität der der Natur entnommenen Materialien. Dabei sind mineralische oder abiotische Rohstoffe<sup>81</sup>, fossile Energierohstoffe<sup>82</sup> und biotische oder nachwachsende Rohstoffe<sup>83</sup> zu unterscheiden. Die Abfallwirtschaft trägt in Form der Abfallvermeidung, des Recyclings und der energetischen Nutzung von Abfällen zur Rohstoffschonung bei [EU 2005, SRU 2005, OECD 2008]. Recycelte Papierfasern ersetzen die entsprechende Menge an funktionsgleichem Primärfasermaterial, Sekundärkunststoffe ersetzen Produkte aus Primärkunststoff oder dienen zur Herstellung von neuen Produkten, die dem Boden durch Verwertung von Bioabfällen zugeführten Nährstoffe ersetzen eine funktionsäquivalente Menge an Mineraldüngern, bei der energetischen Verwertung werden Primärenergieträger ersetzt [IFEU 2005] usw.

Das 6. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union [EU 2002] formuliert hinsichtlich des Umgangs mit natürlichen Ressourcen und Abfällen das Ziel, das Gesamtabfallaufkommen zu verringern und Ressourcen effektiver zu nutzen. Die thematische Strategie der EU zu Abfallvermeidung und -recycling [EU 2005a] versteht unter Ressourcenschonung den umweltmedienübergreifenden verantwortungsvollen Umgang mit der Natur. Dies bezieht sich nicht nur auf die Endlichkeit von Rohstoffen, sondern es sollen auch die natürlichen Lebensräume einbezogen werden, die durch vielfältige menschliche Aktivitäten, von der Rohstoffgewinnung bis zur Abfallbeseitigung, übermäßig und in weiter steigendem Maß in Anspruch genommen und belastet werden. Der SRU [2005] weist in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit sog. ‚letzter Senken‘ hin. Deren Funktion ist es, v.a. Schadstoffe entweder zu umweltverträglichen Stoffen abzubauen oder sie aufzunehmen und für Jahrtausende immobil zu beherbergen. Letzte Senken sind von Umweltmedien langfristig abgeschlossene Depositionen, in beschränktem Ausmaß auch Gewässer, Sedimente, Böden und die Atmosphäre, falls Stoffe in diesen Medien entweder vollständig mineralisiert werden oder sich über lange Zeiträume, ohne Schäden zu verursachen, aufhalten können. Letzte Senken sind ebenso wie Rohstoffe knappe Güter, da sie Raum oder Umweltmedien beanspruchen, die nicht ver-

---

80 Gesamtprimärenergiebedarf 479–508 EJ (S. 36), wirtschaftlich nutzbares Potential an Reststoffen 50 EJ (S. 3)

81 Es werden unterschieden [vgl. Wikipedia o.J.b.]: Chemische Rohstoffe wie z. B. Kalk oder Salz; Metallrohstoffe bzw. Erze; Bau- und Keramikrohstoffe wie z. B. Sand, Kies, Tonmineral, Kaolin und Werksteine.

82 Wind, Geothermie, Gezeiten, Sonnenenergie sind erneuerbare Energien und somit auch eine Ressource, können aber in der hier vorgenommenen Betrachtung außer Acht gelassen werden

83 in Verbindung mit der Abfallwirtschaft insbesondere nachwachsende Rohstoffe für technische Zwecke wie Holz, Kautschuk, Baumwolle; nachwachsende Energierohstoffe zur Biogasproduktion und Verbrennung

mehrbar sind. Die Belastung der Atmosphäre mit THG stellt nach Darstellung des SRU solch ein Senkenproblem dar, da die Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre für THG erschöpft sei. Der Nutzung von Rohstoffen seien somit auch entsorgungsseitig Grenzen gesetzt, da entweder geeignete letzte Senken oder (kostengünstige) Technologien fehlten, um unerwünschte Stoffe in geeignete letzte Senken zu lenken.

Der SRU hat ferner den Begriff der ‚anthropogenen Rohstoffe‘ definiert, i.e. durch die Tätigkeit des Menschen in großen Mengen angehäufte Materialien, die sich einerseits im Bestand der derzeit genutzten Güter, andererseits in deponierten Abfällen wiederfinden. Die Gesamtheit dieser akkumulierten Stoffe wird vom SRU als ‚anthropogenes Lager‘ oder ‚anthropogener Bestand‘ bezeichnet, der parallel zum Abbau der natürlichen Rohstoffe aufgebaut wird. Die konsequente Verwertung der anthropogenen Rohstoffe könne zu einer beträchtlichen Reduktion der Primärrohstoffgewinnung und der damit verbundenen Umweltbelastungen beitragen. Produktpolitik und Ressourcenpolitik müssen zusammenwachsen, um das Verwertungspotenzial durch Gestaltung schadstoffarmer, langlebiger Produkte, rechtzeitige Ausschleusung von Schadstoffen und die vorausschauende Konzentration von Wertstoffen zu steigern [SRU 2005].

#### 4.2.2 Rohstoffbedarf und Rohstoffversorgung

Bis zum Beginn der durch die internationale Finanzkrise im Herbst 2008 ausgelösten globalen Wirtschaftskrise war seit der Jahrtausendwende eine ständig steigende Nachfrage nach Rohstoffen und Energie zu verzeichnen. Die Gründe lagen vor allem am hohen Wirtschaftswachstum in China und anderen SL und dem damit verbundenen steigenden Bedarf an Rohstoffen [Bardt 2006]. Die EL, v.a. SL, sind inzwischen für mehr als die Hälfte des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich [Economist 2006]. Die Preise für Energierohstoffe sind infolgedessen seit dem Jahr 2000 bis zum Höhepunkt im Jahr 2008 auf Dollarbasis um 341%, auf Eurobasis um 160% gestiegen. Industrierohstoffpreise stiegen um 169% resp. 59% [IWD 2008a].

In den vergangenen 60 Jahren durchlebte die Weltwirtschaft bereits mehrere Rohstoffpreiszyklen. Der Beginn des neuen Zyklus seit 2002 war durch den ungewöhnlich hohen Preisanstieg bei Industrie- und Edelmetallen gekennzeichnet. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [BGR et al. 2007] sieht darin möglicherweise einen Strukturwandel auf den Rohstoffmärkten. Der mit der globalen Wirtschaftskrise einhergegangene Einbruch bei den Rohstoffpreisen ist nach Einschätzung vieler Experten nur eine vorübergehende Erscheinung. Gemessen an ihrer Bevölkerung ist der Rohstoffverbrauch der EL noch immer moderat. Angesichts der absehbaren wirtschaftlichen Entwicklung insbesondere von bevölkerungsreichen Ländern wie China, Indien, Russland oder Brasilien und der Zunahme der Weltbevölkerung ist bereits heute klar, dass die Welt nicht genügend Rohstoffe hat, um den Lebensstil, die Produktions- und Konsumgewohnheiten der entwickelten westlichen Staaten auf die EL zu übertragen. Es wird daher erwartet, dass die Nachfrage nach Rohstoffen und damit deren Preise bei einem Wiederanstieg des wirtschaftlichen Wachstums erneut deutlich nach oben gehen. Im Wettbewerb um die Rohstoffe laufen diejenigen EL, die über keine ausreichenden eigenen Rohstoffvorkommen verfügen, Gefahr, aufgrund zunehmender Konkurrenz und absehbar steigender Preise von der ökonomischen Entwicklung abgehängt zu werden. Die Abhängigkeit von fossilen Energieressourcen und deren ineffiziente Nutzung macht die Volkswirtschaften der EL anfällig für Inflation und gesicherte Energieversorgung [ADB 2007]. Ressourcen- und Energieeffizienz wird zu einem maßgeblichen Faktor für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und Staaten. Konflikte um Rohstoffe sind bei einer weiter steigenden Nachfrage nicht auszuschließen [Bleischwitz/Bringezu 2007].

Die Rohstoffversorgung wird über einen Regelkreis gesteuert, wobei das Rohstoffangebot der Nachfrage mit einem gewissen Zeitverzug folgt. Abbildung 1 zeigt die Zusammenhänge. Die oft verwendete Beurteilungsgröße ‚Reichweite‘ oder ‚Vorräte‘<sup>84</sup> stellt somit nur eine Momentaufnahme eines dynamischen Systems dar. Die sich bei einem Nachfrageüberhang

---

84 Zeitraum der Verfügbarkeit von Rohstoffen unter Annahme von gleichem Wirtschaftswachstum, gleichem Preis und gleicher Technik

bildende Versorgungslücke verursacht steigende Preise, was wiederum Investoren anlockt, die zunehmend auch mit höheren Kosten und Risiken verbundene Explorationstätigkeiten finanzieren. Die Entwicklung neuer Lagerstätten und Rohstoffquellen erhöht wiederum das Angebot und führt zu sinkenden Preisen. Hohe Rohstoffpreise fördern auch das Recycling und damit die Substitution von primären Rohstoffen sowie die Materialforschung und Entwicklungen zur Miniaturisierung von Bauteilen. Die Größen ‚Vorräte‘ und ‚Produktionsmengen‘ sind somit laufenden Veränderungen unterworfen [BGR et al. 2007].

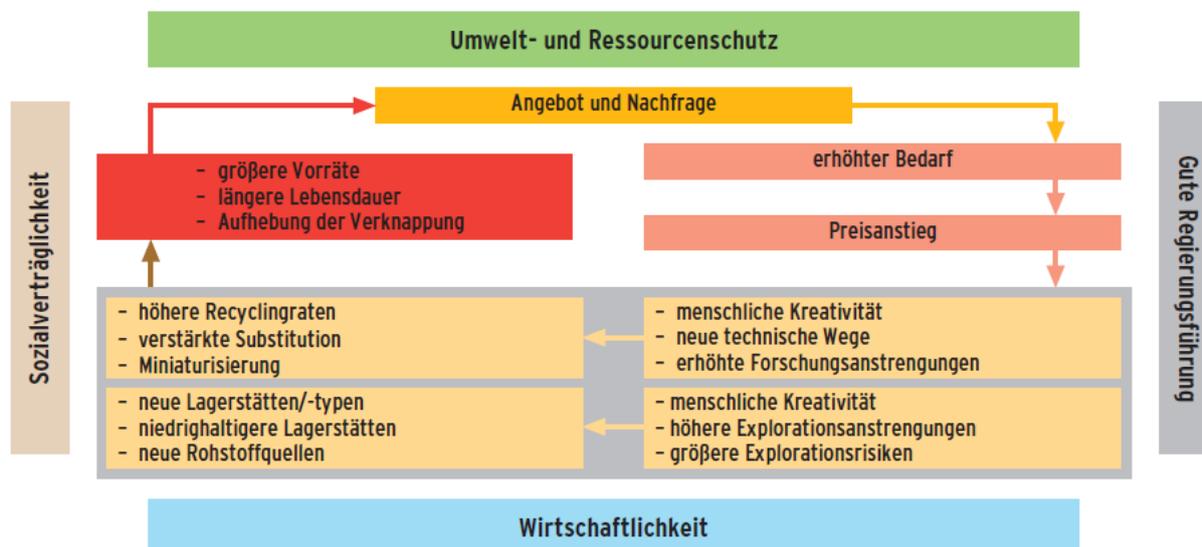


Abbildung 1: Regelkreis der Rohstoffversorgung [UBA 2007]

Das Institut der deutschen Wirtschaft erwartet, dass mit steigender Nachfrage nach Rohstoffen die Aufbereitung gebrauchten Materials an Bedeutung gewinnen wird [IWD 2009]. Das Angebot an natürlichen Ressourcen kann mit der zunehmenden Nachfrage kaum Schritt halten. Das Rohstoffstrategiepapier der EU-Kommission [EC 2011a] postuliert, dass ‚durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen ein Beitrag zur Ressourceneffizienz, zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zum Umweltschutz geleistet‘ wird. Die enorme Abhängigkeit von Rohstoffimporten würde sich vermindern, wenn mehr Altstoffe verwertet würden. Die Kommission spricht sich daher im Rahmen ihrer Rohstoffstrategie u.a. dafür aus, das Recycling in der EU zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu fördern. In gleicher Weise betont UNEP [2011a], dass durch die Verknüpfung von Abfallwirtschaft und Ressourcennutzung der Weg in eine kohlenstoffarme, nachhaltigere und wettbewerbsfähigere ‚Green Economy‘ beschleunigt und die Importabhängigkeit von Primärrohstoffen gemindert wird.

#### 4.2.3 Umweltbelastungen der Primärrohstoffgewinnung

In der Diskussion um geeignete Strategien der Rohstoffversorgung darf der Hinweis auf die negativen Auswirkungen der Gewinnung und Aufbereitung von Primärrohstoffen auf Ökosysteme und Umweltmedien nicht fehlen. Dabei werden erhebliche Mengen an Schadstoffen freigesetzt, die entweder als Nebenprodukte anfallen oder als Prozessmittel eingesetzt werden. Darüber hinaus verbraucht die Rohstoffgewinnung große Mengen an Wasser und Energie [Bleischwitz/Bringezu 2007]. Aufgrund des zunehmenden Rohstoffbedarfs werden mit Hilfe des technologischen Fortschritts Lagerstätten mit immer geringeren Erzgehalten ausgebeutet. Dies erhöht die Eingriffe in die Umwelt, den spezifischen Verbrauch an Wasser und Energie sowie die Menge der Minen- und Bergbauabfälle. Darüber hinaus sind i.d.R. negative soziale Effekte mit der Rohstoffgewinnung verbunden, die insbesondere die ärmeren Bevölkerungsschichten betreffen durch Inanspruchnahme von Land und Wasser oder durch erzwungene Umsiedlungen.

#### 4.2.4 Entwicklungen auf den Recyclingmärkten

Als Reaktion auf die starken Steigerungen der Rohstoffpreise, v.a. bei Eisen- und NE-Metallen, Kunststoffen, Papierfasern und Energierohstoffen, haben insbesondere asiatische

SL, die bereits eine Entwicklungsstufe mit höherem Ressourcenbedarf erreicht haben, den Einsatz von Sekundärrohstoffen intensiviert. Da die Abfallwirtschaftssysteme dieser Länder sich noch auf einem niedrigen Niveau befinden und der Bedarf nicht im Inland gedeckt werden kann, wurde der Import von Sekundärrohstoffen verstärkt [Heltewes et al. 2008]. V.a. Altpapier, Stahlschrott und Altkunststoffe werden zunehmend international gehandelt. Diese Sekundärrohstoffe hatten nach Schätzungen von Lacoste/Chalmin [2006] im Jahr 2004 bereits einen Handelswert von über 100 Mrd. US\$ weltweit. Glas und Kompost sowie bestimmte wiederverwertbare Materialien werden dagegen meist national gehandelt oder haben sogar nur lokale Märkte [Lacoste/Chalmin 2006].

China ist durch den stetigen Ausbau seiner Papierproduktionskapazitäten hinter den USA zum zweitgrößten Papierproduzenten der Welt avanciert. Da die Papierrücklaufquote im Land aufgrund der wenig entwickelten Kreislaufwirtschaft den Bedarf nicht decken kann, ist China der größte Importeur von Recycling-Zellulose [Heltewes et al. 2008]. China plant, seine Produktionskapazitäten auszuweiten, und wird auch weiterhin auf Altpapier-Importe angewiesen sein. Auch Indien, Indonesien und Thailand importieren immer größere Mengen Recycling-Zellulose, wobei besonders Indien progressiv zu einem der weltweit wichtigsten Märkte zu werden scheint. Neben dem starken Bevölkerungswachstum Indiens führt die Verbesserung des Lebensstandards und des Ausbildungsniveaus zu einem steigenden Papierverbrauch. Auch die größere Pressefreiheit hat hierauf Auswirkungen, der Umsatz an Tageszeitungen ist in Indien deutlich höher als in China [Mutz 2012].

Bei Stahlschrott besteht eine ähnliche Situation. Die Rohstahlerzeugung stellt eine Schlüsseltechnologie für die SL dar, da Stahl und Eisen für den Aufbau von Infrastruktur und Industrie sowie die Herstellung von Konsumgütern benötigt wird. China hat sich zum führenden Rohstahlhersteller der Welt entwickelt. Daneben sind v.a. Indien und die Türkei weltweit bedeutende Stahlproduzenten. Zur Rohstahlproduktion setzen v.a. Indien und die Türkei in zunehmendem Maße das sog. Elektrostahlverfahren ein, das eine Produktion allein auf der Basis von Stahlschrott erlaubt. Das ‚Iron and Steel Statistics Bureau‘ erwartet weltweit einen weiteren Anstieg der Elektrostahlproduktion [zit. in Heltewes et al. 2008]. Damit wäre eine weitere Steigerung der Nachfrage nach Stahlschrott zu erwarten.

Auch für Sekundärkunststoffe stellt China das Hauptempfängerland weltweit dar [Bilitewski 2008]. 70% aller weltweit recycelten Kunststoffe werden nach China exportiert. Im Unterschied zum Papier- und Stahlrecycling, das in großen Industriebetrieben erfolgt, wird die Verwertung von Kunststoffen von kleinen und mittleren Betrieben durchgeführt. Aufgrund der in EL geringen Löhne werden sie meist manuell oder halbmechanisch sortiert, gewaschen und aufbereitet. Die Arbeits- und Umweltschutzstandards sind i.d.R. gering, die Gesundheits- und Umweltbelastungen hoch. Anders als in Europa, wo aufgrund der abfallrechtlichen Bestimmungen die aufgebrachten Kunststoffmengen die Verarbeitungskapazitäten übersteigen und Altkunststoffhändler Zuzahlungen an die Verwerterbetriebe für minderwertige Sekundärkunststoffen leisten müssen, erhalten die Sekundärrohstoffhändler in China und Asien Vergütungen für die angelieferten Materialien, da die Nachfrage das Angebot übersteigt.

Neben Sekundärrohstoffen werden Gebrauchsgüter wie Autos, Haushaltsgeräte, Handys, Computer, Baumaschinen, selbst ganze Schiffe zum Abwracken aus den IL in EL<sup>85</sup> exportiert. Formalrechtlich handelt es sich hierbei um den freien Export von Gebrauchsgütern. De facto wird der überwiegende Teil dieser Güter in die Länder zum kostengünstigen Recycling durch den informellen Sektor exportiert. Die Exporte von elektrischen und elektronischen Geräten erfolgen zunehmend nach Südostasien und Afrika. Ganze Dörfer haben sich auf die Rückgewinnung von edlen Metallen aus Platinen und Kupfer aus Kabeln spezialisiert. Mit den Gütern werden die darin enthaltenen Schadstoffe exportiert. Bilitewski [2008] weist auf die mit den angewandten einfachen Verfahren verbundenen Umweltprobleme und die Verschleppung von Schadstoffen<sup>86</sup> in die aus den gewonnenen Sekundärrohstoffen hergestellten Produkte hin. PVC-Ummantelungen der Kabel werden durch offene Verbrennung oder

---

85 Bangladesch hat den weltweit größten Schiffs-Abwrackplatz mit katastrophalen Arbeits- und Umweltbedingungen.

86 v. A. Schwermetalle aus Kunststoffbauteilen und Chemikalien, die für Spezialpapiere eingesetzt werden

Verschmelzungsprozesse entfernt, was zu gefährlichen Luftbelastungen führt. Eine Untersuchung von Schrottplätzen in Ghana hat hohe Belastungen von giftigen Schwermetallen, Phtalaten<sup>87</sup> u.a.m. gezeigt. Dort werden Computer, Elektronikgeräte, Fernseher etc., die mit Blei, Quecksilber, bromierten Flammschutzmitteln<sup>88</sup> u.a.m. belastet sind, oft auch von Kindern ohne jeglichen Arbeitsschutz zerlegt [EUWID 2008b]. Seemann et al. [2008] berichten, dass qualifizierte zertifizierte Recyclingunternehmen für E-Schrott in Indien mit den kostengünstigen Einfachstverfahren der informellen Recycler nicht konkurrieren können. Die angewendeten Verfahren stellen nicht nur für die Mitarbeiter selbst, sondern für ganze Stadtteile ein mitunter erhebliches Gesundheitsrisiko dar, da nicht verwertbare Reste auf einfachen Müllkippen abgelagert und angezündet werden. Erste Vorhaben der EZ in diesem Bereich sind gestartet worden. In einem Projekt der GIZ soll das umweltverträgliche Recycling unter Einbeziehung aller wichtigen Stakeholder und entlang der gesamten Wertschöpfungskette in vier indischen Städten gefördert werden. Ziel ist Reduktion der Umweltverschmutzung als Folge von E-Schrott Recycling im informellen Sektor [Mutz 2011].

Die zunehmende Globalisierung der Recyclingmärkte hat bis zum Beginn der globalen Wirtschaftskrise Ende 2008 zu erheblichen Preissteigerungen und höherer Preisstabilität bei Sekundärrohstoffen weltweit geführt. Zuvor hatten die Sekundärrohstoffpreise, v.a. bei Papier und Pappe, eine hohe Volatilität. Wesentlicher Grund war, dass v.a. in den EU-Staaten der Aufbau von Kreislaufwirtschaftssystemen und der Ausbau der Verwertungskapazitäten nicht im gleichen Maße stattgefunden haben. Infolge des phasenweise bestehenden Unter- und Überangebots unterlagen die Preise starken zyklischen Schwankungen. Der starke Anstieg der Sekundärrohstoffpreise hat in Deutschland noch bis in den Spätsommer 2008 hinein ‚Kämpfe um die Wertstoffe‘ [EUWID 2008c] verursacht. Private Entsorgungsunternehmen sind dazu übergegangen, privaten Haushalten Vergütungen für die Überlassung von Altpapier, -glas, -textilien und -metallen zu zahlen. In Italien plante ein Unternehmen die Eröffnung von Läden analog dem SERO-System in der ehemaligen DDR, in denen Wertstoffe angekauft werden sollten [EUWID 2008d]. Die privaten Sammelunternehmen traten in Konkurrenz zu den kommunalen Sammelsystemen, die mit den Erlösen aus der Verwertung die Gebühren für die Restmüllentsorgung und andere abfallwirtschaftliche Maßnahmen subventionieren. Mit dem Verfall der Erlöse wurden diese Aktivitäten jedoch wieder eingestellt.

#### **4.2.5 Folgerungen für die Gestaltung der Abfallwirtschaft in EL**

Angesichts der Entwicklungen und den hohen Erwartungen der Politik an die Abfallvermeidung und -verwertung stellt sich die Frage, welchen Beitrag die Abfallwirtschaft zur Sicherung der Rohstoffversorgung leisten kann und welche Schlussfolgerungen daraus für den Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen in EL zu ziehen sind. Gesamtwirtschaftliche Stoffstromanalysen zeigen, dass nur ein vergleichsweise geringer Teil des Materialinputs in die Abfallentsorgung gelangt. Trotz eingeschränkter Vergleichbarkeit der Untersuchungen aufgrund abweichender Systemgrenzen, ungleicher Bilanzierung des Inputs von Luft, Wasser, Aushub und Bergematerial oder unterschiedlicher Einbeziehung der Vorketten von Importen weisen die Untersuchungen in eine ähnliche Richtung<sup>89</sup>. Stoffstrombetrachtungen von Brunner [2004] für Österreich zeigen, dass rund 15% des Aluminium-Inputs, 10% der Baustoffe, 5% des Stickstoffinputs und rund ein Viertel aller Zinkflüsse in die Abfallentsorgung gelangen. Ein großer Teil der in den Wirtschaftskreislauf eingebrachten Materialien verbleibt zunächst in den Produkten, v.a. in Investitions- und längerlebigen Konsumgütern sowie Bauwerken, deren Bestand ständig zunimmt. Viele Stoffe kommen somit erst mit großer zeitlicher Verzögerung in den Einflussbereich der Abfallwirtschaft. Je nach Nutzungsdauer kann dies Jahrzehnte dauern. Es ist daher davon auszugehen, dass v.a. in SL ein Teil der in den Gütern ‚zwischenlagerten‘ Stoffe erst in Zukunft eine größere abfallwirtschaftliche Bedeutung erlangen wird.

---

87 Phtalate werden als Weichmacher in Kunststoffen (PVC) eingesetzt und stehen im Verdacht, wie Hormone zu wirken und Unfruchtbarkeit, Übergewicht und Diabetes v.a. bei Männern hervorzurufen

88 Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten oder chlorhaltige PVC-Kabelummantelungen verursachen bei unkontrollierter Verbrennung hohe Konzentrationen von toxischen Dioxinen und Furanen.

89 s. zusammenfassend hierzu: Literatur- und Datenrecherche des Öko-Instituts [Schüler et al. 2004]

Friege/Bilitewski [2003] ziehen daraus den Schluss, dass Abfallwirtschaft als Teil eines umfassenden und ganzheitlichen Systems von Stoff- und Produktströmen begriffen werden muss, aber nicht als dessen Steuerorgan. Spangenberg/Verheyen [2006] verweisen darauf, dass Regelungen, die am gesellschaftlichen Output ansetzen, weniger effektiv wirken können als Mechanismen, die direkt den Input als Ansatzpunkt für die Stoffstromsteuerung wählen. Auch die thematische Strategie zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen der EU folgt dieser Logik und betont, dass Umweltpolitik über die Begrenzung der Emissionen und des Abfalls hinausgehen muss, um einen größeren Einfluss auf die nachhaltige Ressourcennutzung zu haben [EU 2005b]. Die thematische Strategie für Abfallvermeidung und –recycling der EU postuliert daher, dass die Abfallpolitik einen Lebenszyklusansatz verfolgen und mit der Produktpolitik verknüpft werden muss.

Abfallwirtschaft im Allgemeinen und in EL im Besonderen kann somit nur einen begrenzten Beitrag zur nachhaltigen Ressourcennutzung leisten. Sie hat i.W. zwei zentrale Aufgaben:

- Schutz von Mensch und Umwelt vor schädlichen Wirkungen
- Beitrag zur Schonung von Ressourcen

Das erste Aufgabenfeld betrifft die Gefahrenabwehr: Mensch und Umwelt sind vor schädlichen Wirkungen zu schützen, die u.a. von Abfallströmen ausgehen können. Schadstoffe müssen durch Abfallbehandlung abgebaut, zerstört oder immobilisiert und in wirksame Senken gelenkt werden. Am Ende des Stoffflusses sollen nur umweltverträgliche Emissionen in Wasser, Boden und Luft abgegeben werden. Das zweite Aufgabenfeld gewinnt im Hinblick auf das Leitbild der Nachhaltigkeit Bedeutung [Schüler et al. 2004]. Durch Vermeidung und Verwertung wird nicht nur die Material- und Energieressourceneffizienz verbessert, sondern auch die Inanspruchnahme der ‚Ressource Naturraum‘ minimiert. Bei der Verwertung dürfen die gewonnenen Stoffe allerdings kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Produkte aus Primärrohstoffen.

Auch für die EL sehen Knappe/Blazejczak [2007] einen wachsenden Problemdruck, sich nicht nur den wachsenden Umweltproblemen aus der Abfallentsorgung stellen zu müssen, sondern aufgrund der steigenden Rohstoffpreise und deren zunehmender Verknappung auch deren Nutzung. Es sei nicht nur ökologisch sinnvoll, das in den Abfällen enthaltene stoffliche und energetische Potential zu nutzen. Dies werde aufgrund der Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten auch zunehmend zur wirtschaftlichen Notwendigkeit. Durch Globalisierung und internationalen Handel werden Sekundärrohstoffe zunehmend zum nachgefragten Wirtschaftsgut. Dadurch eröffnet sich für die EL die Chance, durch den Verkauf dieser Stoffe Kostendeckungsbeiträge für die Abfallwirtschaft zu erzielen.

Perspektivisch ist auch in EL die Abfall- mit der Produktpolitik zu verknüpfen und zu einer Stoffstrom- und Ressourcenwirtschaft zu entwickeln, um durch Lenkung der Rohstoffe auf einen effizienteren und nachhaltigen Umgang mit Ressourcen hinzuwirken. Dies bedeutet zu erkennen, dass die Produkte von heute die Ressourcen von morgen sind [Dehoust et al. 2006]. Es sollten frühzeitig Strukturen und Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es ermöglichen, diese Stoffe dauerhaft zu nutzen. Eine Aufgabe beim Aufbau der Abfallwirtschaft in EL besteht somit in der Mitwirkung an der umweltfreundlichen Gestaltung von Produkten und Verfahren. Vor dem Hintergrund der institutionellen und legislativen Defizite kann dies jedoch nur mittelfristig gelingen. Die diesbezüglichen strategischen Aspekte sind von Beginn an ins Gedankengut der Entscheidungsträger und Leitungskräfte einzubringen.

## 4.3 Abfallwirtschaft und Klimaschutz

### 4.3.1 Ursachen des Klimawandels

Der Klimawandel ist auch nach Einschätzung der EU Kommission und der BR eine der größten globalen Herausforderungen im 21. Jahrhundert [BMU 2009b]. Nach Ansicht der großen Mehrzahl der Klimawissenschaftler besteht kein Zweifel mehr, dass die maßgebliche Ursache der Erderwärmung in der Erhöhung der Konzentration der Treibhausgase liegt, die inzwischen etwa das Doppelte des vorindustriellen Niveaus erreicht hat. Durch menschliche Aktivitäten wird seit Beginn der Industrialisierung der natürliche Treibhauseffekt, der i.W. auf die in der Atmosphäre enthaltenen THG Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan und Ozon<sup>90</sup> zurückzuführen ist, durch die Emission anthropogener THG<sup>91</sup> verstärkt und führt zur globalen Erwärmung. Die THG, die in ihrer natürlichen Konzentration nur in Spuren vorhanden sind<sup>92</sup>, verhindern die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche in das All, so dass auf der Erde statt lebensfeindlicher Weltraumkälte eine durchschnittliche Temperatur von 15°C herrscht. Die Zunahme der THG-Konzentrationen in der Atmosphäre verändert die Strahlungsbilanz der Erde und verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt mit der Folge erhöhter Durchschnittstemperaturen. Zum Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen trägt zudem die fortschreitende Entwaldung des Planeten bei, da Pflanzen und Bäume dieses THG in erheblichem Maße absorbieren und eine große Senke für CO<sub>2</sub> bilden.

Die verschiedenen globalen Klimamodelle zeigen bei einer Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehalts eine Klimasensitivität<sup>93</sup>, d.h. eine Empfindlichkeit des Klimas auf CO<sub>2</sub>-Änderungen, eine Erhöhung von 1,5°C bis 4,5°C, wobei die meisten Modelle eine Erwärmung um ca. 3°C berechnen. Regional wird es zu gravierenden Auswirkungen kommen in Form der Zunahme von Wetterextremen, Anstieg des Meeresspiegels und Veränderungen an der Eisbedeckung der Erde. Bei unverändertem Fortschreiten der THG-Emissionen muss aufgrund des anthropogen verursachten Treibhauseffektes bis zum Jahr 2100 mit einem Anstieg der mittleren Erdtemperatur von bis zu 6°C gerechnet werden. Aber schon bei geringeren Erwärmungen ist mit Verschiebungen der Klimazonen und erheblichen Veränderungen lokaler Klimabedingungen zu rechnen.

Im Jahr 2007 hat das IPCC – kurz: Weltklimarat - seinen vierten Sachstandsbericht veröffentlicht [IPCC 2007a]<sup>94</sup>. Er enthält eine umfassende Darstellung des Klimawandels, seiner Ursachen und Auswirkungen sowie Minderungs- und Anpassungsoptionen. Es gilt als „gesicherte Erkenntnis“ [IPCC 2007a], dass im weltweiten Durchschnitt menschliches Handeln v.a. durch den fossilen Brennstoffverbrauch seit 1750 das Klima erwärmt hat. Der Bericht der zweiten von insgesamt drei unabhängig voneinander tätigen Arbeitsgruppen des IPCC gibt den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Auswirkungen der Klimaänderungen sowie zu Verwundbarkeiten und möglichen Anpassungsstrategien wieder. Er gibt den Vertragsstaaten Orientierungs- und Entscheidungshilfe, was als „gefährliche menschliche Eingriffe“ in das Klimasystem anzusehen ist. Die Arbeitsgruppe fordert dringend sowohl Klimaschutzmaßnahmen, um die schlimmsten Auswirkungen und Risiken zu reduzieren, als auch die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsstrategien an unvermeidbare Klimafolgen. Der Bericht der Arbeitsgruppe III befasst sich mit Maßnahmen zur Minderung des Klimawan-

---

90 Der Ozongehalt spielt insbesondere in der Stratosphäre eine sehr wichtige Rolle für das Klima. Es wird vom Menschen nicht direkt, sondern indirekt über fluorierte Treibhausgase beeinflusst. Im Kyoto-Protokoll sind deshalb auch wasserstoffhaltige (HFC bzw. H-FKW), perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC bzw. FKW) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) in die Liste der Treibhausgase aufgenommen worden.

91 hauptsächlich Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (Distickstoffoxid N<sub>2</sub>O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)

92 Der Gehalt von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre beträgt 0,038%, die Konzentration von Methan (CH<sub>4</sub>) weniger als 2 ppm, die der anderen THG ist noch geringer [Wikipedia o.J.c].

93 Die Gleichgewichts-Klimasensitivität ist ein Maß für die Reaktion des Klimasystems auf einen anhaltenden Strahlungsantrieb. Sie ist definiert als mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche aufgrund einer Verdoppelung der Kohlendioxidkonzentration. Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für den Einfluss eines Faktors auf die Änderung des Gleichgewichts von einfallender und abgehender Energie im System Erde-Atmosphäre.

94 Der 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ins Leben gerufene ‚Intergovernmental Panel on Climate Change‘ - IPCC stellt alle fünf Jahre einen Sachstandsbericht zu globalen Klimaveränderungen vor. Der IPCC ist ein der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) beigeordneter Ausschuss. Hauptaufgabe ist es, Risiken des Klimawandels zu beurteilen und Vermeidungsstrategien zusammenzutragen.

dels und betrachtet Optionen für die Senkung von Treibhausgasemissionen unter wissenschaftlichen, technischen, umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten. Die Arbeitsgruppe verweist auf die Dringlichkeit eines wirksamen Klimaschutzes und das verbleibende schmale Zeitfenster, um die als noch tolerierbar angesehene Temperaturerhöhung auf durchschnittlich 2° gegenüber vorindustrieller Zeit zu begrenzen. Die Minderungsmaßnahmen und Investitionen der kommenden zwei bis drei Jahrzehnte bestimmten weitgehend, wie THG-Konzentrationen auf einem niedrigeren Niveau stabilisiert werden können. Je niedriger das Stabilisierungsniveau sein soll, desto schneller müsse dieser Umkehrpunkt erreicht werden. Das IPCC-Szenario mit dem bislang niedrigsten Stabilisierungsniveau erfordert innerhalb von 10 Jahren eine Trendwende bei den THG-Emissionen. Bis 2050 müssen die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 50 - 85% gegenüber dem Jahr 2000 reduziert werden.

#### 4.3.2 Quellgruppen und Berichtsformate gemäß IPCC

Die Ermittlung der THG-Emissionen erfolgt nach den vom IPCC herausgegebenen ‚2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories‘ [IPCC 2006]. Die Bezeichnungen, Codes und Zuordnungsvorschriften der THG-Emittenten zu den Quellgruppen basieren auf dem 1996 veröffentlichten gemeinsamen Berichtsformat<sup>95</sup> [IPCC 1996], nach dem THG-Inventarberichte strukturiert werden sollen. Folgende Quellgruppen werden unterschieden:

- Energie
- Industrieprozesse und Produktverwendung
- Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft
- Abfallwirtschaft (einschließlich Abwasserentsorgung)
- Andere Quellgruppen<sup>96</sup>

#### 4.3.3 Relevante Treibhausgase der Abfallwirtschaft

Die Abfallwirtschaft trägt v.a. durch die Emission von Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Gewisse Bedeutung hat ferner noch Lachgas (N<sub>2</sub>O). Die anderen THG des KP<sup>97</sup> haben zwar eine in Relation zum Referenzgas CO<sub>2</sub> wesentlich intensivere Wirkung, sind jedoch kein spezifisches Problem der Abfallwirtschaft. Lediglich Fluorkohlenwasserstoffe, die in als Abfall entsorgten Kühlgeräten anfallen, haben abfallwirtschaftliche Relevanz. Diese Stoffgruppen sind international im Protokoll von Montreal geregelt. (H-)FKW haben eine bis zu 14.800-fach stärkere Klimawirksamkeit als CO<sub>2</sub> und tragen derzeit zu etwa 10 Prozent zur Erderwärmung bei. Das Treibhauspotenzial von SF<sub>6</sub> ist 22.800-mal stärker als CO<sub>2</sub>. Es ist das stärkste bekannte Treibhausgas mit einer mittleren Verweilzeit von 3200 Jahren in der Atmosphäre. Aufgrund der sehr geringen Konzentration ist sein Einfluss auf die globale Erwärmung jedoch gering.

CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> sind die THG mit der höchsten Relevanz für die Klimaerwärmung. Etwa 60% des anthropogenen Treibhauseffekts werden auf CO<sub>2</sub> zurückgeführt. Methan trägt zu etwa 20% bei [IPCC 2007b]. Die Konzentration von CO<sub>2</sub> hat sich in den letzten 100 Jahren um 35%, die von Methan um 150% erhöht. Wichtigste Ursache der CO<sub>2</sub>-Konzentrationserhöhung ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe, wie Öl, Kohle und Gas, bei der unvermeidbar Kohlendioxid freigesetzt wird. Der Anstieg des Methans wird v.a. auf die Rinderzucht, Reis-anbau, den anaeroben Abbau von organischen Abfällen und Abwässern bzw. Klärschläm-men zurückgeführt.

Die Treibhauswirkung von N<sub>2</sub>O, das mit etwa 5% - 6% zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt, ist 298-mal so groß ist wie die von CO<sub>2</sub>. Hauptquellen sind die Landwirtschaft (Vieh-haltung, Düngemittel, Anbau von Hülsenfrüchten und Biomasse) sowie mit fossilen Brenn-

---

95 CRF – Common Reporting Format – s. IPCC 1996 Vol. I: Reporting Instructions

96 Die noch in den Guidelines von 1996 [IPCC1996] separat aufgeführten Sektoren ‚Lösemittel und Produktverwendung‘ wurden dem Sektor ‚Industrieprozesse‘ zugeordnet. Die zuvor eigenständigen Sektoren ‚Landwirtschaft‘ und ‚Landnutzung und Forstwirtschaft‘ wurden zu einem Sektor zusammengefasst. Darüber hinaus wurden weitere Subsektoren eingeführt [IPCC 2006]. Je nach Bedeutung einzelner Untergruppen werden diese in den Inventarberichten separat ausgewiesen.

97 Teilhalogenierte (H-FKW) und vollständig halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) werden überwiegend gezielt produziert und als Treibgas, Kühl- oder Feuerlöschmittel (H-FKW), als Isolations- und Löschgas in Hochspannungsanlagen (SF<sub>6</sub>) und industriellen Prozessen eingesetzt.

stoffen betriebene Kraftwerke und der Verkehr. Verantwortlich sind mikrobielle Abbauprozesse von Stickstoffverbindungen in den Böden, die sowohl unter natürlichen Bedingungen als auch durch Stickstoffeintrag aus Landwirtschaft, Industrie und Verkehr erfolgen. Die Lachgasentstehung ist jedoch bislang noch unzureichend erforscht. Bekannt ist, dass insbesondere bei schweren, überdüngten und feuchten Böden besonders viel  $N_2O$  in die Luft entweicht. Auch der Niederschlag von Ammonium-Stickstoff aus der Luft, der von Verdunstungen und Abwasser herrührt, kann zur Bildung von Lachgas beitragen.

$CH_4$  hat in Bezug auf das Referenzgas  $CO_2$  bei Zugrundelegung eines 100-jährigen Betrachtungszeitraums eine 25-fach stärkere THG-Wirkung. Die Verweildauer in der Atmosphäre ist jedoch mit 9 bis 15 Jahren deutlich kürzer als bei  $CO_2$ . Legt man einen 20-jährigen Betrachtungszeitraum zugrunde, ist die Wirkung von Methan um den Faktor 72 stärker als die von  $CO_2$ . Die Wahl des Betrachtungszeitraums hat somit erheblichen Einfluss auf die Wirkungsbeurteilung, wie Tabelle 1 zeigt.

**Tabelle 1: Treibhausgaspotential abfallwirtschaftlich bedeutsamer Klimagase in Abhängigkeit des Betrachtungszeitraums** [nach IPCC 2007c, entnommen UNEP 2010]

	20-yr (kg $CO_2$ -e)	100-yr (kg $CO_2$ -e)	500-yr (kg $CO_2$ -e)
Carbon dioxide $CO_2$	1	1	1
Methane $CH_4$	72	25	7.6
Nitrous oxide $N_2O$	289	298	153

Nach UNEP [2010a] sollte die Wahl des Betrachtungszeitraums in Abhängigkeit der klimapolitischen Ziele erfolgen. Für die kurzfristige Senkung von THG-Emissionen wäre somit ein Horizont von 20 Jahren angemessen, für langfristige Strategien hingegen ein 100- oder gar 500-jähriger Zeitraum. Durch Einführung fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme können THG-Emissionen vergleichsweise rasch gesenkt und damit ein bedeutsamer Beitrag zu einer schnellen Trendumkehr (s.o.) geleistet werden. In der klimapolitischen Diskussion gilt jedoch die Konvention eines 100-jährigen Betrachtungszeitraums, so dass der mögliche Beitrag der Abfallwirtschaft zur kurzfristig wirksamen Reduzierung von THG kaum beachtet wird. Die in dieser Arbeit vorgenommene THG-Bilanzierung erfolgt auf der Grundlage des international üblichen 100-jährigen Betrachtungszeitraums.

#### 4.3.4 THG-Bilanzierung in der Abfallwirtschaft

Der vierte Sachstandsbericht des IPCC [2007a] beziffert den Beitrag der direkten Abfall- und Abwasserwirtschaft zu den globalen THG-Emissionen mit 2,8 %. Dieser Wert beinhaltet jedoch nur die direkten Emissionen abfallwirtschaftlicher Anlagen und Prozesse. Er basiert zudem auf einer Systematik, die bestimmte Verfahren der Abfallwirtschaft anderen Sektoren zurechnet (s.u.). UNEP [2010a] verweist darauf, dass die direkten Treibhausgasemissionen des Sektors Abfallwirtschaft zwar gering erscheinen, durch Vermeidung und Recycling jedoch ein Mehrfaches dieses Betrages an THG-Emissionen in allen Wirtschaftsbereichen eingespart werden könne. Die hierzu erforderliche ökobilanzielle Ermittlung der THG-Wirkung abfallwirtschaftlicher Verfahren wird in Kap. 4.3.4.3 dargestellt. Zunächst werden die direkten THG-Emissionen der Abfallwirtschaft diskutiert.

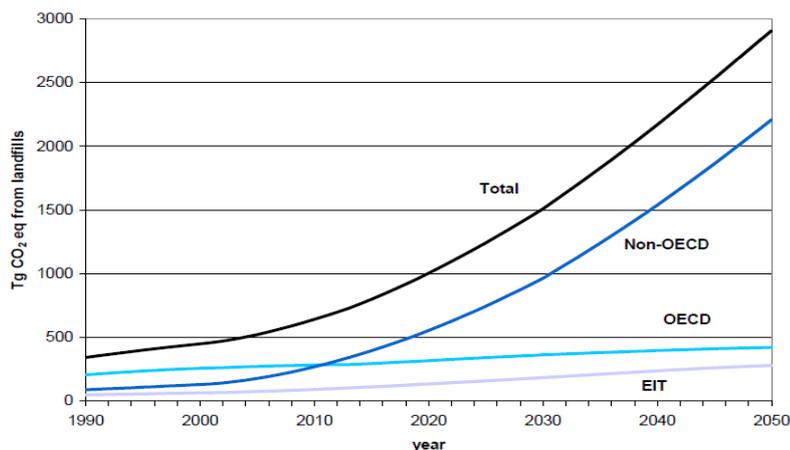
##### 4.3.4.1 Direkte THG-Emissionen der Abfallwirtschaft

Bei den direkten Emissionen der Abfallwirtschaft bilden die Methanemissionen aus Deponien und Müllkippen die größte Quelle mit etwa 700 Mio. t  $CO_2$ -äqu. pro Jahr (Abschätzung für 2009). Die nächste größte Quelle mit etwa 40 Mio. t  $CO_2$ -äqu. sind Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen [IPCC 2007b].  $N_2O$  wird zwar auch aus Deponien emittiert, die Bedeutung ist jedoch im Verhältnis zu  $CH_4$  und  $CO_2$  gering.

Die Ermittlung der THG-Emissionen insbesondere aus Deponien ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Neben unzuverlässigen Informationen und Abschätzungen über die

anfallenden Abfallmengen, ihre Zusammensetzungen und die Art der Entsorgung gibt es auch für die Modellierung der Abbauvorgänge keine zuverlässige Methode. Alle vorhandenen Modelle arbeiten mit Annahmen bzgl. Abbauraten und -geschwindigkeiten, Methanbildungsquoten und Oxidationsraten, die die im konkreten Fall vorhandenen Milieubedingungen im Deponiekörper niemals genau abbilden können (s. hierzu Kap.4.3.5.1).

Die größte Unsicherheit entsteht aus der Unkenntnis über die Art der Ablagerung. In ungeordneten Müllkippen mit geringer Verdichtung entwickeln sich keine optimalen Milieubedingungen für den anaeroben Abbau, so dass weniger  $\text{CH}_4$  gebildet und der abbaubare Kohlenstoff aerob in  $\text{CO}_2$  umgesetzt wird. In geordneten Verdichtungsdeponien sind hingegen Bedingungen für die  $\text{CH}_4$ -Entstehung gegeben mit der Folge hoher Anteile im Deponiegas. Dies führt fatalerweise dazu, dass durch den – aus gesundheits- und umweltpolitischen Gründen begrüßenswerten – Bau von geordneten Deponien die negativen Klimawirkungen der Abfallwirtschaft sogar verstärkt werden. Allerdings werden damit zugleich die Voraussetzungen für die Fassung, Behandlung und ggf. energetische Verwertung von Deponiegas verbessert [UNEP 2010a].



**Abbildung 2: Entwicklung der Methanemissionen aus Deponien in verschiedenen Regionen / Baseline-Szenario [Monni et al. 2006]**

Monni et al. [2006] haben auf der Basis von Szenarien die Entwicklung der globalen THG-Emissionen aus der Abfallwirtschaft bis 2050 abgeschätzt (s. Abb. 2). Die Autoren kommen im ‚Business-as-usual‘-Basisszenario zum Ergebnis, dass aufgrund von Bevölkerungsentwicklung, wachsendem Wohlstand, verbessertem Entsorgungsservice und dem Trend zur Ablagerung der Abfälle auf Deponien ein exponentieller Anstieg der Methanemissionen in Nicht-OECD-Staaten, d.h. v.a. in den EL zu erwarten ist. Demgegenüber sind die Emissionsentwicklungen in den OECD-Staaten und den TL relativ stabil. Daraus kann abgeleitet werden, dass mit dem Bau von geordneten Deponien zwar erhebliche Verbesserungen beim Gesundheits- und insbesondere beim Umweltschutz erreicht werden, dies jedoch klimapolitisch sehr negative Folgen hat. Es muss daher angestrebt werden, fortschrittlichere Abfallwirtschaftskonzepte in EL umzusetzen, die v.a. der Methanentstehung entgegen wirken.  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen stammen weitestgehend aus der Oxidation von fossilem und biogenem Kohlenstoff. Die Abfallzusammensetzung bestimmt in hohem Maße die spezifischen THG-Emissionen. Konventionsgemäß wird nur das aus fossilen Quellen stammende  $\text{CO}_2$  in der THG-Bilanzierung berücksichtigt. Dem stehen die Gutschriften aus der Energienutzung durch die Substitution fossiler Energieträger gegenüber, die sich im Falle der Erzeugung von Strom nach dem Strommix („Gridfactor“) des jeweiligen Landes bemessen, im Falle der Erzeugung von Dampf oder Wärme nach den spezifischen  $\text{CO}_2$ -Emissionen des substituierten Brennstoffs. Die THG-Bilanzierung für die thermische Abfallbehandlung oder Ersatzbrennstoffverwertung ist somit in hohem Maße von lokalen Rahmenbedingungen abhängig.

#### 4.3.4.2 THG-Bilanzierung gemäß IPCC

Die Abfallwirtschaft wird nach den IPCC-Guidelines [IPCC 2006] zwar als eigenständige Ka-

tegorie (zusammen mit der Abwasserentsorgung) geführt, wendet dafür aber nur ein sehr einfaches Stoffflussmodell an. Lediglich die nachsorgenden Komponenten ‚Deponierung/Ab-lagerung‘, ‚Kompostierung‘, ‚Müllverbrennung ohne Energienutzung‘ und ‚Abwasserentsorgung‘ werden dieser Quellkategorie zugerechnet. Andere Elemente einer fortschrittlichen Abfallwirtschaft, die sich durch ein differenziertes Stoffstrommanagement auszeichnet, werden entweder anderen Quellkategorien zugeordnet, um Doppelzählungen zu vermeiden, oder gar nicht bilanziert. Das IPCC-Modell wird somit den differenzierten Methoden einer fortschrittlichen Abfallwirtschaft nicht gerecht und kaschiert den potentiellen Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz [Pfaff-Simoneit 2009]. Folgende Beispiele illustrieren dies:

- Maßnahmen der Abfallvermeidung werden entweder nicht erfasst, dem Sektor ‚Industrielle Prozesse‘ zugeordnet, oder sie liegen außerhalb der Systemgrenzen. Auch wenn die dadurch erzielten THG-Einsparungen durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen induziert werden, kann kaum überzeugend argumentiert werden, dass Abfallvermeidungsmaßnahmen, die im Rahmen einer ökoeffizienteren Produktion erreicht werden und zur Reduzierung des Material- und Energieverbrauchs führen, eine reine abfallwirtschaftliche Maßnahme darstellen. Ebenso sind Materialeinsparungen infolge verbesserter Konstruktion oder Materialmodifikation eher dem Sektor ‚Industrielle Prozesse‘ zuzurechnen.
- Die durch Recycling erzielten THG-Einsparungen erscheinen entweder nicht in den Inventarberichten, da die vermiedene Aufbereitung der Primärrohstoffe und der geringere Energieaufwand bei der Produktherstellung gar nicht erst in die Statistik eingehen und damit wie ein konjunktureller Rückgang wirken, oder aber sie werden dem Sektor ‚Industrielle Prozesse‘ zugeschrieben. Bei der Verwendung von Schrott z.B. werden geringere Emissionsfaktoren als bei der Herstellung von Eisen und Stahl aus Erz angesetzt. Die im Vergleich zum Einsatz von Primärrohstoffen reduzierten THG-Emissionen treten damit in der Bilanz nicht in Erscheinung. Auch der Einsatz von Abfällen als Reduktionsmittel wird bei den jeweiligen industriellen Prozessen bilanziert.
- Verfahren der energetischen Abfallverwertung werden dem Energiesektor zugerechnet:
  - Müllverbrennung mit Nutzung der Wärme und/oder Stromerzeugung - ohne Nutzung wird sie dem Abfallsektor zugerechnet (Code 1B3, Hinweis Code 4C, Vol. 5, Ch. 5)
  - energetische Verwertung von Deponiegas (Code 1B1 ai4 und Vol. 5 Ch. 3.2)
  - energetische Verwertung von Biogas aus der Vergärung von Abfällen (Vol. 5, Ch. 4.1)
  - energetische Nutzung von Altöl, Altreifen etc. sowie aus Abfällen hergestellte Ersatzbrennstoffe (Vol. 5, Ch. 5.1)
  - die energetische Nutzung von aus Abfällen gewonnenen Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie oder in (Heiz-)Kraftwerken
  - die energetische Verwertung (Biogaserzeugung, thermische Biomassenutzung) von Abfallbiomasse und landwirtschaftlichen Abfällen wie Gülle, Mist, Ernterückstände
- CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Ablagerung biogener Abfälle werden konventionsgemäß dem Sektor ‚Landnutzung und Forstwirtschaft‘<sup>98</sup> zugerechnet. Allerdings sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Deponie im Vergleich zu den CH<sub>4</sub>-Emissionen nahezu vernachlässigbar.
- Abfälle aus der Landwirtschaft werden nur dann dem Abfallsektor zugerechnet, wenn sie gemeinsam mit anderen Abfällen entsorgt werden. Ansonsten sind sie dem Sektor ‚Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft‘ zuzuordnen (Vol. 5 Ch. 2.2.4).
- CO<sub>2</sub>-Emissionen aus biogenem Kohlenstoff<sup>99</sup> werden konventionsgemäß nicht in die THG-Bilanz einbezogen mit der Begründung, dass die Stoffe eine gleich große Menge Kohlenstoff während ihres Wachstums der Atmosphäre entzogen haben [IPCC 2006]. Kritische Autoren verweisen jedoch darauf, dass es im Hinblick auf die Klimaerwärmung egal ist, ob das CO<sub>2</sub> aus fossilen oder biogenen Quellen stamme. Die Zeiträume, bis unmittelbar freigesetztes biogenes CO<sub>2</sub> wieder durch Pflanzenwachstum der Atmosphäre entzogen werde, seien sehr langfristig [UNEP 2010a].

---

98 LULUCF – Land use, land use change and forestry

99 Holz, Papier, Bio- und Pflanzenabfälle, landwirtschaftliche Reststoffe

Gemäß IPCC [2007b] wird die Einlagerung von nicht abbaubarem Kohlenstoff in Deponien<sup>100</sup> sowie die Aufbringung von Kompost auf Böden nicht in die Bilanzierung einbezogen, soll jedoch in den Inventarberichten der KRK-Unterzeichnerstaaten berichtet werden. Manfredi et al. [2009] schätzen die THG-Minderung durch die Einlagerung von Kohlenstoff in europäischen Deponien auf 132–185 kg CO<sub>2</sub>-äqu. pro Mg abgelagertem Abfall.

#### 4.3.4.3 Ökobilanzielle Ermittlung der THG-Emissionen der Abfallwirtschaft

Die Stoffströme in der Entsorgungswirtschaft sind durch Recycling und energetische Verwertung von Abfällen mit der Energie- und Rohstoffwirtschaft eng verwoben. Das Umweltbundesamt hat daher im Jahr 2005 eine THG-Bilanz für die Abfallwirtschaft in Deutschland auf der Basis einer ökobilanziellen Betrachtung vornehmen lassen, um die Klimaschutzwirkungen der Abfallwirtschaft insgesamt zu ermitteln [Dehoust et al. 2005]. Dabei wurden neben den Beiträgen der reinen Abfallentsorgung zur THG-Minderung gemäß IPCC-CRF die Nutzen aus der Gewinnung von Energie oder Material durch energetische und stoffliche Verwertung und deren Umweltauswirkungen berücksichtigt. Für Verwertungsprodukte wurde eine Gutschrift angerechnet, die den Emissionen der Komplementärprozesse auf der Basis von Primärrohstoffen entspricht. Die Bilanzierung erfolgte unter Berücksichtigung der Vorketten ab Gewinnung der Rohstoffe einschließlich ihrer Verarbeitung und Transporte. Die THG-Bilanzierung beim Einsatz von Sekundärrohstoffen bezog sämtliche Prozessschritte von der getrennten Erfassung über die Sortierung und Aufbereitung ein. Während bei Bilanzierung gemäß IPCC die durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen seit 1990 eingetretenen THG-Reduktionen in Deutschland 20 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-äqu. pro Jahr betragen, was v.a. auf die Beendigung der Ablagerung nicht vorbehandelter Abfälle zurückzuführen ist, liegt die erreichte Reduktion bei der vorgenommenen ökobilanziellen Betrachtung hingegen mit 46 Mio. CO<sub>2</sub>-äqu. Tonnen pro Jahr mehr als doppelt so hoch. Die Abfallwirtschaft hat mit etwa 20% zu der seit 1990 erreichten Minderung von Treibhausgasen in Deutschland und damit ganz erheblich zum Erreichen der Kyoto-Ziele beigetragen [Troge 2007].

Im Jahr 2010 wurde die Studie aktualisiert [Dehoust et al. 2010] und um Modellrechnungen zu den potentiellen Beiträgen der Abfallwirtschaft zur Reduzierung von THG in den Ländern Mexiko, Türkei und Tunesien erweitert. Darin kommen die Autoren zum Ergebnis, dass diese Länder ihre nationale THG-Bilanz um 10% (Mexiko), 15% (Türkei) bzw. 16% (Tunesien) durch Einführung einer fortschrittlichen Abfallwirtschaft entlasten könnten.

Zur überschlägigen quantitativen Ermittlung der Klimawirkungen verschiedener abfallwirtschaftlicher Konzepte wurde der 'Klimarechner Abfallwirtschaft' von IFEU unter Mitwirkung des Autors entwickelt [Pfaff-Simoneit et al. 2010]. Die dem Instrument zugrunde liegende Berechnungsmethode basiert auf einem ökobilanziellen Ansatz. Er bezieht alle relevanten Komponenten eines Abfallwirtschaftssystems ein, die Auswirkungen auf die Treibhausgasbilanz haben: Stoffliches Recycling, Kompostierung/Vergärung, energetische Verwertung, Abfallvorbehandlung und Ablagerung. Er bildet diese vollständig hinsichtlich ihrer THG-relevanten Aufwendungen und Emissionen über den gesamten Entsorgungsweg ab. Nur die bei der Abfallsammlung anfallenden Emissionen bleiben unberücksichtigt, da näherungsweise angenommen werden kann, dass diese in allen betrachteten Szenarien in der gleichen Größenordnung liegen und nur einen geringen Teil von etwa 5% der durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen verursachten Emissionen ausmachen [Dehoust et al. 2005].

#### **4.3.5 CDM in der Abfallwirtschaft**

Vorhaben der Abfallwirtschaft nehmen im CDM einen breiten Raum ein. Etwa 2.000 der insgesamt etwa 8.000 Vorhaben sind dem Abfallsektor im weiteren Sinn zuzuordnen, d.h. es sind Projekte einbezogen, die Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen, v.a. Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft zumeist energetisch verwerten (über 850 Projekte) und/oder die Entstehung von Methan aus Abfällen durch Kompostierung vermeiden (über 740 Projekte). Bei den übrigen Vorhaben handelt es sich um Deponiegasprojekte (über 400 Vorhaben).

---

100 Vor allem Kunststoffe und Holz bzw. Lignin und ligninhaltige Cellulose und Hemi-Cellulose werden unter anaeroben Bedingungen kaum abgebaut [Müller et al. 2008].

Für die Abfallwirtschaft bestehen mehrere<sup>101</sup>, vom Exekutivrat des UN-Klimasekretariats genehmigte Methodologien. Es können zwei Typen unterschieden werden [vgl. Bifa 2009a]:

- Fassung und Behandlung von Methan aus Siedlungsabfalldeponien oder anderen unkontrollierten Ablagerungen organischer Abfälle ('Deponiegasprojekte')<sup>102</sup>
- Vermeidung und Verminderung der Methanbildung durch mechanisch-biologische oder thermische Vorbehandlung der Abfälle ('Abfallvorbehandlung')<sup>103</sup>

Beiden Projekttypen kann eine Energieerzeugungskomponente zugefügt werden, falls das Projekt zum Ersatz fossiler Energiequellen beiträgt, u.a. durch die Nutzung von Deponiegas, Biogas oder der Energie aus der Müllverbrennung.

#### 4.3.5.1 Deponiegasfassung versus Methanvermeidung

Das methodische Konzept beider Projekttypen unterscheidet sich grundlegend voneinander: Während bei Deponiegasprojekten die THG-Reduktion ex-post anhand der tatsächlich gemessenen Methangasmenge ermittelt wird<sup>104</sup>, erfolgt dies bei der Abfallvorbehandlung ex-ante unter Zugrundelegung der theoretischen Gasbildung im Baseline-Szenario, d.h. der Gasmenge, die entstehen würde, wenn das Vorhaben nicht durchgeführt würde. Fricke et al. [2009] kritisieren, dass das im CDM anzuwendende Abbaumodell erster Ordnung<sup>105</sup> die Gasproduktion unzuverlässig beschreibt. Die damit durchgeführten Berechnungen weichen von den in der Praxis gemessenen Gasvolumina z.T. erheblich ab, weil die klimatischen Rahmenbedingungen, Abfallarten und -eigenschaften sowie Einbaumethoden nicht ausreichend genau mathematisch modelliert werden können. Die methodischen Konventionen können sogar dazu führen, dass mit Deponiegasprojekten mehr Zertifikate generiert werden als durch Vorhaben der Methanvermeidung. Denn während bei der Verifizierung von Deponiegasprojekten vereinfacht angenommen wird, dass die erfassten den vermiedenen Gas-mengen entsprechen, können bei Vorhaben der Methanvermeidung nur die virtuellen Gas-mengen des Referenzszenarios in Wert gesetzt werden. Da eine aktive Entgasung, ggf. sogar unterstützt durch die Bewässerung des Deponiekörpers, i.d.R. mehr Methan liefert als die im Baseline-Szenario betrachtete ungeordnete Deponie, kann dies zu - scheinbar - höheren Zertifikatemengen führen als bei Vorhaben der Methanvermeidung.

Fricke et al. [2009] kritisieren, dass die methodischen Konventionen des CDM die Klimaschutzwirkung von Vorhaben der Methanvermeidung benachteiligen, obwohl der Klimaschutzeffekt der mechanisch-biologischen (MBA) und der thermischen Abfallbehandlung (TAB) weitaus größer und nachhaltiger ist als die Deponieentgasung. Abbildung 3 zeigt die spezifischen THG-Emissionen für verschiedene Verfahren der Abfallbehandlung unter Zugrundelegung einer typischen Zusammensetzung von Siedlungsabfällen in Deutschland. Da die Methanbildung in hohem Maße auf die organischen Abfälle zurückzuführen ist und in EL der Anteil dieser Fraktion wesentlich höher ist, sind hier die spezifischen THG-Emissionen auch entsprechend höher.

Die Praxis des CDM in der Abfallwirtschaft bestätigt diese Kritik. Die mit Abstand weiteste Verbreitung haben Deponiegasprojekte, gefolgt von einigen wenigen Vorhaben der Abfallbehandlung<sup>106</sup>. Deponiegasprojekte zählen zu den kostengünstigen Möglichkeiten der Generierung von Emissionszertifikaten [vgl. Pfaff-Simoneit 2008a]. Da bei Deponiegasprojekten die dem Referenzszenario zugrundeliegende Umsetzungskurve für die spätere Validierung und Zertifizierung der Emissionsreduktion unerheblich ist, ist es verständlich, dass dieser Modellansatz weitgehend kritiklos in die Projektunterlagen übernommen wird und sich so im CDM etablieren konnte. Fricke et al. [2009] fordern daher, dass für das Monitoring der Methanvermeidung geeignete Ansätze auf der Grundlage von Messungen und Analysen gefun-

---

101 Die anzuwendenden Methodologien sind v.a. abhängig von der Projektgröße und haben unterschiedliche hohe Anforderungen an die Vorabermittlung und das Monitoring der Projektemissionen.

102 Methodologien ACM 0001 für Großprojekte und AMS III.G für Kleinprojekte bis 60.000 t CO<sub>2</sub>-äqu./Jahr

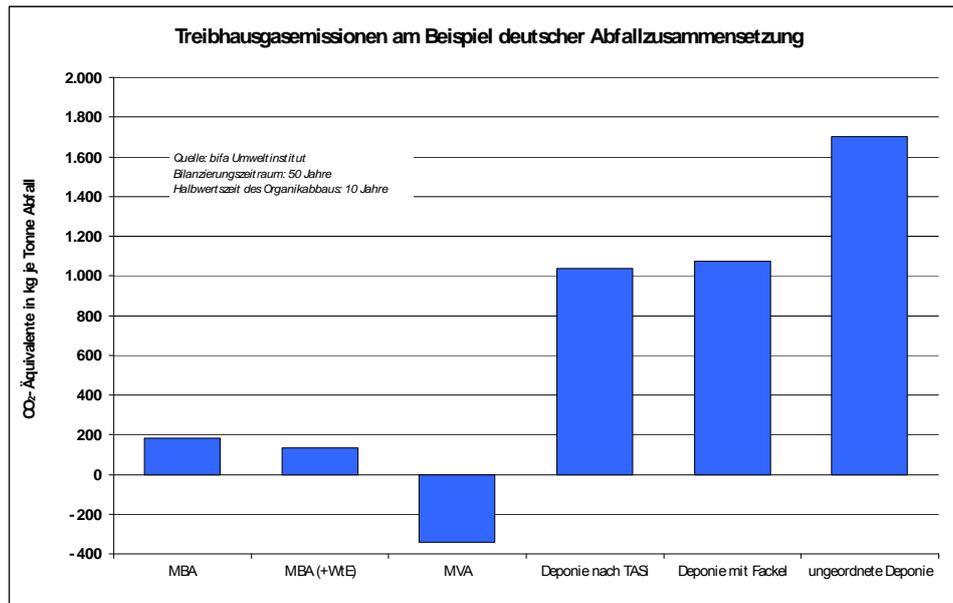
103 Methodologien ACM 0025 für Großprojekte, AMS III.E für Kleinprojekte zur energetischen Verwertung von Abfällen und AMS III.F für Kleinprojekte zur biologischen Behandlung von Abfällen/Biomasse

104 Die für die Beantragung vorzulegende ex-ante Betrachtung dient nur der Vorab-Abschätzung.

105 First order decay model

106 Über 400 Deponiegasprojekten stehen lediglich 20 Vorhaben der Abfallbehandlung gegenüber, von denen bislang erst zwei validiert wurden – Stand Ende 2011 [UNEP/RISOE 2011].

den werden müssen.



**Abbildung 3: Treibhausgasemissionen abfallwirtschaftlicher Verfahren am Beispiel deutscher Abfallzusammensetzung [Bifa 2009a]<sup>107</sup>**

Bei bestehenden Deponien und Müllkippen sind Vorhaben zur Deponieentgasung klima- und umweltpolitisch begrüßenswert. Es wird nicht nur das unkontrolliert entweichende Methan – im Rahmen der technischen und wirtschaftlichen Grenzen – gefasst und behandelt oder verwertet. Durch Ordnung der Ablagerungsflächen und Aufbringen einer Oberflächenabdeckung werden auch negative Umweltwirkungen, v.a. unkontrollierte Brände und das Eindringen von Niederschlagswasser, vermindert und damit die Sickerwasseremissionen reduziert.

Beim Aufbau von neuen Abfallwirtschaftssystemen setzt der CDM dagegen falsche Anreize. Nicht nur weil Methanvermeidungsmaßnahmen benachteiligt werden, auch die Verwertung von Abfällen ist aus Sicht der Projektträger sogar kontraproduktiv. Für sie ist es lohnender, möglichst viele Abfälle auf Deponien abzulagern und dadurch die Deponiegasproduktion zu steigern<sup>108</sup>, statt sie zu verwerten oder das Gasbildungspotential durch vorgelagerte abfallwirtschaftliche Maßnahmen zu reduzieren [Fricke et al. 2009].

Die methodischen Konventionen des CDM benachteiligen Verfahren der Methanvermeidung noch auf andere Weise: Zur Vermeidung von Doppelzählungen dürfen nach der – durchaus nachvollziehbaren - Logik des Emissionshandels Zertifikate nur in dem Maße und in dem zeitlichen Verlauf ausgegeben werden, wie sie ansonsten entstehen würden, wenn das CDM-Vorhaben nicht durchgeführt würde. Aufgrund der langsamen Abbaukinetik organischer Abfälle werden bei Projekten der Abfallvorbehandlung Zertifikate nur entsprechend der theoretischen, langfristig ablaufenden Deponiegasbildung ausgegeben. Es wird nur die Menge an THG-Reduktionen anerkannt, die innerhalb des Kreditierungszeitraums des CDM liegt. Die langfristigen positiven Wirkungen bleiben somit unberücksichtigt. Eine vollständige Anrechnung des gesamten vermiedenen Methangasbildungspotentials in dem Jahr, in dem die Behandlung erfolgt, d.h. in dem das Potenzial auch vollständig abgebaut wird, ist nach der Entscheidung des Exekutivrats entsprechend der Empfehlung des Methodikbeirats in einer Antwort auf einen entsprechenden Änderungsantrag nicht zulässig [vgl. Bifa 2009a]. Diese Sichtweise steht allerdings in gewissem Widerspruch zum sog. 'Tier 1 Modell' des IPCC zur Ermittlung von THG-Inventaren, die eine solche Vereinfachung zulässt. Theoretisch könnten die EL durch Nutzung der flexiblen Mechanismen des KP erhebliche Deviseneinnahmen

<sup>107</sup> Mit ‚ungeordneter Deponie‘ ist in der Graphik eine Verdichtungsdeponie ohne Gasfassung, d.h. anaerober Abbau der Organik unter entsprechender Methanbildung gemeint. Bei teilweise aerobem Abbau, wie sie in EL häufiger anzutreffen sind, sind die THG-Emissionen entsprechend geringer.

<sup>108</sup> gilt für biologisch abbaubare Abfälle, v.a. Bioabfälle und Papier, Pappe, Kartonagen

erzielen, die 20 – 30 % der Kosten des Abfallwirtschaftssystems decken könnten [Pfaff-Simoneit 2006]. Je nach Betrachtungszeitraum und zugrundegelegtem Zinssatz für die Diskontierung der in Zukunft anfallenden Zahlungen werden aber nur etwa 65 - 75% der durch Vorbehandlungsmaßnahmen erzielten THG-Minderungen über den CDM vergütet. Koch/Gerstmaier [2011] kritisieren, dass durch die zeitlich verzögerte Zahlung die Erlöse aus dem CDM nicht zur Deckung des hohen Kapitalbedarfs fortschrittlicher Verfahren ausreichen, um zur Überwindung bestehender Investitionshürden beizutragen.

#### 4.3.5.2 Stoffliche Verwertung im CDM

Obwohl die stoffliche Verwertung erheblich dem Klima- und Ressourcenschutz dient, wurde erst im März 2010 eine erste Methodologie zum Recycling von HDPE und LDPE für Kleinprojekte zugelassen [UNFCCC 2010a]. Die Zurückhaltung war v.a. auf das erkennbare hohe Risiko bei der Entwicklung und Genehmigung von Methodologien für Recyclingstrategien sowie bei der Verifizierung und Zertifizierung zurückzuführen. Die konservative Spruchpraxis des CDM-Exekutivrates ließ einen hohen Aufwand für das Monitoring der Projektmissionen befürchten, der mit den Gegebenheiten der Recyclingmärkte nicht vereinbar ist aufgrund von mitunter kurzfristig wechselnden Verwertungswegen, die durch Angebot und Nachfrage, Preise, Qualitäten und Lieferfristen bestimmt werden. Tatsächlich hatte das EB nach Einreichung eines ersten Methodenvorschlags entschieden [zit. in Bifa 2009b], dass Projekte, die zu einer Emissionsreduktion aus der Nutzung eines Produkts entstehen, das im Rahmen des CDM-Projekts hergestellt worden ist, nur genehmigungsfähig sind, wenn die Nutzer des Produkts in die Projektgrenzen eingeschlossen sind und das Monitoring am Verbrauchsort stattfindet. Eine solche kleinteilige Erfassung aller Stoffströme und Verarbeitungsschritte wäre in einem realen Recyclingmarkt nicht zu leisten. Darüber hinaus war die Anwendung in der ersten und auch in der zweiten Version der Methodologie AMS-III.AJ auf Recyclingmaterialien beschränkt, die in einem Umkreis von max. 200 km erfasst wurden. Auch waren nur die im Produktionsprozess durch die Substitution von Primärmaterialien erzielten THG-Einsparungen aufgrund der eingesparten Energie anrechenbar<sup>109</sup>. Die bei der Gewinnung und Aufbereitung von Primärrohstoffen infolge Substitution durch Sekundärrohstoffe vermiedenen Emissionen sowie die vermiedenen Transportemissionen werden nicht berücksichtigt. Die Methodologie ließ auch wesentliche, durch das Recycling induzierte THG-Minderungseffekte unberücksichtigt.

Die praxisfremde Beschränkung auf Materialien, die in einem bestimmten Umkreis um die Recyclinganlage erfasst wurden, wurde in Version 03 inzwischen aufgegeben [UNFCCC 2010a]. Darüber hinaus wurde die Methodologie um die Verwertung von Papier/Pappe/Kartonagen (PPK) erweitert, bei der auch die vermiedenen Methanemissionen berücksichtigt werden dürfen. Nach wie vor werden jedoch vermiedene Emissionen bei Gewinnung, Aufbereitung und Transport von Primärrohstoffen nur zum Teil einbezogen. Es ist jedoch noch nicht geklärt, wie diese projektspezifisch zu ermitteln sind. Die jeweiligen THG-Intensitäten, d.h. die spezifischen THG-Emissionen je Produktionseinheit, werden in hohem Maße von den örtlichen Rahmenbedingungen, Abbaumethoden, Eigenschaften von Lagerstätten, Materialqualitäten, Energiemix u.a.m. beeinflusst. Es würde einen erheblichen, für einzelne Akteure nicht zu leistenden Aufwand erfordern, alle diese Parameter zu erfassen und zu monitorieren. Selbst dann könnten die eingesparten Emissionen nicht zuverlässig bestimmt werden, da grundsätzlich nicht ermittelbar wäre, von welchem Lieferanten die Primärrohstoffe bzw. Vorprodukte für die betrachtete Produktion bezogen worden wären, wenn die Sekundärrohstoffe nicht zur Verfügung gestanden hätten.

Es muss letztlich konzediert werden, dass eine Berücksichtigung aller durch das Recycling erzielten THG-Reduktionen - einschließlich der Vorketten - mit der Logik des CDM nicht vereinbar zu sein scheint. Doppelzählungen, eine der Urängste des EB, lassen sich nicht mit letzter Sicherheit vermeiden. Das EB hat sich in Version 03 der Methodologie AMS-III.AJ

---

109 Beim Kunststoffrecycling bleiben v.a. die bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohöl vermiedenen THG-Emissionen unberücksichtigt. Nur die Energieaufwendungen für das Cracken zur Gewinnung des Rohstoffs Ethylen werden über Emissionsfaktoren einbezogen [vgl. Gerstmayr/Koch 2011].

gegenüber den Versionen 01/02 zwar bewegt und vertragliche Vereinbarungen als Nachweis zur Verhinderung von Doppelzählungen akzeptiert. Aufgrund der vielfältigen Geschäftsbeziehungen und Stoffströme am Recyclingmarkt ist eine solche Regelung jedoch kaum zu überwachen, Missbräuche sind nicht auszuschließen.

Eine überzeugende Lösung des Problems ist mit den projektbasierten Ansätzen des CDM vermutlich nicht erreichbar. Hier sind die sektoralen Ansätze oder NAMA (vgl. Kap. 4.3.6) in Verbindung mit Konventionen, die zwischen den Vertragsstaaten zu vereinbaren wären, wahrscheinlich zielführender. Denkbar ist die Gewährung von Credits auf der Grundlage von Standard-Emissionsfaktoren, die länder- und produktspezifisch unter Berücksichtigung der Vorketten zu entwickeln wären. Verschiedene Studien zu den THG-Reduktionspotentialen durch Recycling zeigen die große Spanne der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei verschiedenen Primärrohstoffgewinnungs- und –aufbereitungsprozessen (vgl. Anlage 1). Hierfür könnten Rechenwerte auf der Grundlage von statistischen Auswertungen zur Ermittlung der THG-Reduzierung festgelegt werden. Die Gutschriften würden den Ländern zugutekommen, in denen die Sekundärrohstoffe erfasst werden. Die potentiellen Einnahmen aus den Kohlenstoffmärkten wären zweckgebunden zur Förderung der Kreislaufwirtschaft von den Staaten in eigener Verantwortung einzusetzen.

#### 4.3.5.3 Energetische Verwertung im CDM

Im Unterschied zur stofflichen ist die energetische Verwertung von Abfällen im CDM methodisch umfassend geregelt. Bei der Ermittlung der Referenzfallemissionen aus der Energieerzeugung wird unterschieden nach

- Stromerzeugung aus Anlagen, die ins Stromnetz einspeisen
- Anlagen, die nicht an ein Netz angeschlossen sind
- Wärmeerzeugung
- Gemeinsame Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung – KWK)

Welche Referenzfälle zu berücksichtigen sind, ergibt sich aus den jeweiligen Projektrahmenbedingungen. Für die verschiedenen regionalen oder nationalen Stromnetze liegen spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren vor, die von den nationalen Behörden<sup>110</sup> publiziert werden. Falls Strom oder Wärme aus einer nicht ans Stromnetz angeschlossenen Anlage bzw. einem Heizwerk oder einer KWK-Anlage substituiert wird, muss für den Referenzfall der Emissionsfaktor dieser Anlagen auf Grundlage der eingesetzten fossilen Brennstoffe und ihres Wirkungsgrads ermittelt werden. Der Emissionsfaktor wird mit der tatsächlich im Projektfall produzierten Strom- resp. Wärmemenge multipliziert und ergibt die Referenzfallemissionen. Beim Einsatz von Abfall als Brennstoff oder von aus Abfällen gewonnenen Brennstoffderivaten werden nur die THG-Emissionen, die aus dem fossilen Kohlenstoff stammen, bilanziert.

#### 4.3.5.4 Eignung des CDM zur Förderung einer nachhaltigen Abfallwirtschaft

Insgesamt muss festgestellt werden, dass das CDM-Instrumentarium nur einen Teil der Aktivitäten einer umfassenden Kreislaufwirtschaft abdeckt. Deponiegasprojekte sind erheblich einfacher zu handhaben als Behandlungs- und Recyclingmaßnahmen. Die anzuwendenden Methodologien stellen z.T. unrealistisch hohe Anforderungen oder sehen ungünstige Standardwerte vor, so dass Projekte der Methanvermeidung für Projektentwickler wenig attraktiv sind [Gerstmayr/Koch 2011]. Auch wenn die Methodologie zum Recycling inzwischen weiter entwickelt wurde, stellt Bifa [2009b] im Ergebnis zu Recht fest, dass die Praxis des CDM der Zielhierarchie in der Abfallwirtschaft - Vorrang der Vermeidung und Verwertung - zuwider läuft. Bifa ist aktuell damit befasst, die Methodologie für Recyclingvorhaben weiterzuentwickeln [Gerstmayr et al. 2012].

#### **4.3.6 NAMA in der Abfallwirtschaft**

Zahlreiche Länder haben inzwischen Vorschläge für die Durchführung von NAMAs im Abfallsektor in ihren Ländern vorgelegt [vgl. UNFCCC 2011b]. Die meisten dieser Vorschläge haben den Charakter einer Wunschliste durchzuführender Projekte oder sind allenfalls Skizzen

mit dem Ziel, Geber für den Sektor zu gewinnen. Helmreich-Wang et al. [2011] haben bei ihrer Auswertung von ersten Vorschlägen aus Non-Annex 1 Staaten u.a. vier NAMAs für den Abfallsektor analysiert.

Den umfassendsten Ansatz bildet ein NAMA in Indonesien. Es umfasst mehrere Sektoren und beinhaltet ein Set von Maßnahmen, von der Politikformulierung über Regulierungsmaßnahmen, Kapazitätsentwicklung, Durchführung von Machbarkeitsstudien bis hin zu Bereitstellung von Finanzmitteln und Subventionen. Der Aktionsplan benennt Ziele, Indikatoren, Standorte, Budgets und Finanzierungsquellen. Im Abfallsektor sollen v.a. Deponien in 16 Städten entwickelt, die Vermeidung und Verwertung von Abfällen gefördert und institutionelle und regulatorische Verbesserungen durchgeführt werden. Die konkrete Ausgestaltung bleibt jedoch vage.

Ein NAMA in Peru zielt auf die Verbesserung der Abfallwirtschaft in 40 Städten insbesondere durch den Aufbau von geordneten Deponien. Daneben sind Maßnahmen zu Recycling, Kompostierung, Behandlung etc. vorgesehen, ohne dass dies mit konkreten Maßnahmen und Schritten zur Implementierung hinterlegt wird [Wang-Helmreich et al. 2011].

Für die Entwicklung eines NAMA in Thailand wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt [PC-IGER 2011]. Darin wurde eine 7-stufige Vorgehensweise für die Entwicklung eines NAMA im Abfall- und Abwassersektor entwickelt. Ausgehend von der Analyse vorliegender Politiken und Strategien sowie Datenerhebungen wird zunächst ein Referenzszenario definiert, das unter Berücksichtigung der finanziellen, institutionellen und technischen Barrieren sowie des fehlenden Know-hows die ‚business-as-usual‘ (BAU)-Entwicklung des Sektors beschreibt. Im nächsten Schritt werden sog. ‚NAMA-Ziele‘ definiert, indem zunächst die Haupt-THG-Quellen identifiziert, Maßnahmen konzipiert und die möglichen THG-Minderungen ermittelt werden. Auf dieser Grundlage werden Ziele definiert und prioritäre Projekte ausgewählt. Für die Vorhaben werden geeignete MRV-Methoden auf der Grundlage vorliegender CDM-Methodologien festgelegt. Die letzten beiden Schritte bilden die Suche nach Finanzierungsmöglichkeiten und die Festlegung eines Zeitplans unter Berücksichtigung der finanziellen Ressourcen. Es handelt sich letztlich um eine klassische planerische Vorgehensweise, die auf ein Programm angewendet wird. Zwar werden in Schritt 2 Barrieren analysiert, die nach den vorliegenden Erfahrungen (s. Kap. 2.5) entscheidende Hemmnisse für die Entwicklung des Sektors bilden. Im weiteren Ablauf wird aber nicht erkennbar, mit welchen Maßnahmen und v.a. wer zur Überwindung dieser Barrieren beitragen soll und wie. Das NAMA in Thailand stellt aus Sicht des Autors eine technokratische Herangehensweise dar, das die Kernprobleme zwar benennt, nicht aber die Maßnahmen zu deren Überwindung. Es dient der Identifizierung und Priorisierung von Projekten, liefert aber keinen Ansatz für eine Transformation des Sektors hin zu einer klimafreundlichen Abfallwirtschaft.

Ein NAMA in Tunesien zielt auf die Verminderung von Methanemissionen aus biologisch abbaubaren Abfällen wie landwirtschaftlichen Reststoffen, Marktabfällen, Resten der Nahrungsmittelverarbeitung, Klärschlamm etc.. Bioabfälle aus Haushalten sind nicht eingeschlossen, da für diese bereits CDM-Vorhaben in Form von Deponieentgasungsprojekten durchgeführt werden. Das Konzept umfasst neben geeigneten Techniken Maßnahmen zur Schaffung gesetzlicher Grundlagen und Einführung technischer Standards. Die zuständigen Institutionen werden benannt und ein Zeitplan vorgeschlagen. Bestehende Barrieren werden beschrieben, v.a. der Mangel an Know-how und an Erfahrungen mit geeigneten Technologien, Unsicherheiten über die Absatzmöglichkeiten für Kompost, mangelnde Durchführungskapazitäten, divergierende Interessenlagen von Beteiligten und nicht zuletzt finanzielle Restriktionen [MEDD 2010]. Die Maßnahmen umfassen die Durchführung von mehreren Studien und Untersuchungen zu einzelnen Aspekten, Kapazitätsentwicklung und Öffentlichkeitsarbeit. Es werden Schritte zur Identifizierung und Vorbereitung von Projekten beschrieben, die der üblichen Vorgehensweise bei der Projektentwicklung entsprechen. Die eigentliche Konzeptentwicklung ist Bestandteil einer noch durchzuführenden Studie. Die vorgeschlagene Vorgehensweise stellt somit keinen neuen Ansatz dar, der sich von einem Abfallwirtschaftskonzept erkennbar unterscheidet.

Wang-Helmreich et al. [2011] urteilen in ihrer Analyse der untersuchten NAMAs, dass diese noch nicht detailliert genug sind, um bewerten zu können, ob sie jeweils förderungswürdig sind. Viele stellen lediglich Skizzen dar mit dem Ziel, entsprechende nationale politische Prozesse auszulösen. Sie halten es für dringend notwendig, ein Format festzulegen, welche Informationen NAMA-Vorschläge beinhalten sollten, um eine mögliche internationale Förderung prüfen zu können. Bei den Indikatoren überwiegen die prozeduralen oder Input-Indikatoren, d.h. die Definition von Handlungsschritten und Entscheidungen zur Entwicklung und Umsetzung eines NAMA. Wirkungsbezogene oder Output-Indikatoren, die die erreichten THG-Minderungen messen, sind bislang die Ausnahme.

#### **4.4 Schlussfolgerungen für die Gestaltung einer nachhaltigen Abfallwirtschaft in EL**

Die THG-Emissionen der Abfallwirtschaft in EL sind insbesondere aufgrund der hohen Anteile abbaubarer Organik von erheblicher Bedeutung. EL können durch die Einführung einer Kreislaufwirtschaft und Anwendung von Verfahren der Methanvermeidung signifikant zur Reduzierung ihrer nationalen THG-Bilanz beitragen. Zugleich leisten sie damit einen erheblichen Beitrag zum Gesundheits- und Umweltschutz und zur nachhaltigen Entwicklung.

Das bislang verfügbare Instrument ‚CDM‘ ist in seiner jetzigen Form für diese Zwecke kaum geeignet. Er setzt falsche Anreize und behindert eher den Aufbau von Kreislaufwirtschaftssystemen anstatt sie zu fördern [Fricke et al. 2009; Gerstmayr/Koch 2011]. Eine genaue Messung und Bilanzierung der THG-Wirkungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen ist kaum möglich, da diese sich gegenseitig überlappen und aus der Summe mehrerer Prozessschritte resultieren, die mit der Logik des CDM nicht gemonitort werden können.

Diese Schwierigkeiten sind bei NAMA und sektoralen Ansätzen geringer. Sie setzen Anreize für sektorweite Transformationen und umgehen das Problem des Nachweises der Zusätzlichkeit. Allerdings ist die Bilanzierung der THG-Emissionen auf Modellierungen und Projektionen angewiesen, die Unsicherheiten mit sich bringen [Ott et al. 2009]. Angesichts der Vielfalt der Stoffströme in der Kreislaufwirtschaft, der Vielzahl von Anlagen und Technologien, des überwiegend öffentlichen Charakters der Abfallwirtschaft als Teil der staatlichen Daseinsvorsorge, der Schwierigkeiten und Unzulänglichkeiten der Methodologien des CDM für die Abfallwirtschaft liegen in NAMA und sektoralen Ansätzen erheblich bessere Möglichkeiten für den Aufbau fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme [Pfaff-Simoneit 2010a]. UNEP [2010a] sieht in sektoralen Ansätzen ein geeignetes Instrument des Technologietransfers in der Abfallwirtschaft zur Erhöhung des Beitrags zum Klimaschutz. Der Beitrag dieser Arbeit besteht darin, einen solchen Ansatz zu operationalisieren und die Umsetzbarkeit insbesondere auch unter Kostenaspekten zu analysieren.

## 5 DISKUSSION FORTSCHRITTLICHER STRATEGIEN UND VERFAHREN DER ABFALLWIRTSCHAFT UNTER ENTWICKLUNGSASPEKTEN

### 5.1 Vorgehensweise, Zielsetzung und Eingrenzung der Arbeit

In diesem Kapitel werden fortschrittliche Strategien und Verfahren der Abfallwirtschaft unter Entwicklungsaspekten diskutiert. Die Betrachtungen beziehen sich auf Siedlungsabfälle. Andere Abfallarten oder Technologien werden soweit einbezogen, wie durch eine gemeinsame Entsorgung mit Siedlungsabfällen Synergien entstehen können oder Parallelen zur Siedlungsabfallwirtschaft bestehen. Dazu werden unterschiedliche Abfallwirtschaftskonzeptionen (AWK) entworfen und für typisierte Abfallzusammensetzungen die

- Stoffbilanz
- Energiebilanz
- Treibhausgasbilanz

ermittelt. Hierzu wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Excel-basiertes Bilanzierungstool entwickelt. Das Tool betrachtet im Interesse der Übersichtlichkeit und einer vergleichsweise leichten Handhabung lediglich die mengenmäßig bedeutsamen Stoffströme<sup>111</sup>. Die Betrachtungstiefe reicht jedoch aus, um die Fragestellungen dieser Arbeit ausreichend differenziert diskutieren zu können.

Die Beschreibung des Bilanzierungstools, die Berechnungen und die Erläuterung der getroffenen Annahmen bzw. der für die Bilanzierung verwendeten technischen Parameter enthält Anlage 2. Eine Darstellung der betrachteten Verfahren enthält Anlage 1.

Die Diskussion der Abfallwirtschaftskonzepte (AWK) erfolgt anhand der Kriterien

- Beitrag zur Ressourcenschonung
- Beitrag zum Klimaschutz
- Sozialverträglichkeit
- Management- und Know-how-Anforderungen
- Flexibilität im Hinblick auf veränderliche Abfallzusammensetzungen

Kosten- und Finanzierungsaspekte werden in Kap. 6 diskutiert. Eine Betrachtung im Hinblick auf die 'klassischen' Ziele der Abfallwirtschaft<sup>112</sup> (vgl. Kap. 4.1) ist im Rahmen dieser Arbeit entbehrlich. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit der Umsetzung einer geordneten Abfallwirtschaft, v.a. einer geregelten Einsammlung und der umweltverträglichen Ablagerung der Abfälle, diese grundlegenden Ziele erreicht werden. Die Diskussion unter Umweltschutzaspekten kann ohnehin sinnvoll nur unter Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen und der Schutzerfordernisse der Umweltmedien erfolgen.

Die Diskussion der Verfahren erfolgt unter der Annahme, dass die Anlagen nach dem Stand der Technik realisiert und betrieben werden, Inspektions-, Wartungs- und Reparaturarbeiten regelmäßig und rechtzeitig erfolgen sowie qualifiziertes Personal zur Verfügung steht. Risiken hinsichtlich dieser Annahmen für EL werden unter dem Kriterium 'Management- und Know-how-Anforderungen' diskutiert. Es werden nur Verfahren betrachtet, die die Mindestanforderungen an eine umweltverträgliche Entsorgung erfüllen. Sie müssen sich in IL bewährt haben, und es müssen ausreichende Praxiserfahrungen vorliegen. In der Entwicklung oder Erprobung befindliche Verfahren werden nicht betrachtet<sup>113</sup>. Deren Einsatz erscheint unter den Bedingungen in EL nicht sinnvoll, da die erforderlichen Rahmenbedingungen und das notwendige fachlich-wissenschaftliche Umfeld für erforderliche Entwicklungsarbeiten nicht gegeben sind bzw. erst aufgebaut werden müssen (vgl. Kap. 7.5).

---

111 So werden etwa Reste aus der Wertstoffsartierung oder der biologischen Verwertung nicht betrachtet.

112 Schutz der menschlichen Gesundheit, Siedlungshygiene, Umweltschutz - insbesondere Wasserressourcen- und Bodenschutz, Luftreinhaltung, geordnete Siedlungsentwicklung, nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung

113 z.B. vollautomatische Sortierung gemischter Abfälle, thermische Ent- und Vergasung, Plasmaverbrennung

## 5.2 Mengen und Eigenschaften von Siedlungsabfällen in EL

Die Diskussion von Verfahren und Strategien wird wesentlich beeinflusst von den Eigenschaften der Abfälle bzw. den darin enthaltenen Potentialen für eine stoffliche und energetische Verwertung, ihrem THG-Bildungspotential und klimatischen Gegebenheiten. Eine allgemeine Charakterisierung von Siedlungsabfällen aus EL ist nicht möglich, da selbst innerhalb eines Landes die Zusammensetzungen erheblich schwanken können.

Siedlungsabfälle umfassen alle Abfallarten, die in Siedlungen anfallen und üblicherweise von den Kommunen entsorgt werden. Sie beinhalten neben Hausmüll Abfälle aus Geschäften, Gewerbebetrieben, Verwaltungen, öffentlichen Einrichtungen und Anlagen, Markt- und Straßenausrüstungen u.a.m. In EL enthalten Siedlungsabfälle vielfach Abfälle aus Industrie und Gewerbe sowie Stoffe und Produkte, die eigenständiger Entsorgungslösungen bedürfen, v.a. Elektro- und Elektronikschrott, gefährliche Abfälle, Tierkörper, Schlachtabfälle, Fäkalien, Bauschutt u.a.m.<sup>114</sup> Für diese bestehen i.d.R. keine eigenen Entsorgungssysteme [EAWAG 2008]. Sie sind unter den o.g. Diskussionsaspekten differenziert zu betrachten und werden daher nicht einbezogen. Als Grundlage für die Berechnungen werden Modellabfälle definiert.

### 5.2.1 Einflussfaktoren

Mengen und Eigenschaften von Siedlungsabfällen variieren in weiten Grenzen. Neben dem Lebensstandard und den Konsummöglichkeiten haben v.a. die Verfügbarkeit lokaler Ressourcen, klimatische Gegebenheiten und die Ernährungsgewohnheiten großen Einfluss [UNEP 2005]. Abfälle in tropischen und subtropischen Regionen sind i.d.R. gekennzeichnet durch hohe Anteile organischer Abfälle und hohe Wassergehalte. Abfälle aus gemäßigten und kühlen Klimazonen weisen je nach Jahreszeit einen mitunter stark schwankenden Aschegehalt auf. Einflüsse der Ernährungsgewohnheiten zeigen sich z.B. in vielen asiatischen Ländern an hohen Anteilen flüssiger bis matschiger, mit Knochen und Gräten vermischter Essensreste, die i.d.R. mehrfach in Plastiktüten eingepackt sind [Dilewski/Stretz 2003]. Abfälle aus dem mediterranen Raum haben zumeist erhöhte Gehalte an Olivenölschlacke, was auf die Sickerwassereigenschaften Einfluss hat.

Die Spannweite für das spezifische Siedlungsabfallaufkommen in EL kann mit etwa 0,2 – 1,2 kg/E\*d<sup>115</sup> angegeben werden [vgl. z.B. UNEP 2005; World Bank 2005; IPCC 2006<sup>116</sup>; ADB 2007; World Bank 2008; Lacoste/Chalmin 2009]. Nach einer Aufstellung von Rida [2008] liegt das spezifische Siedlungsabfallaufkommen städtischer Regionen in arabischen Ländern mit 0,8 – 0,9 kg/E\*d annähernd in der gleichen Größenordnung wie in Westeuropa. Nassour [2005] und Dorvil [2007] führen aus, dass die spezifischen Abfallmengen in den EL zunehmen. Allerdings sind die Literaturwerte mit Vorsicht zu verwenden. Hoornweg/Thomas [1999] weisen auf folgende Faktoren hin, die die Belastbarkeit der Daten in Frage stellen:

- nicht definierte Bezeichnungen
- unvollständige Daten und inkonsistente Werte
- fehlende Angaben zu Methodologie, Ort, Zeitpunkt/Jahreszeit und Randbedingungen der Probenahme
- fehlende/unklare oder inkonsistente Verwendung von Einheiten<sup>117</sup>
- Angabe von Schätzwerten ohne Kennzeichnung oder Nennung ihrer Basis
- fehlende Angabe der Datenquellen

Diese Befunde gelten auch noch heute. Belastbare Daten zum Abfallaufkommen sind häufig allein aufgrund des Fehlens von (funktionsfähigen) Waagen an den Entsorgungsanlagen nicht verfügbar. Bei Abfallanalysen wird oft nicht dargelegt, ob es sich um Abfälle aus privaten Haushalten handelt oder Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen eingeschlossen sind;

---

114 So ist der Rohstoffaspekt für Elektro- und Elektronikabfälle von besonderer Bedeutung, v.a. im Hinblick auf seltene Erden und Metalle [Hagelüken/Schuep 2009]. Gefährliche Abfälle tragen in besonderer Weise zu Umweltbelastungen und -risiken bei, Tierkörper bedürfen aufgrund von Hygieneaspekten der separaten Entsorgung.

115 Die Angabe in kg pro Einwohner und Tag ist international üblich. Gleichwohl ist nicht immer klar, ob sich dies auf die Zahl der Tage pro Jahr oder die Zahl der Tage mit Abfallsammlung bezieht.

116 Die IPCC-Guidelines geben umfangreiche Empfehlungswerte für verschiedene Regionen der Welt.

117 So fehlt z.B. oft die Angabe, ob sich die Zusammensetzung auf Volumen oder Gewicht bezieht

auch der Ort der Probenahme wird meist nicht angegeben. Es bleibt somit unklar, ob die untersuchten Abfälle die von informellen Wertstoffsammlern aussortierten Stoffe beinhalten, ob nicht (regelmäßig) eingesammelte Abfälle aus Gebieten ärmerer Bevölkerungsschichten eingeschlossen sind usw.

Der Anstieg der spezifischen Abfallmengen mit zunehmender Entwicklung ist v.a. auf die verstärkte Verwendung von Papier/Pappe, Verpackungsmaterial, Kunststoffen, Verbundmaterialien und Konsumgütern infolge sich ändernder Konsum- und Lebensgewohnheiten zurückzuführen [ADB 2007]. Die spezifischen Mengen an trockenen Wertstoffen sind daher in urbanen Gebieten höher als in ruralen Regionen<sup>118</sup>. Zunehmende Abfallmengen gehen einher mit sich verändernden Zusammensetzungen und der Abnahme des spezifischen Gewichts. Darüber hinaus ist eine Zunahme von gesundheits- und umweltgefährdenden Abfällen - auch in Konsumgütern, v.a. Elektronikschrott – festzustellen [Seemann/Ravindra 2008].

Kennzeichnend sind die hohen Anteile organischer Abfälle. Dies geht einher mit hohen Wassergehalten, die v.a. über die Organik eingetragen werden. Darüber hinaus beeinflussen das Klima und das Sammelsystem die Wassergehalte. Bei offenen Sammelgefäßen<sup>119</sup> oder systemloser Sammlung werden die zur Abfuhr bereit gestellten Abfälle durch Niederschläge durchnässt. Die Annahme hoher Organikgehalte kann allerdings nicht verallgemeinert werden. Insbesondere in ländlichen Gebieten werden Nahrungsmittelabfälle zur Fütterung des Viehs verwendet. Darüber hinaus können lokale Besonderheiten die Abfallzusammensetzung signifikant verändern<sup>120</sup>. Typisch für Abfälle aus EL sind ferner hohe Dichten<sup>121</sup>. Neben hohen Organikgehalten ist dies auf höhere Anteile inerter Abfälle und Feinmüll zurückzuführen. In kühlen Klimazonen kommen häufig hohe Ascheanteile vor. Darüber hinaus sind Wege und Baugrundstücke oft nicht befestigt, so dass Staub, Sand und Steine über den Kehricht in den Abfall gelangen.

### 5.2.2 Definition von Abfalltypen

Als Grundlage für die Material-, Energie- und THG-Bilanzierungen werden Abfalltypen definiert, die sich an charakteristischen durchschnittlichen Abfallzusammensetzungen aus verschiedenen Regionen der Welt orientieren. Die Angaben können nicht verallgemeinert werden und bilden für konkrete Planungen keine belastbare Grundlage. Innerhalb eines Landes und selbst innerhalb einer Kommune schwanken die Abfallmengen und –zusammensetzungen in weiten Grenzen. Für konkrete Planungen sind die örtlichen Gegebenheiten sorgfältig zu analysieren. Die Abfallparameter können im entwickelten Bilanzierungstool variiert werden. Die definierten Abfalltypen stellen somit eine idealtypische Klassifizierung für die Zwecke dieser Arbeit dar. Sie repräsentieren folgende Rahmenbedingungen:

- ❖ **EL mit niedrigem BIP - < 2.000 EUR / E / a**
  - Abfalltyp A1: Tropische / subtropische Klimazonen, urbane/semi-urbane Gebiete
  - Abfalltyp A2: Aride und semiaride Klimazonen, urbane/semi-urbane Gebiete
  - Abfalltyp A3: Tropische / subtropische Klimazonen, rurale Gebiete
  - Abfalltyp A4: Aride und semiaride Klimazonen, rurale Gebiete
- ❖ **EL mit mittlerem BIP - 2.000 – 4.000 EUR / E / a**
  - Abfalltyp B1: Tropische / subtropische Klimazonen, urbane und rurale Gebiete
  - Abfalltyp B2: Aride und semiaride Klimazonen, urbane und rurale Gebiete
- ❖ **EL mit höherem BIP - > 4.000 EUR / E / a**
  - Abfalltyp C1: Tropische und subtropische Klimazonen, urbane und rurale Gebiete
  - Abfalltyp C2: Aride und semiaride Klimazonen, urbane und rurale Gebiete

---

118 Diese Zusammenhänge stellt [EAWAG 2008] sehr anschaulich dar, indem Mengen und Zusammensetzungen kommunaler Abfälle verschiedener Städte in Abhängigkeit des Brutto-Inlandsprodukts aufgetragen sind.

119 Häufig sind Deckel nicht vorhanden, defekt oder schwergängig, so dass die Gefäße offen stehen.

120 Kölsch [2010] berichtet über ein Vorhaben in einer Region im Südwesten Chinas, wo aus Sand und Kohlestaub gepresste 'Kochsteine' zum Kochen verwendet werden, was zu extrem hohen Inertanteilen führt.

121 Eine Verdichtung der Abfälle bei der Sammlung ist daher oft nicht erforderlich. Die in IL eingesetzten Fahrzeuge sind eher ungeeignet und verschleifen aufgrund hoher Inertstoffanteile der Abfälle [Zurbrügg 2003].

Mit den Parametern ‚Organikgehalt‘ (Küchen- und Gartenabfälle), ‚Wertstoffe‘, ‚Inertes/ Sonstiges‘ und ‚Wassergehalt‘ können die Eigenschaften der Abfälle für die Fragestellungen dieser Arbeit, d.h. für die Stofffluss-, Energie- und THG-Bilanzierung, hinreichend genau beschrieben und differenziert werden. Tabelle 2 zeigt die verwendeten Kennwerte der Modellabfälle. Ergänzend sind die Heizwertbereiche und das THG-Potential angegeben. Alle Werte basieren auf rechnerischen Ermittlungen unter Zugrundelegung typischer physikalischer Eigenschaften der Fraktionen.

**Tabelle 2: Charakteristika der verwendeten Abfalltypen**

	Organikgehalt*	Wertstoffgehalt**	Inertes, Sonstiges	Wassergehalt	Heizwert H <sub>u</sub> [MJ/kg]	THG-Potential*** [Mg CO <sub>2</sub> -äqu. / Mg Abfall]
Abfalltyp A1	≥ 65%	≤ 15%	15 – 25%	≥ 40%	3 – 4	0,8 – 1,3
Abfalltyp A2	≥ 65%	≤ 15%	15 – 25%	≤ 40%	4 – 5	0,8 – 1,3
Abfalltyp A3	≤ 45%	≤ 15%	≥ 40%	≥ 30%	2 – 3	0,5 – 0,8
Abfalltyp A4	≤ 45%	≤ 15%	≥ 40%	≤ 30%	3 – 4	0,5 – 0,8
Abfalltyp B1	50 - 65%	15 – 25%	≤ 20 %	≥ 40%	4 – 5	0,9 – 1,4
Abfalltyp B2	50 - 65%	15 – 25%	≤ 20 %	≤ 40%	5 – 6	0,9 – 1,4
Abfalltyp C1	≤ 50%	≥ 25%	≤ 20 %	≥ 40%	5 – 6	0,9 – 1,4
Abfalltyp C2	≤ 50%	≥ 25%	≤ 20 %	≤ 40%	6 – 7	0,9 – 1,4

(%-Angaben bezogen auf Frischmasse)

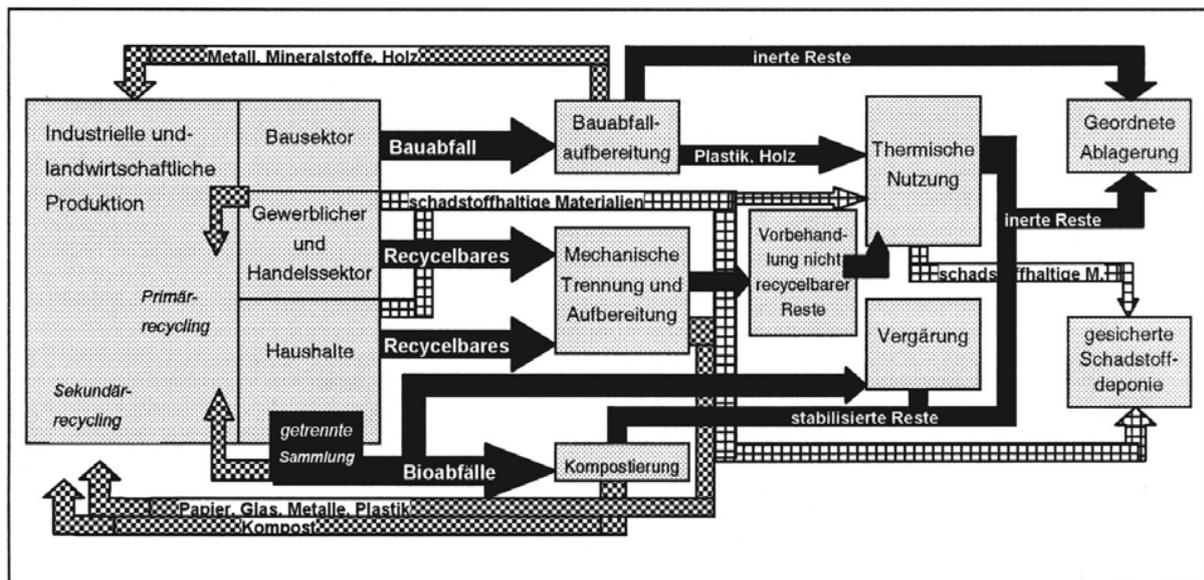
\* nur Bioabfälle; PPK sind unter Wertstoffen subsummiert

\*\* trockene Wertstoffe: Papier, Pappe, Kartonagen, Metalle, Glas, Kunststoffe, Textilien, Verpackungsverbunde

\*\*\* unterer Wert: mit Methankorrekturfaktor 0,65 (s. Kap. 5.4.2.1), oberer Wert: langfristiges Potential

### 5.3 Entwurf unterschiedlicher Abfallwirtschaftskonzeptionen

Fortschrittliche Abfallwirtschaftskonzepte (AWK) basieren auf einem integrierten Ansatz, bei dem verschiedene Elemente kombiniert werden, um die höchstmögliche Umweltsicherheit beim Umgang mit Abfällen zu gewährleisten und den bestmöglichen wirtschaftlichen Gewinn aus den verschiedenen Abfallbestandteilen ziehen zu können [Bilitewski et al. 2009]. Abbildung 4 zeigt, wie sich in einem idealen Umfeld die verschiedenen Verfahren ergänzen, wobei Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen einbezogen sind.



**Abbildung 4: Optimiertes Abfallmanagement**

[nach Koch/Seeberger 1984, modifiziert Bilitewski et al. 2009]

Die anzuwendenden Strategien und Verfahren hängen wesentlich von den Zielsetzungen, lokalen Rahmenbedingungen, Verwertungs- und Absatzmöglichkeiten, rechtlichen Vorgaben sowie den strategischen Zielen und Prioritäten ab.

Abfallwirtschaftliche Verfahren dienen meist mehreren Zwecken. Es können grundsätzlich folgende Strategien unterschieden werden:

- stoffliche Verwertung / Materialrückgewinnung aus Abfällen
- biologische Verwertung von Abfällen
- energetische Verwertung von Abfällen
- umweltverträgliche Behandlung und Ablagerung

Anlage 1 enthält neben einer Darstellung der betrachteten Verfahren und der für ihre Beurteilung relevanten Merkmale eine Klassifizierung nach ihrem Haupt- und Nebenzweck.

Als Grundlage für die Bilanzierung werden AWK entworfen, die unterschiedliche Strategien verfolgen. Eine isolierte Betrachtung der einzelnen Verfahren ist nicht zielführend und kann v.a. im Hinblick auf die Kosten sogar zu falschen Schlussfolgerungen führen [Hogg et al. 2002]. Tabelle 3 zeigt die untersuchten Systemkonfigurationen.

**Tabelle 3: Betrachtete Systemkonfigurationen**

Systemelemente		Sammlung		Sortierung		Biologische Verwertung		Mechanisch – biologische Behandlung			Energetische Verwertung	
		Getrennte Sammlung Wertstoffe	Getrennte Sammlung Bioabfälle	Aussortierung Wertstoffe	Aussortierung heizwertreiche Stoffe	Kompostierung einfach Bioabfälle	Intensivrotte / Vergärung Bioabfälle	MBA einfach	MBS / MPS	MBA Intensivrotte / MBA Vergärung	EBS-HKW	Thermische Abfallbehandlung
Gruppe I	AWK Ia			●				●				
	AWK Ib			○	●			●				
	AWK Ic			○					●			
	AWK Id			○	●					●		
Gruppe II	AWK IIa	●		●				●				
	AWK IIb	●		○	●			●				
	AWK IIc	●		○					●			
	AWK IId	●		○	●					●		
Gruppe III	AWK IIIa	●	●	●		●		●				
	AWK IIIb	●	●	○	●		●	●				
	AWK IIIc	●	●	○	●	●				●		
	AWK IIId	●	●	○			●		●			
Gruppe IV	AWK IVa			○								●
	AWK IVb	●		○								●
	AWK IVc	●	●	○		●						●
	AWK IVd	●	●	○			●					●
BAU				●								

Legende: ○ – nur qualitativ hochwertige Anteile

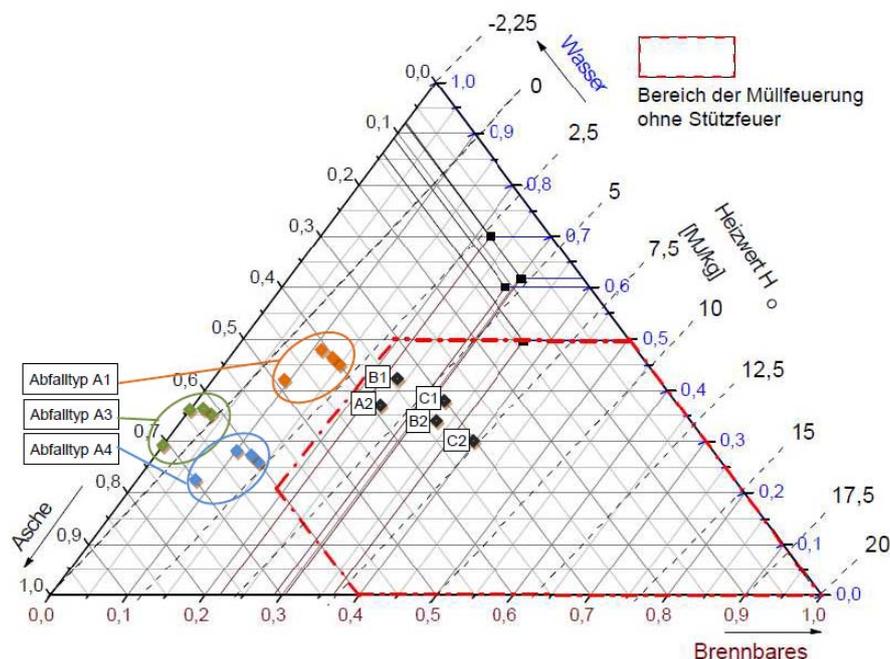
In Tabelle 3 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit die Systemkomponenten ‚Restabfallsammlung‘ und ‚Deponie‘ nicht aufgeführt, da sie Bestandteil jedes Abfallwirtschaftskonzepts sind. Hingegen ist die Aussortierung von Wertstoffen enthalten, auch wenn sie in allen Mo-

dellen vorkommt. Da die Aktivitäten des informellen Sektors jedoch nicht unterbunden werden können und auch nicht sollen, ist diese Komponente in EL konzeptionell immer zu berücksichtigen.

Die AWK sind entsprechend ihrer spezifischen Merkmale in Gruppen gegliedert.

- Die AWK der Gruppe I sind unter der Zielsetzung eines möglichst geringen organisatorischen Aufwands und einfacher Umsetzbarkeit konzipiert worden und durch einfache Sammelkonzepte gekennzeichnet. Die Verwertung erfolgt durch Aussortierung von Wert- und Ersatzbrennstoffen aus gemischten Abfällen, die Restabfallströme werden in mechanisch-biologischen Verfahren behandelt.
- Die AWK der Gruppe II unterscheiden sich von denen der Gruppe 1 lediglich durch die Komponente der getrennten Erfassung trockener Wertstoffe an der Quelle. Die Sortierung beschränkt sich auf qualitativ hochwertige, wenig verunreinigte Anteile. Der Organisationsaufwand ist entsprechend größer.
- In Gruppe III werden neben trockenen Wertstoffen auch Bioabfälle getrennt gesammelt. Dabei ist AWK IIIa unter dem Leitgedanken konzipiert, möglichst die Kosten zu minimieren, in den Modellen IIIb, c und d soll zugleich ein Energieertrag durch Einsatz unterschiedlicher Verfahren erzielt werden.
- Gruppe IV hat als gemeinsames Merkmal die thermische Behandlung resp. energetische Verwertung in einer TAB. Die Sammelkonzeption bzw. die stoffliche und biologische Verwertung wird in den verschiedenen Modellen variiert.

Anlage 3 enthält Beschreibungen der betrachteten AWK sowie Beurteilungen in Form von Steckbriefen. Als Referenzszenario wird das ‚Standarddesign‘ von Vorhaben der deutschen FZ betrachtet [Pfaff-Simoneit 2006], mit den Komponenten ‚Aussortierung verwertbarer Fraktionen‘ – i.d.R. durch den informellen Sektor - und Ablagerung auf einer geordneten Deponie.



**Abbildung 5: Lage der Modellabfalltypen im Brennstoffdreieck vor und nach Aussortierung**

Die Berechnungen der Stofffluss-, Energie- und Klimabilanzen (s. Anlage 4) ergeben, dass Konzepte mit thermischer Behandlung für die Abfalltypen A1, A3 und A4 nicht geeignet sind, da das Verhältnis von Brennbarem, Asche und Wassergehalt für eine selbstgängige Verbrennung nicht ausreicht. Abbildung 5 zeigt die Lage der Modellabfälle im Brennstoffdreieck. Die Punkte in den jeweiligen Ovalen zeigen die Abfalltypen ohne und nach Getrenntsammlung bzw. Aussortierung von Wertstoffen, heizwertreichen Stoffen und Bioabfällen. Theoretisch könnten diese Abfälle durch Stützfeuerung oder Zugabe von Kohle verbrannt werden. Ein anderer möglicher Ansatz wäre die mechanische Trennung heizwertreicher und

inertter Komponenten. Dies würde jedoch die Kosten nach oben treiben, ohne dass die spezifischen Vorteile der thermischen Behandlung für den gesamten Restabfallstrom wirksam würden. Aufgrund der hohen Anteile ‚Inertes‘ und der hohen Wassergehalte ist eine thermische Behandlung solcher Abfälle wenig sinnvoll und wird daher nicht betrachtet.

## 5.4 Beurteilungskriterien

### 5.4.1 Beitrag zur Ressourcenschonung

Abfallwirtschaftliche Verfahren sind unter dem Aspekt ‚Ressourcenschonung‘ danach zu beurteilen, welche Form der Nutzung von Abfällen den höchsten Beitrag leistet. Eine Bewertung ist jedoch methodisch komplex. Die Schwierigkeiten liegen einerseits in der Bewertung von Stoffen, die Wirkungen in mehreren Kategorien haben können, etwa solche, die sowohl Material- wie Energieressource sein können [IFEU 2005], andererseits in der Erfassung und Bewertung der in den Stoffen enthaltenen Schadstoffe, ihrer Verteilung durch die verschiedenen Prozesse und deren Wirkungen [SRU 2008]. Teilweise werden die Materialflüsse als Näherungswert für die Berücksichtigung der Umweltbelastungen aus der Gewinnung, Verarbeitung und Nutzung von Rohstoffen herangezogen. Dies kann jedoch die stark unterschiedlichen Umweltwirkungen verschiedener Materialien nicht sachgerecht abbilden<sup>122</sup>.

In mehreren Untersuchungen werden für sowohl stofflich wie energetisch einsetzbare Materialien - was grundsätzlich für alle brennbaren Fraktionen, v.a. Papier, Holz und Kunststoffe zutrifft - Vergleiche über deren Energieinhalt vorgenommen. Fricke et al. [2008] und IFEU [2006] kommen zum Ergebnis, dass die stoffliche Verwertung für die Stoffgruppen Papier, Pappen, Kartonagen und Kunststoffe unter Energieeffizienzaspekten deutliche Vorteile gegenüber der energetischen Verwertung hat. Für Kunststoffe muss allerdings eingeschränkt werden, dass deren stofflicher Verwertung aufgrund von Verunreinigungen und Vermischungen verschiedener Sorten Grenzen gesetzt sind. Für die stofflich nicht nutzbaren Sekundärkunststoffe kommt entweder eine rohstoffliche oder energetische Verwertung in Frage. Energetisch nicht nutzbare Materialien können mit dem skizzierten methodischen Ansatz jedoch nicht in die Bewertung einbezogen werden.

Als Kriterien für die Bewertung des Beitrags zur Rohstoffschonung kommen grundsätzlich die ‚Knappheit von Rohstoffen‘ und die ‚Umweltbelastung aus der Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung‘ als Leitparameter für eine möglichst optimale Nutzung von aus dem Abfall gewonnenen Sekundärrohstoffen in Frage. Zur Bestimmung der Knappheit einer Ressource werden zumeist die Faktoren ‚Verbrauch‘, ‚eventuelle Neubildung‘ und ‚Reserven‘ in Beziehung zueinander gesetzt. Dieser vermeintlich gute methodische Ansatz stößt jedoch auf erhebliche Probleme [IFEU 2005]. Material- und Energie-Rohstoffvorräte unterliegen aufgrund laufend verbesserter Explorationsmethoden, Materialeinsparung oder Entwicklung und Verwendung von Ersatzrohstoffen einer ständigen Veränderung (vgl. Kap. 4.2.2). Die ‚Knappheit‘ kann daher allenfalls für seltene Rohstoffe<sup>123</sup> Hilfestellung bei der Bewertung geben, ist aber für die Beurteilung von Siedlungsabfallwirtschaftskonzepten wenig hilfreich.

Für biotische bzw. nachwachsende Rohstoffe stellt die ‚Knappheit‘ ebenfalls kein geeignetes Kriterium dar. Nicht die biotische Ressource ist die begrenzende Größe, sondern die Fläche, auf der sie erzeugt wird [IFEU 2005]. Die Abfallwirtschaft kann durch die Rückführung von Nährstoffen und organischer Substanz in Form von Kompost, Flüssigdünger aus der Vergärung und Klärschlamm zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherfähigkeit der Böden beitragen, so dass deren Nutzungsintensität gesteigert werden kann. Sie wirkt damit der Verknappung von landwirtschaftlichen Flächen infolge Erosion und Verar-

---

122 Nach dem MFA-Indikator (Material Flow Analysis), gemessen in Gewicht, wären Baurohstoffe (Sand und Kies), biotische oder Agrarrohstoffe (Getreide, tierische Produkte und Holz), fossile Energierohstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) und Zement die am stärksten umweltbelastenden Rohstoffe. Die Umweltwirkung einer Tonne Quecksilber oder Arsen ist jedoch um mehrere Potenzen größer als etwa die einer Tonne Sand, Kies oder Holz [EEA 2010]. Zur Umgehung dieses Problems wird an der Universität Leiden versucht, einen Indikator – EMC Environmentally-weighted Material Consumption - zu entwickeln, der die unterschiedliche Erheblichkeit von 11 Umweltwirkungskategorien wie Landverbrauch, Klimawirkung, Toxizität u.a.m. berücksichtigt [zit. In EEA 2010]. Danach sind die am stärksten umweltbelastenden Massenströme Agrarprodukte, Kunststoffe, Kohle, Erdöl, Eisen und Stahl.

123 v.a. für seltene Erden und Edel- und Halbedelmetalle, Phosphat

mung landwirtschaftlicher Böden entgegen. Es gibt jedoch bislang keine überzeugende Methodik für die Beurteilung, ob alternative Nutzungen von Abfallbiomasse, v.a. für die Substitution von fossilen Energieträgern, einen höheren Beitrag zur Rohstoffschonung leisten. Kern et al. [2008] wählen hier einen pragmatischen Ansatz, der sich an der Behandelbarkeit bzw. Eignung der verschiedenen Biomasseabfälle für verschiedene Verwertungsoptionen orientiert. Aus der Erkenntnis, dass die Vergärung von nassen Abfällen den höchsten Nutzeneffekt hat, holzige Fraktionen sich aber nicht anaerob abbauen lassen, schlagen sie eine Separierung der holzigen Anteile und deren thermische Verwertung vor.

Weitergehende Untersuchungen stützen sich auf Lebenszyklusanalysen [z.B. Dehoust et al. 2006]. SRU [2008] beurteilt diese zwar als wichtige, standardisierte Methoden zur Bewertung der Umweltverträglichkeit von Gütern und Verfahren. Sie genügten bisher jedoch nicht den Anforderungen für eine umfassende Beurteilung von komplexen Systemen mit zirkulären Stoffflüssen und Lagern mit Langzeitwirkungen (z. B. Deponien). Der SRU hält die Berücksichtigung weiterer Kriterien wie die Stoffverteilung (Konzentration versus Verdünnung, Entropie und Dissipation), die Akkumulation bei multiplen Kreisläufen („saubere“ Kreisläufe) sowie weitere Kriterien für erforderlich. Er fordert die Entwicklung neuer Bewertungsverfahren, um die Bedeutung der Materialflüsse und -lager sowie deren Änderungen in Bezug auf Umweltbelastungen und Ressourcennutzen beurteilen zu können. Diese müssten sowohl den durch Stoffflüsse gestifteten Nutzen wie auch die verursachten Belastungen abbilden. Die Bewertungsverfahren sollten sich an den spezifischen Problemen einer jeweiligen Stoffnutzung orientieren und den ganzen Weg eines Stoffes von der Gewinnung bis zur letzten Senke unter Einschluss von Kreisläufen umfassen.

Es gibt somit bislang kein überzeugendes methodisches Konzept, das eine allgemeine Aussage darüber erlaubt, wie eine unterschiedlich nutzbare Abfallfraktion am sinnvollsten genutzt werden sollte. Es erscheint auch fraglich, ob dies in allgemeiner Form möglich und sinnvoll ist. Die Art der Verwertung hängt – je nach Art und ‚Wert‘ des Materials – stark von örtlichen Rahmenbedingungen ab wie vorhandene Einsatzgebiete und deren Erreichbarkeit, Lieferanforderungen<sup>124</sup> der Abnehmer sowie der verfügbaren bzw. realisierbaren Logistik. Dabei gilt: Je ungünstiger das Verhältnis von Materialwert und Transportkosten, desto stärker sind die im Umkreis vorhandenen Verwertungsoptionen ausschlaggebend für die Art der möglichen Verwertung, bzw. desto geringer sind i.d.R. die nutzbaren Verwertungsoptionen.

Insbesondere für Bioabfälle kann keine allgemeingültige, ökologisch optimale Lösung angegeben werden [EU 2005a]. Die Bewertung der verschiedenen Optionen ist neben politischen Zielsetzungen abhängig von der Abfallzusammensetzung, den Möglichkeiten, eine hohe Qualität der Bodenverbesserungsmittel zu erzielen und damit der Bodendegradation entgegenzuwirken, von klimatischen Bedingungen und Umweltauswirkungen.

Die Beurteilung erfolgt daher in Anlehnung an IFEU [2005] im Hinblick auf ihren Beitrag zur Schonung von Ressourcen differenziert für die Wirkungskategorien

- Beitrag zur Schonung von Produktionsrohstoffen
- Beitrag zur Schonung von Energierohstoffen
- Beitrag zum Erhalt der Ressource Naturraum

Dabei wird ein pragmatischer Bewertungsansatz verfolgt, der nachfolgend erläutert wird. Die getroffenen Annahmen und die gewählten Parameter für die Bilanzierung und Beurteilung werden in Anlage 2 dargestellt.

### 5.4.1.1 Beitrag zur Schonung von Produktionsrohstoffen

Durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen werden Primärrohstoffe substituiert und die mit deren Gewinnung verbundenen Eingriffe in Natur und Landschaft sowie Umweltbelastungen und -risiken aus der Aufbereitung, Verarbeitung und dem Transport vermieden. Das Recycling dieser Stoffe trägt unmittelbar zur Rohstoffschonung bei. Die Beurteilung richtet sich somit nach der Menge und Qualität der rückgewinnbaren Wertstoffe. Der Beitrag zur Scho-

---

124 Mengen, Qualitäten, Stückelung, Lieferformen, Bedarf im zeitlichen Verlauf, Verfügbarkeit u.a.m.

nung von Produktionsrohstoffen ist umso größer, je höher die recycelten Mengen sind. Dies hängt einerseits vom Wertstoffpotential der Abfälle, andererseits von der Effektivität des Sammelsystems bzw. der Sortierquoten und erzielbaren Materialqualitäten ab. Während bei der getrennten Sammlung die erfassbaren Mengen tendenziell geringer sind als bei der Aus-sortierung, sind bei der Sortierung aufgrund der stärkeren Verunreinigungen die Qualitäten schlechter. Dies schränkt die Verwertungspotentiale v.a. für Papier, Pappen, Kartonagen, Verpackungsverbunde und Kunststoffe ein. Daher erfolgt eine Abwertung gegenüber der getrennten Erfassung.

Auch die biologische Verwertung trägt zur Schonung von Produktionsrohstoffen bei. Durch die Düngewirkung des Komposts wird der Bedarf an Mineraldünger reduziert. Allerdings sind die Phosphatgehalte, der Rohstoff mit der am stärksten begrenzten Verfügbarkeit, eher beschränkt. Zugleich trägt die Anwendung von Kompost zur Verbesserung der Bodenstruktur und der Bodeneigenschaften bei (Wasserhaltefähigkeit, Krümelbarkeit), was die Wachstumsbedingungen für Nutzpflanzen verbessert.

### 5.4.1.2 Beitrag zur Schonung von Energierohstoffen

Die Schonung von Energierohstoffen erfolgt i.W. auf zwei Wegen:

- direkte Substitution von Energierohstoffen durch energetische Verwertung
- indirekte Substitution von Energierohstoffen durch Recycling

Bei der energetischen Verwertung wird der Beitrag zur Schonung von Energierohstoffen nach dem Verhältnis der zur Nutzung abgegebenen und der in den Abfällen enthaltenen Energie beurteilt, unter Berücksichtigung des Eigenbedarfs der Entsorgungsanlagen.

Bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen liegt der energetische Nutzungsgrad zwischen etwa 15% und 85% bezogen auf die im Abfall enthaltene Energie [Astrup et al. 2009], je nachdem ob und in welchem Verhältnis Strom, Prozessdampf resp. Wärme abgegeben werden. In den Bilanzierungen wird ein Energienutzungsgrad von 60%, bezogen auf die im Abfall enthaltene Energie, unterstellt. Dieser hohe Wert kann nur erreicht werden, wenn die Anlagen an Standorten mit einem möglichst ganzjährig hohen Dampf- resp. Wärmebedarf realisiert werden, etwa in der Nähe von großen Industriebetrieben oder Industrieparks. Die Anlagen sind somit in Energieversorgungskonzepte zu integrieren und weniger unter Abfallentsorgungsaspekten zu konzipieren.

Bei der Nutzung von Biogas aus Vergärungsanlagen sind solch hohe Quoten i.d.R. nicht erreichbar, da die Anlagen kleiner sind und für die Versorgung großer Anschlussgebiete, die ganzjährig eine ausreichend hohe Grundlast haben, nicht ausreichen würden. Hier wurde unterstellt, dass das Biogas über Gasmotoren und angeschlossenem Generator verstromt wird. Eine Aufbereitung auf Erdgasqualität und Einspeisung ins Erdgasnetz ist zwar prinzipiell möglich, erfordert aber große Anlagen und entsprechende Voraussetzungen am Standort. Hohe Energienutzungsquoten sind am ehesten z.B. an Kläranlagen zu erzielen, wo die Wärme zur Beheizung der Faulbehälter eingesetzt werden kann. Zudem sind hier Synergien aus der Co-Vergärung von Klärschlämmen und organischen Abfällen realisierbar.

Die stoffliche Verwertung trägt indirekt zur Schonung von Energierohstoffen bei, indem der für die Gewinnung, Aufbereitung, Verarbeitung und Transport von Primärrohstoffen erforderliche Energieaufwand vermieden wird. Darüber hinaus wird der Energieaufwand im Produktionsprozess reduziert, je nach Material und Produktionsverfahren zwischen etwa 35% bei Papier und über 90% bei Aluminium [Hiebel/Pflaum 2009]. Dem steht der für Erfassung, Aufbereitung und Transport der Sekundärrohstoffe erforderliche Energieaufwand gegenüber, der jedoch im Vergleich zu den Einsparungen von sehr untergeordneter Bedeutung ist.

Bei fraktionsspezifischer Betrachtung ist der Beitrag der energetischen Nutzung heizwertreicher Fraktionen zum Ressourcenschutz im Vergleich zur stofflichen Verwertung deutlich geringer. Fricke et al. [2008] legen dies am Beispiel der Fraktionen PPK und Kunststoffe dar. Sie definieren hierzu einen Energieeinsparfaktor, der das Verhältnis zwischen der Energieeinsparung bei der Produktion auf der Basis von Sekundärrohstoffen und der Nutzung als Brennstoff angibt. Selbst bei hohen energetischen Nutzungsgraden von nahe 100%, wie sie

etwa in Zementwerken bei der Substitution von Kohle erreicht werden, ist die stoffliche Verwertung von Papier und Kunststoffen immer noch etwa doppelt so effizient<sup>125</sup> wie deren energetische Nutzung. Damit steht die stoffliche Verwertung in unmittelbarer Konkurrenz zu Verfahren der energetischen Verwertung, die auf PPK und Kunststoffe als wichtige Energieträger angewiesen sind. Der stofflichen Verwertung sollte unter Ressourcenschonungsaspekten Vorrang gegeben werden, sofern entsprechende Verwertungs- resp. Absatzmöglichkeiten bestehen. Für die energetische Verwertung kommen in erster Linie nicht aussortierbare bzw. stofflich nicht verwertbare Fraktionen minderer Qualität in Frage.

Für die durch getrennte Erfassung und/oder Sortierung separierten und dem Recycling zugeführten Stoffe werden die durch Substitution von Primärrohstoffen bewirkten Energie- und THG-Minderungen bilanziert. In der Bilanzierung werden beide Effekte der Schonung von Energieressourcen berücksichtigt. Dabei werden für die indirekte Substitution von Energierohstoffen durch Recycling in Anlehnung an Fricke et al. [2008] Werte angenommen.

Auch die biologische Verwertung bewirkt indirekt Energieeinsparungen. Kompost enthält zudem in relevanten Mengen die Pflanzennährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium. Der Einsatz substituiert energieaufwändig hergestellte mineralische Düngemittel. Die indirekten Energieeinsparungen durch Verwertung von Bioabfällen werden jedoch hier nicht zum Ansatz gebracht. Sie sind im Vergleich zum Recycling von Produktionsrohstoffen vernachlässigbar. Während im gewichteten Mittel das Recycling von Produktionsrohstoffen etwa 36 MJ/kg Energie einspart, sind es beim Bioabfall mit 4 MJ/kg<sup>126</sup> nur etwa 10% dieses Wertes, was im Rahmen der hier vorgenommenen Beurteilung keinen nennenswerten Einfluss hätte. Darüber hinaus sind diese Energieeinsparungen nur durch zusätzliche Maßnahmen zur Verwertung des theoretisch zur Verfügung stehenden Strohpotentials erreichbar. Einzelheiten hierzu sind in [Anlage 1](#) dargestellt.

### 5.4.1.3 Beitrag zum Erhalt der Ressource Naturraum

Der Beitrag zum Erhalt der Ressource Naturraum wird einerseits gemessen am Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, wobei als Indikator die Menge des erzeugten Komposts bzw. der verwerteten Gärreststoffe und Substrate herangezogen wird. Durch ihren Einsatz wird der Bedarf an mineralischen Düngemitteln und Torf reduziert. Kranert et al. [2007] beziffern die Torfsubstitution durch Anwendung von Kompost auf 0,44 Mg Torf pro Mg Frischkompost und 0,38 Mg pro Mg Fertigkompost. Zugleich trägt die Kompostanwendung zur Verbesserung der Bodeneigenschaften<sup>127</sup> bei, was die Wachstumsbedingungen für Nutzpflanzen verbessert. In die Beurteilung werden nur Produkte aus der sortenreinen Erfassung von Bioabfällen einbezogen. Aus gemischten Abfällen erzeugte Bodenverbesserungsmittel werden aufgrund der unzureichenden Nachhaltigkeit nicht berücksichtigt.

Daneben wird die Flächeninanspruchnahme durch abfallwirtschaftliche Anlagen als Bewertungsmaßstab herangezogen, wobei nur die benötigten Flächen für die Ablagerung betrachtet werden, da diese dauerhaft einer anderweitigen Nutzung entzogen werden. Als Messgröße dient die Ablagerungsmenge bzw. deren Verhältnis zur Menge des erzeugten Abfalls, hier als ‚Ablagerungsquote‘ bezeichnet, wobei nicht nach der Beschaffenheit der abgelagerten Reste<sup>128</sup> unterschieden wird.

**5.4.2 Beitrag zum Klimaschutz** Die Diskussion der Klimawirkungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen muss neben den mit der Entsorgung verbundenen direkten auch die indirekten, in vor- und nachgelagerten Prozessen entstehenden Emissionen einbeziehen [Gentil et al. 2009]. Vorgelagerte Maßnahmen beziehen sich auf Inputs in das System, insbesondere in Form von Energie, Materialien oder Hilfsstoffen. Nachgelagerte Effekte betreffen Emissionsminderungswirkungen infolge Substitution von primären Material- und Energierohstoffen sowie durch Speicherung von abbaubarem Kohlenstoff. Angesichts der vielfältigen Wirkungszusammenhänge ist es für die Diskussion in dieser Arbeit ausreichend, die bedeutsa-

---

125 abgeleitet aus Angaben von [Fricke et al. 2008]

126 Umrechnung nach Werten von [Springer 2010]

127 Wasser- und Nährstoffspeichereigenschaften, Krümelfähigkeit, Humusgehalt

128 unvorbehandelte Abfälle, stabilisierte resp. mechanisch-biologisch oder thermisch vorbehandelte Abfälle, Asche, Schlacke

men Wirkmechanismen zu betrachten:

- Methanvermeidung und -verminderung
- THG-Minderung durch Recycling
- THG-Minderung durch energetische Verwertung

THG-Emissionen aus vorgelagerten Maßnahmen, die nur geringe Relevanz haben, können hier vernachlässigt werden. Dazu zählen z.B. die mit Bau, Reparatur, Wartung oder Stilllegung der Entsorgungsanlagen sowie mit der Herstellung von Fahrzeugen und Behältern verbundenen THG-Emissionen, Fahrten des Personals der Entsorgungsanlagen zur Arbeit etc.

Auch die bei der Einsammlung der Abfälle entstehenden THG-Emissionen können hier unberücksichtigt bleiben. Diese betragen zwar etwa 5 % der direkten THG-Emissionen der Abfallwirtschaft [Dehoust et al. 2005], liegen jedoch bei den verschiedenen Entsorgungskonzepten in vergleichbaren Größenordnungen und haben deshalb keine entscheidungserhebliche Bedeutung. Auch Einspareffekte durch sparsamere Motoren der Entsorgungsfahrzeuge, Optimierung der Tourenplanung, Fahrertraining u.a.m. bleiben aufgrund ihrer im Vergleich zu den o.g. Wirkungen geringen Bedeutung hier unberücksichtigt.

Die THG-Minderungswirkungen der Abfallvermeidung werden ebenfalls nicht betrachtet. Sie werden zwar überwiegend aufgrund abfallwirtschaftlicher Maßnahmen, v.a. abfallrechtlicher Regelungen und Öffentlichkeitsarbeit induziert, stellen aber sog. ‚no-regret‘-Maßnahmen dar, die unabhängig vom betrachteten Verfahren bzw. Entsorgungskonzept umsetzbar sind.

Gemäß Bilanzierungsregeln des IPCC [2006] wird biogenes Kohlendioxid trotz der durchaus gewichtigen Argumente für deren Einbeziehung (s. Kap. 4.3.4.2) nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht in die Beurteilung einbezogen werden Effekte der Speicherung von abbaubarem Kohlenstoff infolge unvollständigen Abbaus im Deponiekörper oder in landwirtschaftlichen Böden durch Kompostaufbringung.

Die Bilanzierung erfolgt für die in der Abfallwirtschaft besonders relevanten THG ‚Methan‘ und ‚Kohlendioxid‘. Bei den biologischen Verfahren werden auch Lachgas- und Ammoniak-Emissionen abgeschätzt und bilanziert.

#### 5.4.2.1 Methanvermeidung und -verminderung

Die abbaubaren organischen Bestandteile der Siedlungsabfälle sind zentrale Ursache für die Bildung des besonders klimaschädlichen Methans bei der Ablagerung unter anaeroben Bedingungen. Daneben sind sie verantwortlich für die von Deponien ausgehenden Umweltbelastungen und –risiken durch Sickerwasser und Deponiegas. Die Verwertung biologisch abbaubarer Fraktionen und die mechanisch-biologische oder thermische Vorbehandlung der Abfälle bergen daher das größte Potential zur Minderung von THG in der Abfallwirtschaft.

Für die Ermittlung der THG-Minderung müssen die Emissionen des betrachteten AWK auf die Baseline bzw. den Status-quo bezogen werden. In den meisten Fällen werden Abfälle in EL mehr oder weniger ungeordnet abgelagert (vgl. Kap. 2.2). Die Ablagerungsbedingungen können im Status-quo jedoch nicht allgemein angegeben werden. Giegrich/Vogt [2009] haben für ihre Abschätzung der THG-Wirkungen durch Abfallwirtschaft in EL angenommen, dass Abfälle in urbanen Gebieten eher verdichtet unter anaeroben Bedingungen, der Großteil der Abfälle in ruralen Gebieten hingegen eher unter aeroben/semi-aeroben Bedingungen abgelagert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird angenommen, dass im Status-quo je die Hälfte der Abfälle auf ungeordneten Deponien und unter semi-aeroben Bedingungen abgebaut werden. Gemäß IPCC [2006] gilt für ungeordnete Abfallablagerungen ein Methan-Korrekturfaktor von 0,5 für semi-aerobe und 0,8 für ungeordnete Deponien. Insgesamt ergibt sich somit ein Methankorrekturfaktor<sup>129</sup> von 0,65 für den Status-quo, der den Berechnungen zugrundegelegt wird.

Als Betrachtungszeitraum wird – ungeachtet der Kritik hieran (s. Kap. 4.3.3) - der von IPCC verwendete Zeitraum von 100 Jahren zugrundegelegt. Die Bilanzierung erfolgt kumulativ für die insgesamt in diesem Zeitraum entstehenden THG-Emissionen, die von den in einem Jahr

---

129 Faktor zur Berücksichtigung des Teils der Abfälle, der unter aeroben Bedingungen abgebaut wird.

abgelagerten Abfällen erzeugt werden. Die THG-Emissionen abgelagerter Abfälle entsprechen somit deren Emissionspotential. Eine jährlich diskrete Betrachtung entsprechend des Abbaus würde die Berechnungen nicht nur unübersichtlich machen, die THG-Einsparungen könnten auch nicht zusammen mit den Minderungseffekten der stofflichen und energetischen Verwertung sinnvoll bilanziert werden. Zur Berücksichtigung der ökonomischen Effekte der kumulativen Bilanzierung wird eine Sonderbetrachtung durchgeführt (s. [Anlage 7](#)).

### 5.4.2.2 THG-Minderung durch biologische Verwertung

Die Verwertung biologisch abbaubarer Fraktionen trägt v.a. durch die Methanvermeidung zur Minderung von THG bei. Demgegenüber sind die Prozessemissionen der Kompostierung gering. Zwar entstehen auch in Kompostierungsanlagen neben dem CO<sub>2</sub> aus der Rotte und Emissionen des Betriebs besonders klimaschädliches Lachgas, Methan und Ammoniak, jedoch nur in geringen Mengen. Cuhls et al. [2008] beziffern die spezifischen THG-Emissionen auf etwa 18 – 140 kg CO<sub>2</sub>-äqu. pro t Bioabfall. Zum Vergleich: Die spezifischen Emissionen von Bioabfällen bei Ablagerung auf einer Deponie betragen - je nach klimatischen Bedingungen - weit über 2 Mg CO<sub>2</sub>-äqu pro Mg Bioabfall. Dennoch sind die prozessbedingten THG-Emissionen zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf den Klimaschutz sind einfache Kompostierungsverfahren kritischer zu beurteilen als geschlossene Systeme. Je nach Qualifikation und Sorgfalt des Anlagenpersonals können anaerobe Zustände in den Mieten entstehen, die zur Bildung von Methan und ggf. Lachgas führen können. Bei geschlossenen Systemen ist dieses Risiko durch die Fassung der Abluft und Reinigung in einem Biofilter geringer. Das Ausmaß der Emissionen ist weniger von baulichen und verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen abhängig als vielmehr von der Art und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe sowie einer guten Betriebsführung. Hohe Emissionen resultieren meist aus Defiziten im Betrieb [Gewitra 2008].

Die THG-Emissionen der Vergärung sind mit etwa 100 – 180 kg CO<sub>2</sub>-äqu pro Mg Bioabfall im Vergleich zur Kompostierung höher. Aufgrund der Substitution von Primärenergie ist der Beitrag der Vergärung zum Klimaschutz jedoch insgesamt größer als bei der aeroben biologischen Verwertung. Allerdings bestehen auch erhöhte Risiken insbesondere aufgrund von Undichtigkeiten im System, v.a. an den Abdeckungen der Gärreaktoren, der Gasspeicher und auch der Lagerung der Gärreste, da ggf. noch anaerobe Abbauprozesse stattfinden. Zur Vermeidung von Gasleckagen ist eine sorgfältige Bauausführung der Gär-, Gärrest- und Gasbehälter sowie eine regelmäßige sorgfältige Kontrolle und Wartung der Dichtigkeit zu gewährleisten. Ein gewisser Methanschluß, der in den Bilanzen mit 3% des erzeugten CH<sub>4</sub> angenommen wird, lässt sich jedoch nicht vollständig verhindern. Darüber hinaus kommt es bei der aeroben Nachrotte von Gärresten zu erhöhten Lachgasemissionen.

UNEP [2010a] weist darauf hin, dass durch die regelmäßige Anwendung von Kompost und Bodensubstraten der Bewässerungsbedarf, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die Intensität der Bodenbearbeitung vermindert werden, was positive Wirkungen auf die THG-Emission hat. Diese Effekte können jedoch hier nicht bilanziert werden.

### 5.4.2.3 THG-Minderung durch Recycling

Die Rückführung von Sekundärrohstoffen in den Wirtschaftskreislauf spart Energie und reduziert entsprechend THG-Emissionen, die ansonsten bei der Gewinnung, Aufbereitung und dem Transport von Primärrohstoffen entstehen würden. Diese können als Gutschriften bei der THG-Bilanzierung des Recyclings berücksichtigt werden. Hierzu liegen Emissionsfaktoren aus Dehoust et al. [2010], UBA [2009], Prognos [2008], Umsicht [2009] sowie internationalen Untersuchungen [ISWA 2009, RMIT 2009, US EPA 2006 – zit. in Bifa 2012] vor. Abhängig von Art und Standard der Produktionsprozesse, Produktspezifikationen<sup>130</sup>, Vorketten der substituierten Produktionsrohstoffe, genutzten Energieträgern und Energiemix des Stromnetzes unterscheiden sich die spezifischen THG-Minderungen je Gewichtseinheit Sekundärrohstoff in weiten Grenzen. Die zugrundegelegten Werte enthält [Anlage 2](#).

---

130 z.B. grafische Papiere, Verpackungspapiere oder Kartonagen

#### 5.4.2.4 THG-Minderung durch energetische Verwertung

Durch energetische Nutzung von Abfällen werden Energierohstoffe substituiert und die bei deren Gewinnung, Aufbereitung, Transport und Verbrennung entstehenden THG-Emissionen vermieden. Dem stehen die THG-Emissionen der betrachteten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen sowie aus der Verbrennung der verwerteten Abfälle gegenüber, wobei nur die Emissionen aus den fossilen Bestandteilen angerechnet werden. Die CO<sub>2</sub>-Bildung aus der energetischen Nutzung biogener Abfälle wird konventionsgemäß als klimaneutral betrachtet [IPCC 2006]. Die Differenz aus Emissionen des jeweiligen Verfahrens und Einsparungen durch Substitution von Primärenergie stellt den Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz dar und geht in Form von Gutschriften in die Bilanz ein.

Der durch Substitution fossiler Energieträger bewirkte THG-Minderungseffekt hängt im Fall der Stromerzeugung entscheidend vom Energiemix ab. Er kann von quasi Null bei der Stromerzeugung auf der Basis erneuerbarer Energien wie Wasser- oder Windkraft bis weit über eine Tonne CO<sub>2</sub> pro MWh bei der Substitution von Kohle-basierter Stromerzeugung schwanken. Darüber hinaus sind die Substitutionseffekte von der Energieeffizienz der Verwertungsanlagen abhängig. In der Bilanzierung wird ein Energiemix unterstellt, der der Stromerzeugung auf der Basis von Heizöl entspricht. Dies kommt einem mittleren THG-Minderungseffekt gleich. Bei Anwendung des Bilanzierungstools für konkrete Länder oder Regionen sind die dort geltenden Werte für den Energiemix einzusetzen.

Im Falle der Brennstoffsubstitution ist der THG-Minderungseffekt von der Art des substituierten Energieträgers abhängig. Darüber hinaus hat der Anteil fossilen Kohlenstoffs, der zur Erzeugung von Energie aus Abfällen umgesetzt wird, Bedeutung. EBS, die durch Aussortierung heizwertreicher Fraktionen gewonnen werden, führen nur bei Substitution von Kohle und bedingt bei Heizöl zu einer nennenswerten THG-Minderung. Bei Substitution von Erdgas entstehen sogar höhere THG-Emissionen. Dies ist v.a. darauf zurückzuführen, dass etwa die Hälfte des Heizwerts der EBS durch Kunststoffe und Verbunde beigetragen wird, die fossilen Kohlenstoff enthalten. Die energetische Verwertung von aussortierten heizwertreichen Fraktionen bewirkt daher - je nach Art der substituierten Primärenergieträger - keine bis nur geringfügige THG-Entlastungen. Hingegen führen die aus der Nutzung von MBS/MPS gewonnenen EBS zu hohen Minderungseffekten, da der überwiegende Teil der Heizwertfracht aus biogenen Abfällen stammt. Den weitaus größten Beitrag zum Klimaschutz leistet dabei die Vermeidung der Methanbildung. Fehrenbach et al. [2007] kommen zum Ergebnis, dass die Herstellung von solcherart gewonnenen EBS und Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken die günstigste Alternative im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz darstellt. Sie weisen allerdings darauf hin, dass im Falle hoher Schadstoffgehalte der EBS eine Verwertung in einer Thermischen Abfallbehandlungsanlage (TAB) zu bevorzugen sei, da hier die Schadstoffemissionen besser zurückgehalten werden können. Eine Priorisierung sei jedoch nur mit Blick auf die Einzelsituation unter Berücksichtigung der Anlage und der Abfallqualität möglich.

Vor diesem Hintergrund können THG-Emissionen von untergeordneter Bedeutung, wie etwa die Herstellung und Nutzung von Hilfsmaterialien<sup>131</sup> oder Emissionen von Nebenprozessen, hier vernachlässigt werden. Wegen des dominierenden Einflusses lokaler Rahmenbedingungen können allgemeine Aussagen über die Klimaschutzwirkungen abfallwirtschaftlicher Verfahren zur energetischen Verwertung nicht sinnvoll angegeben werden. Grundsätzlich sollten thermische Abfallbehandlungs-/verwertungsanlagen vor dem Hintergrund der globalen Herausforderungen so geplant werden, dass ein möglichst hoher Anteil der erzeugten Energie auch tatsächlich genutzt werden kann. Für die Beurteilung der Verfahren im Rahmen dieser Arbeit wird daher für TAB resp. EBS-HKW ein hoher Energienutzungsgrad von 60% bezogen auf die im Abfall enthaltene Energie angenommen.

#### **5.4.3 Sozialverträglichkeit**

Die Beurteilung der Sozialverträglichkeit der Verfahren wird anhand der Kriterien

- Beschäftigungseffekte

---

131 z.B. Reagenzien zur Abgasreinigung; Emissionen der Deponiebetriebsfahrzeuge

- Möglichkeiten der Beteiligung der informellen Müllsammler und -verwerter beurteilt. Kosten werden unter dem Kriterium ‚Sozialverträglichkeit‘ nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die nicht durch eigene finanzielle Ressourcen und Erlöse aus der Verwertung der Abfälle kompensierbaren Kosten durch internationale Unterstützung gedeckt werden. Gebührenbelastungen der Nutzer der Abfallwirtschaftssysteme sind annahmegemäß nur so hoch, wie sie aus objektiver Sicht zumutbar erscheinen (vgl. Kap. 6.8).

#### 5.4.3.1 Beschäftigungseffekte

Die Sammlung, Sortierung und Aufbereitung von Abfällen und Wertstoffen schaffen Beschäftigungsmöglichkeiten in erheblichem Maße [UNEP 2011a]. Dabei hat die Einsammlung das mit Abstand größte Beschäftigungspotential. Die Sortierung ist zwar weniger personalintensiv, eröffnet jedoch ebenfalls beträchtliche Beschäftigungsmöglichkeiten auch für weniger qualifizierte Personen. Selbst Analphabeten können für einfache Tätigkeiten angelehrt werden. Informelle Müll- und Wertstoffsammler können daher gut bei diesen Tätigkeiten eingesetzt werden. Im Hinblick auf die sozialverträgliche Gestaltung der Abfallwirtschaft haben die Sammelkonzeption und Wertstoffrückgewinnung entscheidende Bedeutung.

Die nachgelagerten Verfahren der stofflichen, biologischen und energetischen Verwertung sowie der Behandlung und Ablagerung bieten demgegenüber nur untergeordnete Beschäftigungsmöglichkeiten. Der Betrieb dieser Anlagen erfordert jedoch qualifiziertes Personal für das Management bzw. die technische und kaufmännische Betriebsführung. Darüber hinaus erfordern Überwachung, Wartung und Unterhaltung der Anlagen qualifiziertes technisches Personal. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse zusammen.

**Tabelle 4: Personalbedarf abfallwirtschaftlicher Verfahren**

Verfahren	Personalbedarf [Personen/1.000 jato]
Sammlung vermischter Abfälle	7 – 11
Sammlung einschl. getrennter Sammlung Wertstoffe	8 - 12
Sammlung einschl. getrennter Sammlung Wertstoffe + Bioabfälle	10 - 14
Sortierung von Wertstoffen	3 - 6
Sortierung heizwertreicher Fraktionen	2 - 4
Kompostierung von Bioabfällen	0,3 - 1
Vergärung von Bioabfällen	0,3 – 0,6
MBA einfach, intensiv, anaerob; MBS/MPS	0,3 – 0,5
EBS-HKW; TAB	0,4 – 0,6

In Anlage 1 wird der Personalbedarf der in dieser Arbeit betrachteten Verfahren der Abfallwirtschaft auf der Grundlage von Erfahrungswerten in IL und Literaturangaben [v.a. Bilitewski et al. 2009] abgeschätzt. Auch wenn zu vermuten ist, dass in EL die Zahl der eingesetzten Beschäftigten höher ist als in IL<sup>132</sup>, kann dies hier mangels belastbarer Erfahrungen nicht zum Ansatz gebracht werden. In der vergleichenden Bewertung der Verfahren dürften sich diese Effekte egalisieren, so dass dies keine bedeutsamen Auswirkungen auf die Beurteilung der AWK hat.

Neben den unmittelbaren sind die längerfristigen Beschäftigungswirkungen zu berücksichtigen. Insbesondere die Trennung und Aufbereitung von Abfällen nach verschiedenen Materialfraktionen und Rückführung in den Produktionsprozess führt zur Bildung bzw. Stärkung eines eigenständigen Wirtschaftszweigs [Intecus 2009].

132 v.a aufgrund der hohen Zahl von Hilfspersonal für die Bewachung der Anlagen, Fahrer, Servicepersonal

#### 5.4.3.2 Bedeutung der Sammelkonzeption für die Beschäftigungswirkung

Die Sammelkonzeption und die Sortierung haben somit entscheidenden Einfluss auf die sozialverträgliche Gestaltung eines Abfallwirtschaftskonzeptes. Sie haben die größten Effekte auf die Beschäftigung und sind entscheidend für die Wirksamkeit der Verwertungsstrategien. Daher wird nachfolgend eine Sonderbetrachtung vorgenommen.

Die in IL angewandten Sammel- und Logistiksysteme sind unter den dortigen Rahmenbedingungen entwickelt worden mit dem Ziel, die Sammlung möglichst effizient zu gestalten und Personalkosten zu sparen. Arbeit wird soweit als möglich durch Maschinen- und Kapitaleinsatz reduziert. Demgegenüber ist Arbeitskraft in EL kostengünstig verfügbar, eine hohe Beschäftigungswirkung entwicklungspolitisch erwünscht. Demgegenüber ist die Mobilisierung von Kapital schwieriger.

Die Sammlung von Abfällen und Wertstoffen in Behältern ist in EL unüblich und wird allenfalls im gewerblichen Bereich praktiziert. Haus- und Geschäftsmüll werden weitestgehend in Säcken oder anderen Einwegbehältnissen<sup>133</sup> zur Abfuhr bereitgestellt. Erfahrungen mit der getrennten Bereitstellung von Wertstoffen durch die Abfallerzeuger in EL liegen kaum vor. Sie sind es gewohnt, dass für solche Arbeiten Personal zur Verfügung steht. Daher passen die in IL angewandten Sammelsysteme nicht in die Lebenswirklichkeit der Menschen in EL.

Demgegenüber erscheinen technisch einfache Systeme mit hohem Servicegrad nach dem Prinzip der Haus-zu-Haus-Sammlung, die einfache Sammel- und Transporttechniken<sup>134</sup> einsetzen, für EL sachgerechter. Sie erzielen höhere Sammelquoten und haben ein hohes Beschäftigungspotential. In Anlage 1 wird ein entsprechendes System für die Primärsammlung, d.h. die Sammlung der Abfälle und Wertstoffe an der Anfallstelle und Transport zu einer Sammelstelle, beschrieben. Solche technisch einfachen Sammelsysteme

- können flexibel den baulichen Gegebenheiten angepasst werden,
- bieten durch Haus-zu-Haus-Sammlung einen hohen Service für die Abfallerzeuger,
- ermöglichen bei entsprechender Organisation und Schulung des Personals eine getrennte Erfassung an der Quelle, ggf. sogar eine Abfallberatung der Erzeuger,
- schaffen Beschäftigungsmöglichkeiten auch für weniger qualifizierte Arbeitskräfte und den informellen Sektor.

Zudem sind Wohngebiete in EL oft dicht bebaut, Nebenstraßen und Wege schmal und nicht befestigt, so dass sie mit großen Müllpressfahrzeugen nicht befahrbar sind. Ab der Primärsammelstelle, die mit Großcontainern ausgestattet sind, können dann leistungsfähige LKW zur weiteren Entsorgung eingesetzt werden.

Ein solches Primärsammelsystem mit Separierung von Wertstoffen und Bioabfällen wurde bis 2010 von den sog. ‚Zabaleen‘ in weiten Teilen Kairos praktiziert. Sie erzielten dabei Recyclingquoten von 80% und darüber<sup>135</sup>, wobei die organischen Abfälle an Schweine verfüttert wurden. Der Verkauf des Schweinefleisches stellte neben den Erlösen aus dem Wertstoffverkauf und den von den Abfallerzeugern kassierten Entgelten eine wesentliche Einnahmequelle dar [Drabinski 2009]<sup>136</sup>. Technisch-ökonomische Analysen solcher auf einfachen Techniken basierenden Sammelsysteme liegen bislang kaum vor. Anlage 1 enthält eine Abschätzung der Sammelleistungen und -kosten für ein solches System, die Berechnungen hierzu finden sich in Anlage 6.

Auf Grundlage dieser Betrachtungen kann der Personalbedarf technisch einfacher Primärsammelsysteme mit 7 - 14 Personen pro 1.000 jato Abfall abgeschätzt werden (vgl. Tab. 4). Demgegenüber beträgt der Personalaufwand bei technisch hoch entwickelten Sammel- und

---

133 z.B. Kartons, Einkaufstüten, Dosen etc.

134 z.B. Karren, Esel, Dreiräder, Tucktucks etc.

135 bezogen auf die von ihnen versorgten Gebiete, einschließlich der Verwertung organischer Bestandteile.

136 Im Sommer 2010 wurde auf dem Höhepunkt der weltweiten sog. ‚Schweinegrippe-Epidemie‘ von der ägyptischen Regierung angeordnet, die Schweine der Zabaleen, die der Religionsgemeinschaft der christlichen Kopten angehören, wegen befürchteter gesundheitlicher Risiken töten zu lassen. Kritiker sehen dahinter eher religiöse oder politische Motive. Daraufhin ist das Sammelsystem der Zabaleen zusammengebrochen mit der Folge unerträglicher Zustände in den bislang von diesen entsorgten Stadtteilen. Die Verantwortlichen sind bemüht, ‚moderne‘ Systeme aus IL einzuführen, die jedoch nur schlecht funktionieren [Drabinski 2011].

Logistiksystemen - je nach Sammelgebiet und -system sowie Art der eingesammelten Stoffe<sup>137</sup> - etwa 0,7 – 2,5 Personen pro 1.000 jato [Bilitewski et al. 2009]. Sie sind nicht nur durch geringen Personalaufwand und hohen Kapitaleinsatz gekennzeichnet, sondern auch durch geringere Nutzerfreundlichkeit, da die Abfälle von den Abfallerzeugern zu den Sammelgefäßen gebracht werden müssen.

#### 5.4.4 Management- und Know-how-Anforderungen

Qualifizierte Fachkräfte und Ausbildungskapazitäten sind in EL kaum vorhanden. Zwar geht der in dieser Arbeit entwickelte sektorale Ansatz (s. Kap. 7) davon aus, dass diese Defizite nach und nach behoben werden können, jedoch ist die Verfügbarkeit von Fachkräften v.a. in den Aufbaujahren erheblich eingeschränkt. Die Verfahren sind daher danach zu beurteilen, welche Anforderungen diese an die Steuerung und Überwachung der Stoffströme, der Anlagen und deren Emissionen sowie an das Management der Systeme stellen. Dies misst sich einerseits an der erforderlichen Zahl qualifizierter Kräfte, andererseits an der verfahrenstechnischen Komplexität, dem steuerungs- und messtechnischen Aufwand sowie den analytischen Anforderungen für die Überwachung.

Die Management- und Know-how-Anforderungen zur Steuerung abfallwirtschaftlicher Anlagen steigen mit zunehmender technischer Komplexität und maschinentechnischer Ausstattung. Aber selbst einfache Kompostierungsverfahren erfordern ein hohes Maß an Kenntnis und Verständnis der biologischen Prozesse. Ferner stellt die Erfüllung der Ansprüche der Abnehmer der erzeugten Produkte hinsichtlich Mengen, Qualitäten, Lieferformen, Preis etc. hohe Anforderungen an das Leitungspersonal. Das für die Wartung und Unterhaltung der Geräte und Anlagen zuständige Personal bedarf der spezifischen Qualifizierung.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass technologisch hochwertige Anlagen eines gesicherten Umfelds an Firmen bedarf, die Lieferungen von Betriebs- und Hilfsstoffen, Wartungs- und Reparaturleistungen und sowie messtechnische Maßnahmen qualifiziert durchführen können. Ein solches Umfeld entwickelt sich nur, wenn eine ausreichend große Nachfrage nach solchen Leistungen besteht, d.h. wenn mehrere gleichartige Anlagen in einem Land vorhanden sind und qualifiziert betrieben werden. Zugleich müssen die Staaten eine glaubwürdige, verlässliche Abfallpolitik betreiben und einen fairen Umgang mit dem Privatsektor entwickeln.

Als Kriterien für die Beurteilung der Management- und Know-how Anforderungen werden daher herangezogen:

- Vielfalt der Stoffströme, Erfordernis der Vermarktung von Stoffen und Produkten
- Technologieniveau / technische Komplexität der Anlagen
- Bedarf an Betriebs- und Hilfsstoffen, Ersatzteilversorgung

Die Beurteilung erfolgt auf Grundlage dieser Kriterien verbal-argumentativ und bezieht sich auf das Leitungspersonal und die technischen Fachkräfte der Anlagen. Die Beurteilungen der AWK erfolgt in den Steckbriefen in Anlage 3.

#### 5.4.5 Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften

Der Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen stellt einen langwierigen Prozess dar. Die Mengen und Zusammensetzungen der Abfälle und damit die Möglichkeiten der Verwertung bzw. die Behandlungserfordernisse verändern sich mit fortschreitender Entwicklung in EL dynamisch (vgl. Kap. 5.2.1). Investitionen in Anlagen binden Kapital für den Zeitraum der technischen Lebensdauer. Je nach Anlagentyp beträgt diese zwischen etwa 5 - 10 Jahre für die Maschinentechnik und 25 bis 40 Jahre für die bautechnischen Komponenten. Im Hinblick auf das Erfordernis, das Entsorgungskonzept und die Anlagen möglichst flexibel auf sich verändernde Rahmenbedingungen anpassen zu können, wird das Kriterium ‚Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften‘ in die Beurteilung einbezogen. Als Indikatoren dienen neben der konzeptionellen und technischen Flexibilität der AWK die spezifischen Investitionskosten und die Kapitalbindung durch die Anlagen. Die Beurteilung erfolgt verbal-argumentativ.

---

137 Entscheidend ist die erreichte Dichte im Abfallbehälter und im Sammelfahrzeug.

Der spezifische Invest liegt zwischen etwa 50 EUR/jato Durchsatzkapazität für einfache Kompostierungsverfahren, bis zu 450 EUR/jato für komplexere Vergärungstechnologien und bis zu 800 EUR/jato bei thermischen Behandlungsanlagen. Die Lebensdauer liegt zwischen 5 - 8 Jahren für mobile Geräte, 12 – 20 Jahre für die maschinentechnische Ausstattung und etwa 25 – 40 Jahren für die baulichen Komponenten. Je höher die technische Komplexität und der Maschinisierungsgrad, desto größer sind Invest und Kapitalbindung und desto geringer die Flexibilität. Im Hinblick auf veränderliche Abfallmengen und -zusammensetzungen haben die Art der Erfassung der zu verwertenden Abfälle und der Automatisierungsgrad Bedeutung für die Beurteilung. So sind Strategien, die getrennt erfasste Bioabfälle verwerten, weniger anfällig bei Veränderungen als Verfahren, die vermischte Abfälle verwerten. Einfache Kompostierungsanlagen, die möglichst sortenreine Bioabfälle verwerten, sind daher unter Entwicklungsaspekten besser zu beurteilen als komplexere Kompostierungs- und Vergärungsverfahren, die gemischte Siedlungsabfälle einsetzen.

#### 5.4.6 Indikatoren und Beurteilungsregeln

Für die Beurteilung der quantitativ messbaren Beiträge werden die in Tabelle 5 dargestellten Indikatoren genutzt.

**Tabelle 5: Indikatoren für die Beurteilungskriterien**

Beurteilungskriterium	Indikator
Schonung von Produktionsrohstoffen	Verwertungsquote trockene Wertstoffe
Schonung von Energierohstoffen	Energienutzungsquote
Schonung des Naturraums	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwertungsquote Bioabfälle</li> <li>• Ablagerungsquote</li> </ul>
Klimaschutz	Treibhausgasminderung
Sozialverträglichkeit	Beschäftigungswirkung

Die Beurteilung erfolgt in vier Klassen. Die Aussagen der Bewertung zeigt Tabelle 6.

**Tabelle 6: Bewertungsklassen**

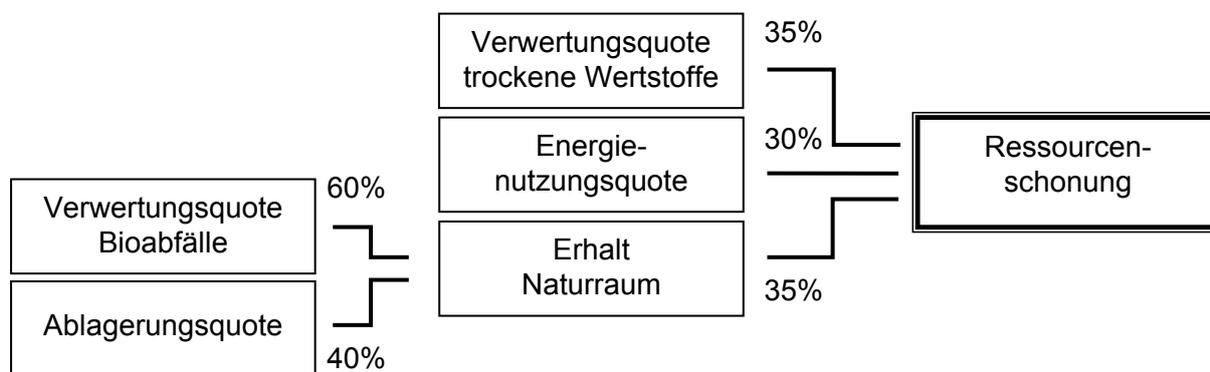
'+++'	sehr gut geeignet / sehr hoher Beitrag
'++'	gut geeignet / hoher Beitrag
'+'	mittlerer Beitrag
'o'	neutral / kein bis geringer Beitrag

Für die Klassifizierung der Wirkungen gelten die in Tabelle 7 dargestellten Wertgrenzen.

Die Aggregation der Bewertungsergebnisse für das Kriterium ‚Beitrag zur Ressourcenschonung‘ erfolgt nach dem in Abbildung 6 dargestellten Schema. Der Beitrag zur Schonung von Energieressourcen wird im Vergleich zu den Beiträgen zur Schonung von Produktionsrohstoffen und dem Beitrag zum Erhalt der Ressource Naturraum etwas geringer gewichtet, da diese beiden Faktoren auch indirekte Wirkungen erzielen und daher höhere Beiträge leisten.

**Tabelle 7: Wertbestückung der Kriterien**

Indikator	Einheit	+++	++	+	o
Verwertungsquote trockene Wertstoffe	[Mg/Mg Abfall]	> 0,15	0,11 – 0,15	0,05 – 0,10	< 0,05
Energienutzungsquote	[kWh/Mg Abfall]	> 1.500	1.001 – 1.500	501 - 1.000	< 500
Verwertungsquote Bioabfälle	[Mg/Mg Abfall]	> 0,25	0,17 – 0,25	0,10 – 0,16	< 0,1
Ablagerungsquote	[Mg/Mg Abfall]	< 25%	25% – 45%	45% – 65%	> 65%
THG-Minderung	[Mg CO <sub>2</sub> äqu./Mg Abfall]	> 1,00	0,75 – 1,00	0,05 – 0,75	< 0,50
Beschäftigungswirkung	[Personen/1.000 Mg/a]	> 15	11 - 15	6 - 10	< 6



**Abbildung 6: Aggregation der Bewertungsergebnisse für das Kriterium ‚Ressourcenschonung‘**

## 5.5 Ergebnisse der Beurteilung

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Beurteilung differenziert für die definierten Abfalltypen. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse findet sich in [Anlage 3](#). Der

- Beitrag zur Ressourcenschonung,
- Beitrag zum Klimaschutz

wird sowohl von den Abfalleigenschaften als auch vom AWK beeinflusst. Hingegen sind

- Sozialverträglichkeit,
- Management- und Know-how-Anforderungen,
- Flexibilität

weitestgehend vom AWK abhängig. Einflüsse der Abfalleigenschaften auf diese Kriterien sind zwar plausibel<sup>138</sup>, aber objektiv nicht ausreichend differenziert messbar.

### 5.5.1 Sozialverträglichkeit, Management- und Know-how-Anforderungen, Flexibilität

Die Beurteilung der Sozialverträglichkeit wird dominiert von der Sammelkonzeption. Daher erzielen AWK der Gruppe III, die sich durch eine differenzierte getrennte Erfassung von verwertbaren Abfällen auszeichnen, die höchsten Bewertungen.

Die Management- und Know-how-Anforderungen hängen einerseits vom Technologieniveau, andererseits von der Zahl der zu steuernden Stoffströme ab. Positive Beurteilungen bekommen daher einfache Konzeptionen mit Anlagen auf niedrigem technologischem Niveau. Differenzierte AWK mit anspruchsvolleren Anlagen erzielen hier schlechtere Bewertungen.

Unter dem Kriterium Flexibilität sind solche AWK besser zu beurteilen, die entweder bereits

138 Bei höheren Wertstoffgehalten sind zwar mehr Beschäftigungseffekte und ein größeres Potential zur Entwicklung eines eigenständigen Wirtschaftssektors anzunehmen. Für eine Differenzierung müssten jedoch weitergehende Betrachtungen vorgenommen werden. Wegen des dominierenden Einflusses der Beschäftigungswirkung der Sammelkonzeption ist eine vertiefte Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit entbehrlich.

ein differenziertes Stoffstrommanagement beinhalten - i.e. v.a. AWK der Gruppe III - oder die ein hohes Potential zur Ergänzung weiterer Komponenten beinhalten. Eine schlechtere Beurteilung erzielen AWK, die auf einer zentralen Technologie mit einer hohen Kapitalbindung basieren. Die Auslegung dieser Anlagen im Hinblick auf Abfalleigenschaften und Kapazitäten erschwert Anpassungen des AWK aufgrund technischer und wirtschaftlicher Restriktionen. Nachfolgend werden die Ergebnisse differenziert nach Modelabfalltypen dargestellt.

Insgesamt ergeben sich für die Kriterien ‚Sozialverträglichkeit‘, ‚Management- und Know-how-Anforderungen‘ sowie ‚Flexibilität‘ die in Tabelle 8 dargestellten Bewertungen. Einzelheiten und Begründungen finden sich in Anlage 3.

**Tabelle 8: Beurteilungsergebnisse für die Kriterien Sozialverträglichkeit, Management- und Know-how-Anforderungen, Flexibilität**

AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
	Ia	Ib	Ic	Id	IIa	IIb	IIc	II d	IIIa	IIIb	IIIc	IIId	IVa	IVb	IVc	IVd
Sozialverträglichkeit	++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++	+	++	+++	+++
Management/Know-how	+++	+++	+	+	++	++	+	+	++	+	+	+	+	+	o	o
Flexibilität	+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+	o	o	+	+

### 5.5.2 Ressourcenschonung und Klimaschutz

Tabelle 9 zeigt Ergebnisse für die Kriterien ‚Ressourcenschonung‘ und ‚Klimaschutz‘.

**Tabelle 9: Beurteilungsergebnisse für die Kriterien ‚Ressourcenschonung‘ und ‚Klimaschutz‘**

Abfall typ	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		Ia	Ib	Ic	Id	IIa	IIb	IIc	II d	IIIa	IIIb	IIIc	IIId	IVa	IVb	IVc	IVd
A1	Ressourcenschonung	o	o	+	o	o	+	+	+	++	++	++	++	Nicht anwendbar			
	Klimaschutz	o	+	+++	+	o	+	+++	+	++	++	++	+++				
A2	Ressourcenschonung	o	o	+	o	o	+	+	+	+	+	+	++	+	+	++	++
	Klimaschutz	o	+	+++	+	+	+	+++	+	++	++	++	+++	++	++	++	++
A3	Ressourcenschonung	o	o	+	o	o	+	+	+	+	+	+	+	Nicht anwendbar			
	Klimaschutz	o	o	+	o	o	o	+	+	+	+	+	+				
A4	Ressourcenschonung	o	o	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+	Nicht anwendbar			
	Klimaschutz	o	+	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+				
B1	Ressourcenschonung	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	++	++	+	++	++	++
	Klimaschutz	+	++	+++	++	+	++	+++	++	++	++	+++	+++	++	++	++	++
B2	Ressourcenschonung	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	++	++	+	++	++	++
	Klimaschutz	++	++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	++	+++
C1	Ressourcenschonung	++	+	+	+	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++
	Klimaschutz	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	++	++	++
C2	Ressourcenschonung	++	+	++	+	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++
	Klimaschutz	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	++	++

#### 5.5.2.1 Abfalltypen der Gruppe A

Der Beitrag zur Schonung von Ressourcen ist bei Abfalltypen der Gruppe A aufgrund der geringen Gehalte an stofflich und / oder energetisch verwertbaren Fraktionen überwiegend gering (o) bis mittel (+). Ein höherer Beitrag wird nur bei den AWK in Gruppe III für Abfalltyp A1 sowie AWK III d bei Abfalltyp A2 erzielt, was auf die gleichzeitige Verwertung von Bioabfällen und die damit einhergehenden Wirkungen zur Schonung des Naturraums und die energetische Verwertung zurückzuführen ist. Bei den Abfalltypen A3 und A4 sind diese Möglichkeiten aufgrund der geringeren Bioabfallgehalte eingeschränkt, so dass der Beitrag zur Rohstoffschonung gering (o) bis mittel (+) ist.

Der Beitrag zum Klimaschutz wird bei den Abfalltypen A1 und A2 in hohem Maße vom AWK beeinflusst. Die Beiträge reichen von gering (o) bis sehr hoch (+++). Während die einfach konzipierten AWK Ia, Ib und IIa, IIb nur einen geringen bis mittleren Beitrag liefern, sind die Klimaschutzwirkungen der AWK in Gruppe III mit Bioabfallverwertung hoch (++) bis sehr hoch (+++). Auch die AWK Ic, IIc und III d haben durch die hohe Energienutzungsquote der MPS/MBS-Verfahren sehr hohe Klimaschutzwirkungen.

Bei den Abfalltypen A3 und A4 ist, bedingt durch die Abfallzusammensetzung und die geringeren Baseline-Emissionen, der Beitrag zum Klimaschutz überwiegend nur mittel (+), bei den einfachen AWK sogar nur gering (o).

#### 5.5.2.2 Abfalltypen der Gruppe B

Bei den Abfalltypen der Gruppe B liegen die Beiträge zur Ressourcenschonung aufgrund der höheren Potentiale an Produktions- und Energierohstoffen zwischen mittel (+) bei den einfach konzipierten AWK und hoch (++) bei den aufwändigeren Systemen. Einen hohen Beitrag leisten v.a. diejenigen AWK, die eine Verwertung von Bioabfällen vorsehen.

Der Beitrag zum Klimaschutz ist durchgängig hoch (++) bis sehr hoch (+++). Nur bei den einfach konzipierten AWK Ia und IIa sind für Abfalltyp B1 die THG-Reduktionen auf einem mittleren Niveau (+). Die sehr hohen THG-Minderungswirkungen werden in erster Linie in den AWK mit MBS/MPS erreicht, i.e. AWK Ic, IIc und III d. Bei Abfalltyp B2 sind die Minderungswirkungen auch bei denjenigen AWK sehr hoch, die ein differenziertes Stoffstrommanagement – AWK der Gruppe III – und/oder eine Komponente zur Vergärung von Abfällen – AWK Id, IId und IIId beinhalten.

#### 5.5.2.3 Abfalltypen der Gruppe C

Bei den Abfalltypen der Gruppe C zeigen sich die unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen AWK auf die Ressourcenschonung am deutlichsten. Die Beiträge reichen von mittel (+) bis sehr hoch (+++). Die höheren Beurteilungen erzielen AWK, die eine getrennte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen, die höchsten diejenigen AWK, die auch eine getrennte Sammlung von Bioabfällen beinhalten. Nur AWK IIIa erzielt aufgrund der nicht vorgesehenen Biogasproduktion Bioabfälle eine etwas geringere Bewertung (++) , da kein Beitrag zur Schonung von Energieressourcen geleistet wird.

Zum Klimaschutz tragen mit Ausnahme der einfach konzipierten Modelle Ia, IIa und IIIa alle AWK in hohem (++) bis sehr hohem Maße (+++) bei. AWK mit thermischer Behandlung als Komponente, i.e. Gruppe IV, erzielen überwiegend nur einen hohen Beitrag. Der Grund hierfür liegt v.a. in der Umwandlung von fossilem Kohlenstoff in CO<sub>2</sub>, so dass diese AWK – wenn auch knapp - unterhalb der Bewertungsgrenze für die höchste Klasse liegen.

### 5.5.3 **Gesamtbeurteilung**

Für die Gesamtbeurteilung werden die Einzelbeurteilungen nach den Kriterien

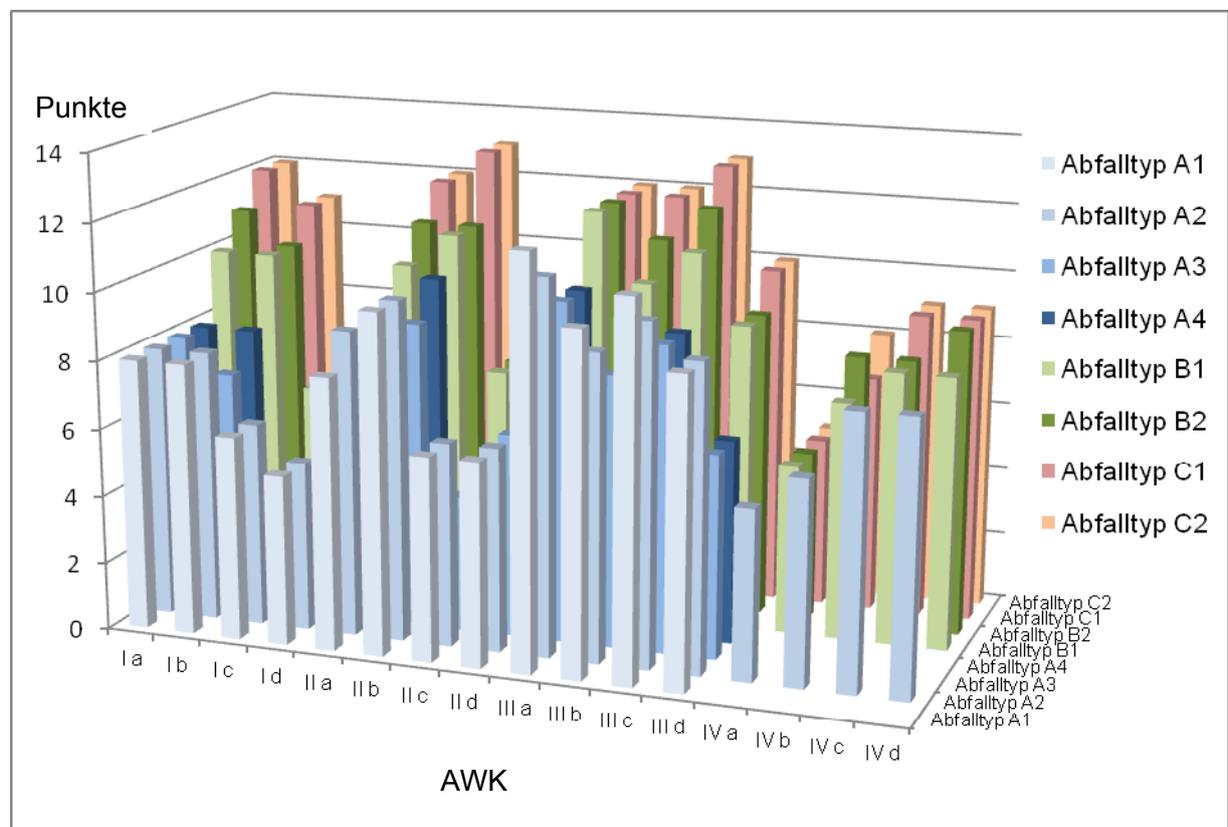
- Beitrag zur Ressourcenschonung
- Beitrag zum Klimaschutz
- Sozialverträglichkeit
- Management- und Know-how-Anforderungen
- Flexibilität

mit Punkten versehen und zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst. Dabei erhält jedes „+“ einen Punkt, d.h. bei sehr hohem Beitrag (+++) werden 3 Punkte, bei hohem Beitrag (++) 2 Punkte, bei mittlerem Beitrag (+) 1 Punkt und bei niedrigem Beitrag (o) kein Punkt vergeben. Tabelle 10 und Abbildung 7 zeigen die auf diese Weise erzielten aggregierten Beurteilungsergebnisse.

**Tabelle 10: Gesamtbeurteilung der AWK differenziert nach Abfalltypen**

AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
	Ia	Ib	Ic	Id	IIa	IIb	IIc	IId	IIIa	IIIb	IIIc	IIId	IVa	IVb	IVc	IVd
Abfalltyp A1	8	8	6	5	8	10	6	6	12	10	11	9	nicht anwendbar			
Abfalltyp A2	8	8	6	5	9	10	6	6	11	9	10	9	5	6	8	8
Abfalltyp A3	8	7	4	4	8	9	4	6	10	8	9	6	nicht anwendbar			
Abfalltyp A4	8	8	3	5	8	10	4	6	10	8	9	6	nicht anwendbar			
Abfalltyp B1	10	10	6	7	10	11	7	7	12	10	11	9	5	7	8	8
Abfalltyp B2	11	10	6	8	11	11	7	8	12	11	12	9	5	8	8	9
Abfalltyp C1	12	11	6	8	12	13	7	9	12	12	13	10	5	7	9	9
Abfalltyp C2	12	11	7	8	12	13	7	9	12	12	13	10	5	8	9	9

AWK der Gruppe III erhalten bei allen Abfalltypen die höchsten Bewertungen. Vergleichsweise hohe Punktzahlen erzielen auch die AWK IIa und IIb. Unter den AWK der Gruppe IV bekommen mit den Modellen IVc und IVd ebenfalls diejenigen AWK die höchsten Punktzahlen, die eine weitgehende getrennte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen und Bioabfällen als Komponente haben.



**Abbildung 7: Gesamtbeurteilung der AWK differenziert nach Abfalltypen**

Aus Tabelle 10 resp. Abbildung 7 können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Trotz der höheren Organisations- und Managementanforderungen sollten zur Erzielung hoher Beiträge zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz sowie im Interesse hoher Sozialverträglichkeit möglichst Konzeptionen mit einer weitgehenden getrennten Erfassung und Verwertung implementiert werden.
- Sofern eine getrennte Bioabfallsammlung nicht realisiert werden kann, sind zumindest Systeme zur separaten Erfassung von trockenen Wertstoffen aufzubauen.
- Die differenzierte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen und Bioabfällen hat die höchsten Beschäftigungseffekte und ist flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar.
- Verfahren mit thermischer Behandlung erzielen in der Gesamtbeurteilung zwar vergleichsweise wenige Punkte. Sie können jedoch v.a. bei hoher Siedlungsdichte und mangelnder Verfügbarkeit geeigneter Standorte eine gute Lösung darstellen. Auch in diesem Fall sollten soweit möglich Getrennterfassungssysteme implementiert werden.
- Die Verfahren MPS/MBS erzielen in den Modellen Ic und IIc vergleichsweise wenige Punkte. In Verbindung mit der getrennten Sammlung von Wertstoffen und Bioabfällen in Modell IIIId hingegen erhalten Konzepte mit diesem Verfahren als Komponente eine hohe Bewertung. Auch die AWK IVa und IVb, die sich durch eine überwiegend energetische Verwertung auszeichnen, erzielen nur wenige Punkte. Hieran wird deutlich, dass in der Gesamtabwägung die stoffliche und biologische Verwertung Vorteile gegenüber der rein energetischen Verwertung hat.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Beurteilungen der verschiedenen AWK und Technologien nur orientierende Hinweise geben können. Es ist weder objektiv möglich noch zielführend, eine allgemeingültige Bewertung vorzunehmen. Dies kann nur in einer konkreten Situation unter Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen geschehen. Wenn die Voraussetzungen für die Umsetzung von AWK nicht gegeben sind, stellen sie auch keine Alternative dar, die Diskussion ihrer Vor- und Nachteile ist dann müßig. Bei der Planung von Vorhaben müssen die Rahmenbedingungen sorgfältig ermittelt und analysiert werden, um sachgerechte Entscheidungen treffen zu können.

Die Beurteilung hängt ferner von den Annahmen insbesondere zu Erfassungs- und Sortierquoten, Abbaugraden, Verwertungsmöglichkeiten für Wertstoffe, Energie und Bodensubstrate ab. Die in der Arbeit getroffenen Annahmen sind in Anlage 2 dargestellt. Die Auswirkungen veränderter Annahmen auf die Beurteilung können mit dem entwickelten Bilanzierungs- und Bewertungstool (s. Anlage 4) einfach ermittelt werden.

## **6 UMSETZBARKEIT FORTSCHRITTLICHER ABFALLWIRTSCHAFTSKONZEPTE UNTER KOSTEN- UND FINANZIERUNGSASPEKTEN**

### **6.1 Vorbemerkung**

Nachfolgend wird die Umsetzbarkeit der in Kap. 5 definierten AWK unter Kosten- und Finanzierungsaspekten diskutiert. Dazu werden Kosten- und Erlöskalkulationen für die verschiedenen Abfalltypen durchgeführt, die auf den Material-, Energie- und THG-Bilanzen basieren und mit Hilfe des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Tools berechnet wurden. Es handelt sich um überschlägige Kalkulationen, mit denen die Größenordnungen der Kosten und der möglichen Kostendeckungsbeiträge aus der Verwertung der Abfälle ermittelt werden sollen. Ziel ist es nicht und kann es auch nicht sein, die ‚genauen‘ Kosten der AWK zu berechnen, sondern Indikationen darüber zu geben, inwieweit der Implementierung von fortschrittlichen AWK in EL aus finanziellen Gründen Grenzen gesetzt sind. Dies wäre v.a. dann gegeben, wenn die Internationale Gemeinschaft dauerhaft finanzielle Unterstützung zur Sicherstellung der finanziellen Nachhaltigkeit leisten müsste. In diesem Fall wäre der Ansatz voraussichtlich allein aus Kostengründen zu verwerfen.

Desweiteren soll die Betrachtung die strukturellen Zusammenhänge zwischen Kosten und Erlöspotentialen verschiedener AWK für unterschiedliche Abfalltypen herausarbeiten, um Handlungsorientierung zur Gestaltung von AWK unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu geben.

### **6.2 Vorgehensweise**

Erfahrungen mit höherwertigen abfallwirtschaftlichen Verfahren in EL liegen bislang kaum vor. Die vorhandenen Informationen sind nicht ausreichend konsistent, um allgemeingültige Folgerungen zu ziehen. Dorn [2010] berichtet von TAB in China, deren Behandlungskosten in weiten Grenzen variieren. Valide Aussagen sind kaum möglich, da die projektspezifischen Rahmenbedingungen, Anlagen- und Emissionsstandards, einbezogene Kosten und Finanzierungsbedingungen<sup>139</sup> nicht berichtet werden und keine systematische Analyse erlauben. In einer Studie der Weltbank [WB 2008] werden für neun Großstädte, darunter sieben Städte in unterschiedlich entwickelten EL, unter Verwendung eines von der US EPA entwickelten Entscheidungsmodells für Siedlungsabfallwirtschaft die Kosten und Wirkungen verschiedener abfallwirtschaftlicher Konzepte einschließlich Sammlung und Transport untersucht. Darin werden allerdings nur einlinige Stoffstrommodelle für verschiedene Verfahren betrachtet und deren Kosten verglichen. Die Kombination verschiedener Verfahren bzw. AWK mit differenzierteren Stoffströmen werden nicht untersucht. Ferner fehlen die MBA-Verfahren und Strategien der energetischen Verwertung. Die Studie liefert dennoch Kostenorientierungen für einige fortschrittliche abfallwirtschaftliche Verfahren in EL, die für die Kalibrierung der Kostenabschätzungen in dieser Arbeit herangezogen werden.

Mangels belastbarer Daten werden die Kosten fortschrittlicher Verfahren der Abfallwirtschaft in EL basierend auf den Erfahrungswerten in IL abgeschätzt. Dazu werden die Kostenstrukturen analysiert und die Einflüsse der ökonomischen Rahmenbedingungen in EL diskutiert. Es handelt sich somit um Kostenabschätzungen auf Grundlage von Plausibilitätsüberlegungen. Ziel ist es, Größenordnungen der Kosten sowie Einflussfaktoren und Risiken zu identifizieren. Genauere Kostenschätzungen erfordern konkrete Planungsüberlegungen für einen gegebenen Raum und definierte Rahmenbedingungen, die hier in allgemeiner Form nicht modelliert werden können.

Anschließend werden die möglichen Kostendeckungsbeiträge aus der stofflichen und energetischen Verwertung der Abfälle sowie Vergütungen für die erzielte THG-Minderung abgeschätzt. Unter Berücksichtigung der zumutbaren Eigenbeiträge der EL wird ermittelt, ob und in welchem Maße eine dauerhafte finanzielle Unterstützung erforderlich wäre, um die den dauerhaften Betrieb fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme in EL sicherzustellen.

---

139 mit/ohne Finanzierungskosten, Planungskosten, Grundstück, Erschließung, Bauzinsen

### 6.3 Einflussfaktoren auf Kosten und Erlöse

Die Kosten eines Abfallwirtschaftssystems und Erlöse aus der Verwertung werden erheblich von lokalen und regionalen Faktoren beeinflusst. Besonderen Einfluss haben [WB 2008]:

- Lohnkosten: Sie beeinflussen v.a. diejenigen Komponenten, die durch einen hohen manuellen Arbeitsanteil geprägt sind. Dies sind insbesondere Abfallsammlung, Sortierung und Verfahren mit einfachen verfahrenstechnischen Konfigurationen.
- Energiekosten: Preise für Treibstoffe sind für alle Verfahren, in denen Fahrzeuge und mobile Geräte eingesetzt werden, von Bedeutung, v.a. bei Abfallsammlung und Transport, bei der Deponierung (Bulldozer, Kompaktoren), Betrieb von Schreddern, Siebanlagen, Mietenumsetzgeräten bei der Kompostierung, Radlader, LKW etc. Die Strompreise beeinflussen v.a. bei Verfahren mit hohem Mechanisierungsgrad die Kosten der Behandlung (Schredder, Pressen, Förderbänder, Misch- und Zerkleinerungsaggregate etc.). Energiepreise werden in EL vielfach subventioniert, zumindest aber geringer besteuert als in den meisten IL. Trotz der zumeist günstigeren Energiepreise in EL wird im Rahmen dieser Arbeit dieser Faktor nicht berücksichtigt und es werden international übliche Energiekosten angesetzt.
- Verwertungsmöglichkeiten bzw. Nachfrage und Erlöse für Sekundärrohstoffe und Kompost: Die Verwertung von Abfällen kann beachtliche Kostendeckungsbeiträge leisten und die Entsorgungskosten reduzieren. Die tatsächlichen Möglichkeiten werden je nach Produkt durch lokale und regionale, für industrielle Rohstoffe durch internationale Märkte beeinflusst (vgl. Kap 4.2.4).
- Die Märkte für Kompost sind dagegen von lokalen Faktoren abhängig und sehr unterschiedlich entwickelt. In einer Untersuchung der Weltbank [WB 2008] wurden erhebliche Schwankungen der Produkterlöse ermittelt. Sie lagen zwischen 15 und 60 US\$ pro Tonne Kompost bzw. daraus hergestellter Produkte. Damit können die Kosten der Kompostierung jedoch i.d.R. nicht gedeckt werden.
- Erfassungsgrade und Sortierquoten: Der Anteil der tatsächlich aus dem Abfallstrom separierten Wertstoffe hat Einfluss auf die Kosten des Abfallwirtschaftssystems. Sie bestimmen nicht nur die Menge der verwerteten Abfälle, sondern auch die verbleibende Restmenge, die behandelt und abgelagert werden muss. Die Verwertung von Abfällen führt auf zwei Wegen zu Kostenreduktionen: durch direkte Erlöse aus dem Verkauf der Sekundärrohstoffe und durch Einsparungen bei der Restabfallentsorgung<sup>140</sup>.
- Regelungen zur Einspeisung von Strom und Biogas in Versorgungsnetze sowie Erlöse: Diese sind sehr unterschiedlich geregelt und reichen vom schlichten Verbot der Netzeinspeisung über finanziell wenig lukrative Regelungen bis hin zu hohen, gesetzlich festgelegten Einspeisevergütungen.

Die o.g. Faktoren können nur zum Teil bzw. nur in allgemeiner Form bei den nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt werden. Sie sind im Rahmen der Entwicklung konkreter Projekte sorgfältig zu analysieren und den Kostenermittlungen zugrundezulegen.

### 6.4 Kosten und Kostenstrukturen abfallwirtschaftlicher Anlagen

#### 6.4.1 Herstellungskosten

Die Herstellungskosten können für die Zwecke dieser Arbeit hinreichend genau unterteilt werden in die Komponenten: Kosten für

- Grundstück und Erschließung,
- Planung und Genehmigung,
- Gründungsarbeiten und Rohbau,

---

140 Inwieweit Erlöse aus der Sekundärrohstoffverwertung dem Träger der Entsorgung zugutekommen, hängt von der Organisation und den vertraglichen Regeln ab. Sofern die damit verbundenen Tätigkeiten unorganisiert dem Privat- oder informellen Sektor überlassen werden, profitiert der Entsorgungsträger nicht von den Erlösen und hat nur den Nutzen durch Reduzierung der Restabfallmengen. Führt er die Tätigkeiten in eigener Zuständigkeit durch, profitiert er von den gesamten Erlösen. Insgesamt dürfen die Kostendeckungsbeiträge aus der Sekundärrohstoffverwertung nicht überbewertet werden – s. Kap. 6.5.1

- Maschinen- und elektrotechnische Ausstattung, Mess-, Steuer- und Regeltechnik,
- Finanzierung und Bauzinsen.

In Anlage 1 sind Orientierungswerte für die spezifischen Investitionskosten in IL in ‚EUR pro Tonne Jahreskapazität‘ angegeben. Bei der Übertragung der Kosten auf die Rahmenbedingungen in EL sind folgende strukturellen Einflüsse zu berücksichtigen:

- Während die Kosten für Stahl überwiegend durch internationale Marktbedingungen bestimmt werden, werden die Kosten für sonstige Baumaterialien vorwiegend durch lokale Faktoren beeinflusst. Zementfabriken sind in den meisten Ländern vorhanden, die Kosten von Zement hängen in hohem Maße von den Energiekosten ab.
- Die technische Ausrüstung von höherwertigen Anlagen stammt weitestgehend aus IL und hat internationales Preisniveau. Je nach Transportbedingungen und Zollbestimmungen können diese Komponenten in EL teurer als deren Beschaffung in IL sein.
- An der Planung fortschrittlicher Anlagen sind internationale Consultants und Anlagenbauer umso stärker beteiligt, je komplexer die Anlagentechnik ist. Einsparungen bei Planungs- und Genehmigungskosten sind durch Einbeziehung lokaler Consultants v.a. bei der Erschließungsplanung, Planung von Nebenanlagen etc. möglich.
- Kostenreduktionen beim Bau der Anlagen ergeben sich v.a. dort, wo lokale Fachkräfte eingesetzt werden können. Dies betrifft insbesondere Erschließung, Gründungsarbeiten und die Baukonstruktion. Dementsprechend sind die Kosten der Herstellung in EL gegenüber IL umso geringer, je kleiner der Anteil der technischen Ausstattungskomponenten an der Gesamtinvestition ist.

Je nach Anteil der Erschließungs-, Gründungs- und Rohbauarbeiten an den Gesamtinvestitionskosten einer Anlage sind im Vergleich zu den Investitionskosten in IL bei der Herstellung einer Anlage in einem EL somit Kosteneinsparungen zu erzielen. Dechent [2006] gibt die Lohnkostenanteile für Erdarbeiten und Stahlbetonarbeiten mit etwa 20 – 25% der Herstellungskosten an. Legt man diese Zahlen zugrunde, sind die aufgrund der geringeren Personalkosten in EL erzielbaren Einsparungen bei den Investitionskosten so geringfügig, dass die Auswirkungen auf die spezifischen Kosten vernachlässigbar sind. Sie liegen zwischen 0,6 und etwa 4% und damit im Bereich der Schätzgenauigkeiten. Diese Effekte werden daher im Rahmen der Arbeit nicht berücksichtigt.

Grundsätzlich sinken die spezifischen Investitionskosten mit zunehmender Anlagengröße. Die Kostenkurven in Abhängigkeit der Anlagenkapazität haben jedoch keinen kontinuierlichen Verlauf, sondern es treten sog. ‚Sprungkosten‘ auf. Dies ist der Fall, wenn eine Erhöhung der Anlagenkapazität nur durch Hinzufügen einer weiteren Komponente und nicht mehr durch Vergrößerung der Abmessungen oder Erhöhung der Leistung von Aggregaten erreicht werden kann<sup>141</sup>. Diese Effekte können im Rahmen der Kostenabschätzungen jedoch nicht berücksichtigt werden. Für die Zwecke dieser Arbeit liefern die spezifischen, auf die Anlagenkapazität bezogenen Investitionskosten jedoch eine ausreichend belastbare Grundlage.

### 6.4.2 Spezifische Kosten

Für den Vergleich der AWK werden die spezifischen Kosten als sog. ‚Vollkosten‘ herangezogen. Diese beinhalten sämtliche Kosten inkl. Kapitalkosten zu einem gegebenen Zeitraum bezogen auf die in dieser Zeit behandelte Menge. Sie sind somit entscheidend abhängig von der Auslastung der Anlagen. Sie steigen mit sinkender Auslastung umso stärker, je höher der Anteil der Fixkosten ist<sup>142</sup>. In Anlage 1 sind Orientierungswerte für die spezifischen Kosten sowie die Kostenstrukturen für gängige Verfahren der Abfallwirtschaft angegeben. Es handelt sich um Werte für in Deutschland und Westeuropa realisierte Anlagen unter Zugrundelegung ihrer Nennkapazität.

---

141 z.B. Bau einer weiteren Behandlungs- oder Verbrennungslinie, zweiter Kompaktor auf einer Deponie

142 Kapitalkosten, Kosten der Verwaltung, Steuern, Versicherungen und ein Teil der Personalkosten

Folgende Kostenelemente sind zu berücksichtigen:

- Kapitalkosten:           - Abschreibung  
                                  - Verzinsung
- Betriebskosten:         - Personalkosten  
                                  - Energie, Betriebsmittel, Verbrauchsmaterialien  
                                  - Verwaltungskosten  
                                  - Steuern, Versicherungen
- Instandhaltungskosten: - Reparaturen  
                                  - Wartung  
                                  - Erneuerungsinvestitionen

Bei der Übertragung auf EL ändern sich die diejenigen Kostenkomponenten, die durch lokale Faktoren beeinflusst werden. Entsprechend ändern sich die Strukturen der spezifischen Kosten. Besonders das geringere Lohnkostenniveau beeinflusst solche Komponenten des Entsorgungssystems, bei denen die Personalkosten einen hohen Anteil haben, i.e. Verfahren, bei denen in hohem Maße manuelle Tätigkeiten erforderlich sind.

Die besonders zu berücksichtigende Faktoren bei der Übertragung der Kosten von IL auf EL sind:

- Personalkosten: Als Indikator kann das Brutto-Inlandprodukt (BIP) herangezogen werden. Der Zusammenhang der Kosten abfallwirtschaftlicher Verfahren mit dem BIP ist umso signifikanter, je personalintensiver sie sind bzw. je höher der Personalkostenanteil an den spezifischen Kosten ist. Das Lohnniveau für einfache Arbeiten bewegt sich deutlich darunter. Es wird hier mit 50% des BIP angesetzt<sup>143</sup>.
- Für hochqualifiziertes Personal, insbesondere für Steuerung und Management von höherwertigen Anlagen, liegt das Lohnniveau bei etwa 30 – 50% der Kosten internationaler Experten<sup>144</sup>.
- Instandhaltung und Verwaltung sind überwiegend Personalkosten. Sie sind günstiger als in IL, da die Arbeiten überwiegend von lokalen Beschäftigten erbracht werden.
- Ersatzteile müssen i.d.R. zu internationalen Marktbedingungen beschafft werden.
- Energiekosten werden stark von lokalen Faktoren der Subventionierung und Besteuerung beeinflusst (s.o.). Da sich die Rahmenbedingungen von Land zu Land stark unterscheiden, werden hier international übliche Kosten angesetzt.
- Die Kapitalkosten werden direkt beeinflusst von den Herstellungskosten und den Finanzierungskonditionen. Sofern die Investition kommerziell finanziert wird, sind die Kosten höher, da EL ein schlechteres Rating haben als IL. Sofern die Investition im Rahmen der FZ finanziert wird, reduzieren sich die Kapitalkosten u.U. erheblich. Davon profitieren besonders Verfahren mit einem hohen Grad an technischer Ausrüstung, da bei diesen die Kapitalkosten den höchsten Anteil an den Gesamtkosten haben<sup>145</sup>. Für die Berechnungen in dieser Arbeit wird ein Finanzierungszinssatz von 5% angenommen.

Unter Berücksichtigung dieser strukturellen Zusammenhänge und Einflussparameter werden die Kosten und deren Strukturen für fortschrittliche Verfahren der Abfallwirtschaft in EL abgeschätzt und mit Kostenangaben aus der Literatur abgeglichen [UNEP 2005, WB 2008, Hogg et al. 2002]. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse dieser Abschätzungen. Dabei handelt es sich um spezifische Vollkosten, die differenziert nach Größenklassen des BIP angegeben sind. Zum Vergleich sind die Kosten in IL dargestellt. Sie beinhalten keine Erlöse und gelten unter Annahme einer zinsgünstigen Finanzierung. Einzelheiten der Kostenabschätzungen sind in Anlage 1 dargestellt.

---

143 Meist liegen die Lohnkosten für Arbeiter in EL noch niedriger. Im Hinblick auf die sozialverträgliche Gestaltung von Abfallwirtschaftssystemen werden hier jedoch Lohnkosten unterstellt, die einen Anreiz für die Arbeit im Sektor schaffen.

144 Erfahrungswerte aus Angeboten im Rahmen von Vorhaben der FZ.

145 So beträgt der Anteil Kapitalkosten an den spezifischen Kosten bei einer TAB etwa 50 – 60%. Er sinkt um etwa 1/3, wenn anstelle eines angenommenen kommerziellen Finanzierungssatzes von 8%/a nur 2%/a Zinsen zu zahlen sind. Die spezifischen Kosten sinken damit um etwa 20%.

**Tabelle 11: Spezifische Vollkosten abfallwirtschaftlicher Verfahren in Abhängigkeit des BIP**

BIP [EUR / Einwohner / Jahr]	< 2.000	2.000 – 4.000	4.000 – 6.000	25.000 – 30.000
Verfahren	[EUR/Mg]	[EUR/Mg]	[EUR/Mg]	[EUR/Mg]
Aussortierung trockener Wertstoffe	20 - 30	25 - 35	35 - 45	60 - 70
Aussortierung heizwertreicher Fraktionen	15 - 25	20 - 30	25 - 35	50 - 60
Kompostierung von Bioabfällen	20 - 30	20 - 30	20 - 30	35 - 50
Intensivrotte/Vergärung von Bioabfällen	50 - 60	50 - 60	50 - 60	70 - 90
Einfache MBA*	15 - 25	20 - 30	20 - 30	35 - 50
MBA Intensivrotte und Vergärung*	40 - 50	40 - 50	45 - 55	75 - 90
MBS / MPS*	40 - 50	40 - 50	45 - 55	65 - 80
EBS-HKW*	60 - 80	60 - 80	65 - 85	90 - 120
Thermische Abfallbehandlung*	70 - 90	70 - 90	75 - 95	110 - 140
Geordnete Deponie	10 - 20	12 - 22	15 - 25	40 - 60

\* ohne Kosten der Reststoffentsorgung

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Angaben auf theoretischen Plausibilitätsüberlegungen und nicht auf praktischen Erfahrungen basieren. Es sind Orientierungswerte, die bei der Umsetzung konkreter Vorhaben der Überprüfung auf der Grundlage sorgfältig erarbeiteter Planungen und unter Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen bedürfen. Es wird bereits an dieser Stelle angeregt, im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten genauere Kostensimulationsmodelle für die Analyse abfallwirtschaftlicher Prozesse und Verfahren zu entwickeln, um die Grundlagen für den Aufbau fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme in EL zu verbessern.

### 6.4.3 Kosten der Abfallsammlung

Die Abfallsammlung kann – je nach Art und Standard der Entsorgungsanlagen – 50% und mehr der Systemkosten verursachen. Kosteneinsparungen bei der Abfallsammlung tragen daher signifikant zur Verringerung der finanziellen Belastungen der Abfallwirtschaft bei.

Die Sammelkosten hängen neben den Lohnkosten entscheidend von der Sammelleistung<sup>146</sup> ab. Diese ist wiederum in hohem Maße von den lokalen Gegebenheiten abhängig. Die bedeutendsten Bestimmungsgrößen sind neben Sammelfrequenz und Benutzerservice<sup>147</sup> die Anfalldichte, Transportentfernung und Transportorganisation<sup>148</sup>. Ferner beeinflussen die Bauungs- und Verkehrswegestruktur, der Ausbauzustand der Straßen und die Verkehrsdichte die Effizienz der Abfalleinsammlung und stellen wichtige Aspekte bei der Wahl des Sammel-systems dar.

Hogg [2002] hat in einer europaweiten Untersuchung die Kosten verschiedener Verfahren der Abfallwirtschaft analysiert. Während die Systematik und die Einflussgrößen der Kosten von Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen relativ gut bestimmt werden konnten, sind die Sammelkosten stark von lokalen Gegebenheiten und angewandten Methoden der Einsammlung<sup>149</sup> abhängig. Insbesondere bei getrennter Sammlung kommt es in hohem Maße auf die aufgetragenen Mengen und Relationen der verschiedenen Sammel-systeme an, die zu weiten Spannen bei den spezifischen Kosten führen, wenn diese in ‚EUR/Mg‘ angegeben werden. Hingegen sind die ‚Kosten pro Haushalt‘ bzw. Abfallerzeuger relativ stabil. Hogg kommt zur Schlussfolgerung, dass es keine allgemeingültige Methode zur Bestimmung der Sam-

146 Abfallmenge oder geleerte Müllbehälter pro Mitarbeiter und Tag oder pro Fahrzeug und Tag

147 z.B. Haus-zu-Haus-Sammlung oder Bringsystem, Abholen und Zurückstellen der Behälter vom Grundstück oder Straßenrand durch Nutzer oder Müllabfuhrkräfte etc.

148 mit / ohne Umladung oder Transport zur Entsorgungsanlage im Sammelfahrzeug

149 Art und Ausmaß der Getrenntsammlung, Haus-zu-Haus-Sammlung oder Bringsysteme etc.

melkosten geben kann und diese nur im lokalen Kontext zu verstehen sind.

Hogg [2002] weist ferner auf das große Potential der Kosteneinsparung durch Optimierung der Sammelsysteme hin. Bei kommunalen Entsorgungsträgern in EL besteht jedoch häufig Zurückhaltung gegenüber Maßnahmen der Kosteneinsparung bei der Abfallsammlung, da dies den Abbau von - zumeist wenig produktivem - Personal erfordert (vgl. Kap. 2.5.4). Die Kommunen befürchten v.a. soziale Probleme, da es sich i.d.R. um ungelernete Mitarbeiter handelt, die auf dem Arbeitsmarkt kaum andere Beschäftigungsmöglichkeiten finden.

Um trotz der beschriebenen Schwierigkeiten eine Orientierung zu den Sammelkosten zu geben, wurde auf Grundlage der Literaturangaben zu den Sammelleistungen eines Müllsammlers eine überschlägige Kalkulation für ein personalintensives, technisch einfaches Primärsammelsystem durchgeführt (s. Anlage 6). Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt. Die Angaben gelten für eine Haus-zu-Haus-Sammlung bzw. Abholung der Abfälle an der Haustüre einschließlich Sekundärsammlung und Transport zur Verwertungs-/Entsorgungsanlage. Als zentrale Einflussparameter wurden die Sammelleistungen und das Einkommensniveau variiert.

**Tabelle 12: Kosten von Sammlung und Transport in Abhängigkeit des BIP**

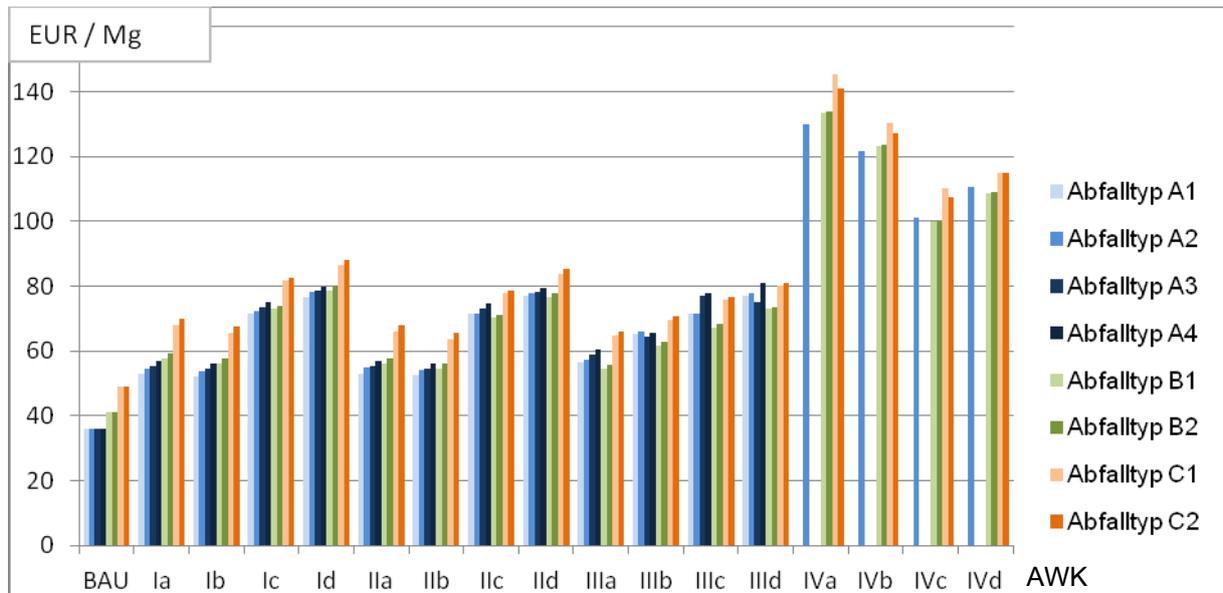
BIP	[EUR/Einw.]	1.000 - 2.000	2.000 - 4.000	4.000 - 6.000
<b>Einsammlung vermischter Abfälle</b>				
Kosten pro Mg	[EUR/Mg]	13 - 17	19 - 22	24 - 27
<b>Getrennte Sammlung von Wertstoffen und Restabfällen</b>				
Kosten pro Mg Wertstoffe	[EUR/Mg]	20 - 24	25 - 28	30 - 32
Kosten pro Mg Restabfall	[EUR/Mg]	15 - 18	20 - 24	25 - 28
<b>Getrennte Sammlung von Wertstoffen, Bioabfällen und Restabfällen</b>				
Kosten pro Mg Wertstoffe	[EUR/Mg]	20 - 24	25 - 28	30 - 32
Kosten pro Mg Bioabfall	[EUR/Mg]	16 - 20	23 - 27	30 - 34
Kosten pro Mg Restabfall	[EUR/Mg]	15 - 18	22 - 25	27 - 30

#### 6.4.4 Abschätzung der Kosten fortschrittlicher Abfallwirtschaftskonzepte in EL

Auf Grundlage der Kostenabschätzungen für die Einsammlung der Abfälle und für die verschiedenen Verfahren werden die Systemkosten der in Kap. 5.3 dargestellten AWK, differenziert für die in Kap. 5.2.2 definierten Abfalltypen, die wiederum verschiedenen Größenklassen des BIP entsprechen, ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 wiedergegeben.

Die Abschätzung erfolgt unter Zugrundelegung vereinfachter Stoffflussmodelle und der spezifischen Kosten der jeweiligen Prozesse und Verfahren. Die Mengen der einzelnen Stoffströme werden mit den jeweiligen spezifischen Kosten multipliziert. Es wird davon ausgegangen, dass ausreichend große Einzugsbereiche in den jeweiligen AWK geschaffen werden können, damit wirtschaftliche Anlagengrößen realisiert und betrieben werden können. Als Referenzwert wird ein ‚business-as-usual‘ (BAU)-Konzept gegenübergestellt, mit den Komponenten Einsammlung der Abfälle, Verwertung durch Einbeziehung des informellen Sektors und Ablagerung auf einer geordneten Deponie. Es basiert auf Erfahrungswerten aus Vorhaben, die mit Hilfe der deutschen FZ unterstützt und finanziert wurden [Pfaff-Simoneit 2006].

Abbildung 8 zeigt, dass sich die Kosten der AWK der Gruppen I – III in etwa gleichen Größenordnungen bewegen, sie steigen bei gleichen Konzeptionen mit zunehmendem BIP. Demgegenüber liegen die Kosten in Gruppe IV – AWK mit thermischer Behandlung / energetischer Verwertung - deutlich höher. Die Kosten des BAU-Konzepts liegen am niedrigsten.



**Abbildung 8: Kosten der untersuchten Abfallwirtschaftskonzeptionen – ohne Erlöse**

Auffällig ist ferner, dass die Kosten der AWK der Gruppe IV mit zunehmender Stoffstromdifferenzierung sinken. Je mehr Abfälle anstelle der thermischen Behandlung kostengünstigeren Verwertungsverfahren zugeführt werden, desto günstiger sind die Systemkosten.

## 6.5 Kostendeckung

Zur Abschätzung der aus Gebühren und anderen Formen der Kostendeckung (s. Kap. 7.4.2) zu tragenden Kosten der Abfallwirtschaft werden die potentiellen Deckungsbeiträge durch

- Erlöse aus der stofflichen Verwertung,
- Erlöse aus Ersatzbrennstoffen resp. eingespeister Energie,
- Erlöse aus dem Emissionshandel / Vergütungen für die erzielte THG-Minderung

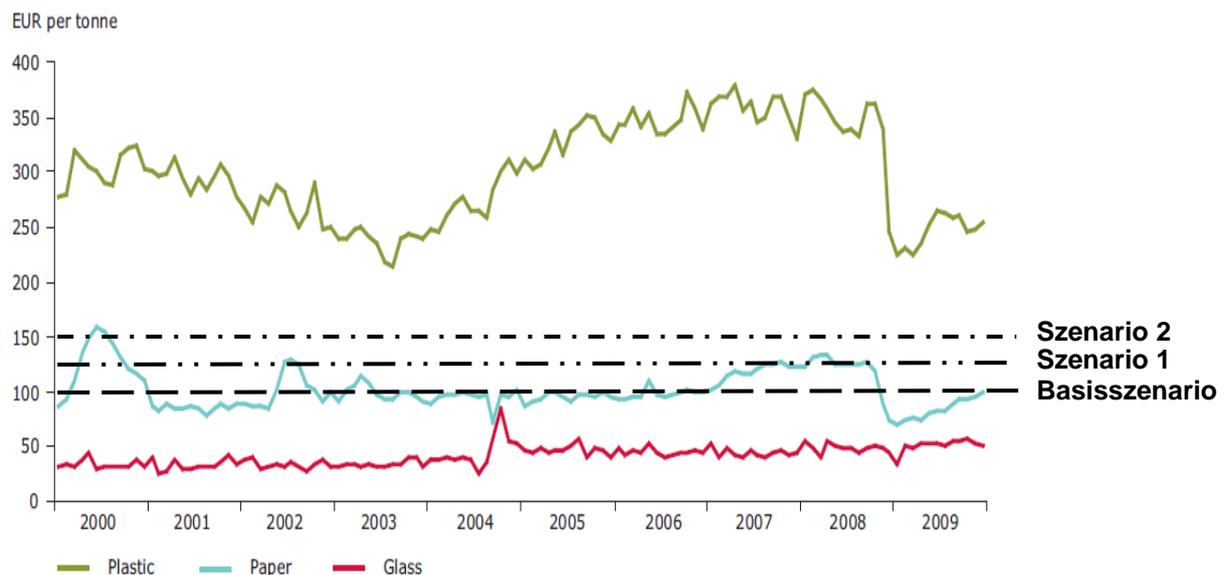
abgeschätzt. Dazu werden drei Szenarien betrachtet:

- Basisszenario: derzeitiges Erlösniveau
- Szenario 1: steigende Erlöse
- Szenario 2: hohe Erlöse

Die Erlöse werden im Basisszenario mit dem durchschnittlichen Erlösniveau der letzten 10 Jahre angesetzt. Im Szenario ‚Steigende Erlöse‘ wird eine Steigerung um etwa 25% angenommen, die sich mit der erwarteten Verknappung bzw. steigenden Nachfrage nach Rohstoffen und Energie begründet. Im Szenario ‚Hohe Erlöse‘ wird ein stärkerer Anstieg um 50% gegenüber dem Basisszenario unterstellt. Die Ansätze bleiben dennoch in allen Szenarien realistisch, die Ergebnisse sollen nicht ‚schön gerechnet‘ werden.

### 6.5.1 Erlöse aus der stofflichen Verwertung

Im Basisszenario wird die Erlössituation für trockene Wertstoffe unter Zugrundelegung eines durchschnittlichen Wertes für die letzten 10 Jahre [vgl. EEA 2010, Chalmin / Gaillochet 2009] angenommen. Dabei handelt es sich um einen konservativ angesetzten Durchschnittswert für den mengenmäßig bedeutsamsten Wertstoff ‚PPK‘. Auf eine Differenzierung nach der Art der Wertstoffe kann bei der hier vorgenommenen überschlägigen Betrachtung verzichtet werden. Für aussortierte Wertstoffe wird ein pauschaler Abschlag wegen der schlechteren Qualitäten und höherer Verunreinigungsgrade vorgenommen. Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der Preise für Sekundärrohstoffe seit 2000. Daraus ist erkennbar, dass die zugrundegelegten Werte für Wertstoff Erlöse in der Vergangenheit in Szenario 1 und kurzfristig sogar für Szenario 2 in Phasen hoher Nachfrage bereits überschritten wurden. Bei den Erlösangaben handelt es sich um Preise frei Hof der Verwerterbetriebe. Für Transporte und Zwischenhandel werden 30% der Erlöse angesetzt.



**Abbildung 9: Entwicklung der Preise für Sekundärrohstoffe in der EU** [Quelle: EEA 2010]

Die Werte für Kompost und Gärreste aus der Bioabfallverwertung orientieren sich am Düngewert [VHE 2011] und dem in einigen EL vorzufindenden Preisniveau. Erfahrungen in EL zeigen, dass für hochwertige Komposte bereits heute z.T. sogar weitaus höhere Erlöse erzielt werden [WB 2008]. Die Variante ‚Kompost aus gemischten Abfällen‘ wird nicht näher betrachtet. Sie entspricht konzeptionell und verfahrenstechnisch den Varianten mit MBA. Sofern eine Vermarktbarkeit für daraus erzeugte Komposte gegeben sein sollte, werden hierfür keine Erlöse angesetzt. Die dadurch erzielten Einsparungen aus der Reduzierung der abzulagernden Restabfälle sind moderat und liegen im Rahmen der Schätzungenauigkeiten.

Bei Komposten und Substraten werden die Preise von lokalen Gegebenheiten beeinflusst. Sie übertreffen vereinzelt selbst die in Szenario 2 unterstellten Werte<sup>150</sup>. Die angenommenen Steigerungen begründen sich aus der erwarteten Kostensteigerung für Düngemittel.

### 6.5.2 Erlöse aus der energetischen Verwertung

Im Unterschied zur Marktsituation in Deutschland und Europa werden für aufbereitete Ersatzbrennstoffe (EBS) in EL vereinzelt bereits heute Erlöse erzielt [Delcroix 2011]. Erlöse für EBS werden dennoch im Basisszenario nicht angesetzt. Der Preisabschlag im Vergleich zu substituierten fossilen Brennstoffen begründet sich mit den erforderlichen Investitionen für das EBS-Handling durch die Zementindustrie. Diese investiert bereits heute insbesondere in Pakistan und Indien in eigene Anlagen, die der Gewinnung von Sekundärbrennstoffen aus Abfällen als kostengünstige Energiequelle dienen [Lechtenberg 2008].

In Szenario 1 werden die Erlöse im Bereich der Preise für Braunkohle für Kraftwerke angesetzt, die im langjährigen Durchschnitt etwa 4 – 5 EUR/MWh betragen. In Szenario 2 werden Erlöse in Höhe von 10 EUR/MWh angesetzt. Diese begründen sich mit erwarteten Preissteigerungen für Energie.

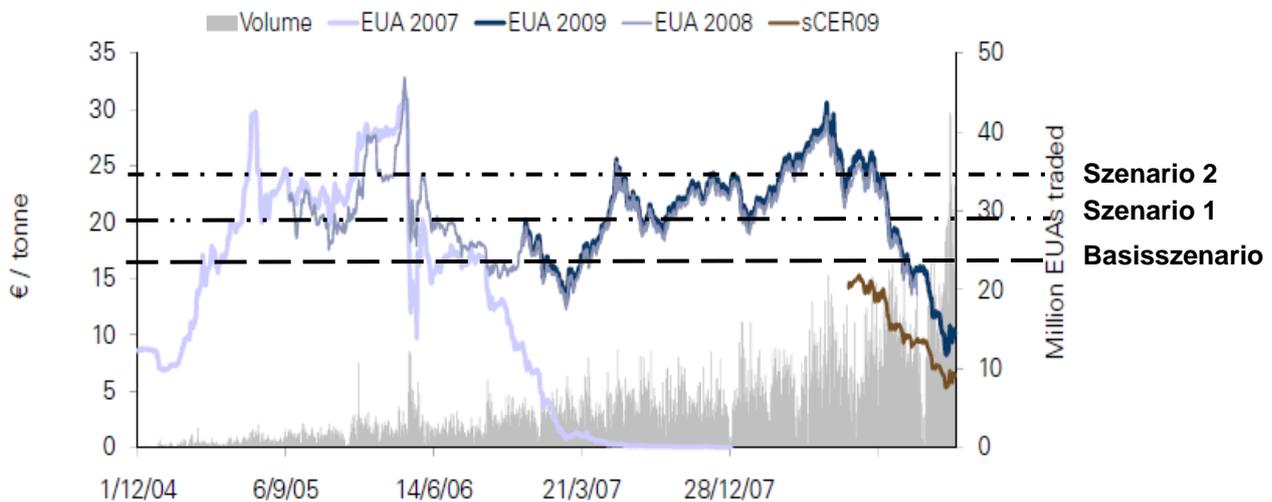
Für Strom, Dampf und Wärme wird in der Näherungsbetrachtung keine Unterscheidung zwischen der Art der Abgabe von Energie vorgenommen. Es wird unterstellt, dass Anlagen für die energetische Verwertung von Abfällen nur an Standorten realisiert werden, an denen die überschüssige Energie weitgehend verwertet werden kann. Dies stellt zugleich eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung von Anlagen zur energetischen Verwertung von Abfällen in EL dar. Für die Erlöse wird ein Mischpreis angesetzt, der aktuell für industrielle Großkunden in Deutschland gilt [Statistisches Bundesamt 2011]. Die höheren Erlöse in den Szenarien 1 und 2 begründen sich mit erwarteten Preissteigerungen für Energie aufgrund zunehmender Verknappung von Energierohstoffen.

<sup>150</sup> In Tunesien werden Klärschlammkomposte aus den Niederlanden importiert, für die 30 EUR / Mg und mehr gezahlt werden [Grüschow 2010].

### 6.5.3 Vergütungen für Treibhausgasminderung

Die Betrachtung unterstellt, dass die internationale Gemeinschaft oder einzelne IL Mittel für die angemessene Vergütung von THG-Minderungsmaßnahmen der EL bereitstellen werden. Dies ist eine zentrale Hypothese dieser Arbeit. Es kann jedoch derzeit (Stand Dezember 2011) nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob, wann und wie eine Einigung erreicht wird. Der Stand der internationalen Verhandlungen ist in Kap. 3.5 dargestellt. Die Szenarien stellen somit keine ‚Prognosen‘ dar, sondern sind Annahmen für Variationsrechnungen, um die Größenordnung möglicher Kostendeckungsbeiträge aus der Vergütung der internationalen Gemeinschaft für Klimaschutzbeiträge der EL einzugrenzen.

Im Basisszenario werden die Durchschnittswerte der Zertifikatepreise bzw. der EUA des EU-ETS<sup>151</sup> aus der ersten Handelsperiode zugrundegelegt. Dabei werden die Werte ab etwa Mitte 2009 nicht berücksichtigt, da sie wegen der Verunsicherungen über die weitere Zukunft des KP stark gefallen sind<sup>152</sup>.



**Abbildung 10: Entwicklung der Preise für Emissionszertifikate**  
[Quelle: Point Carbon 2009]

In den Szenarien 1 und 2 werden Steigerungen um 25% bzw. 50% angenommen, die phasenweise bereits in der ersten Handelsperiode überschritten wurden. Im Unterschied zum projektbezogenen CDM-Ansatz wird im Rahmen der Simulationsrechnungen unterstellt, dass eine Vergütung auf der Grundlage eines ‚NAMA-Ansatzes‘ oder eines ‚Sectoral Crediting‘ (s. Kap. 3.4.4) vereinbart wird. Nur so ist es möglich, die THG-Minderungswirkungen der Abfallwirtschaft, v.a. des Recyclings, mit praktikablen Methoden in Wert zu setzen. Ferner wird unterstellt, dass die durch Methanvermeidung erzielten THG-Minderungen vollständig im Jahr der Durchführung der Maßnahme vergütet werden. Dies widerspricht allerdings der Logik und Spruchpraxis des Executive Board (EB) des CDM. Aus diesem Grund wird eine zweite Betrachtung vorgenommen unter der Annahme, dass entsprechend der Praxis des CDM Vergütungen für die Methanvermeidung gemäß dem theoretischen Verlauf der Depo-niegasbildung in der Baseline gezahlt werden (s. Kap. 4.3.5.1). Die Zahlungen werden auf das Jahr der Durchführung der Maßnahme diskontiert. Bei Zugrundelegung einer 20-jährigen Betrachtung entspricht die Vergütung bei Zugrundelegung eines mittleren Diskontierungssatzes von 5% je nach Abfalltyp und Klimazone zwischen etwa 72% und 83% bezogen auf die realen kumulierten Vergütungen. Die Berechnung hierzu findet sich in Anlage 7. Für die Berechnungen mit diskontierten Vergütungen werden einheitlich rd. 70% angenommen.

Tabelle 13 fasst die getroffenen Annahmen für die Erlöse aus der stofflichen und energetischen Verwertung von Abfällen und der Klimaschutzvergütung zusammen.

151 European Union Allowances – Emissionserlaubnis der EU; EU-ETS – EU Emission Trading System

152 Zum Vergleich: In dem zum 1.7.2012 in Australien eingeführten Preissystem für Kohlenstoff wurden umgerechnet 18 EUR pro t CO<sub>2</sub> festgelegt [Jotzo 2012].

**Tabelle 13: Angenommene Erlöse aus der Verwertung und Klimaschutzvergütung**

Produkt / Wertstoff	Basisszenario	Szenario 1 ,Steigende Erlöse'	Szenario 2 ,Hohe Erlöse'
Wertstoffe getrennt gesammelt	70 EUR/t	85 EUR/t	100 EUR/t
Wertstoffe aussortiert	50 EUR/t	65 EUR/t	80 EUR/t
Kompost, Gärreste aus Bioabfall	10 EUR/t	15 EUR/t	20 EUR/t
EBS (nach Heizwert)	0 EUR / MWh	5 EUR / MWh	10 EUR / MWh
Strom, Wärme	25 EUR / MWh	30 EUR / MWh	35 EUR / MWh
Klimaschutzfinanzierung ohne Diskontierung	16 EUR / t CO <sub>2</sub>	20 EUR / t CO <sub>2</sub>	24 EUR / t CO <sub>2</sub>
mit Diskontierung	11 EUR / t CO <sub>2</sub>	14 EUR / t CO <sub>2</sub>	17 EUR / t CO <sub>2</sub>

## 6.6 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Zur Beurteilung der Ergebnisse wird ein Vergleich zum BAU-Modell gezogen. Dabei werden Modelle als etwa kostenäquivalent betrachtet, deren Kosten um nicht mehr als 10% voneinander abweichen. Dies liegt deutlich unter der Schätzungenauigkeit. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse des Kostenvergleichs in übersichtlicher Form für alle Abfalltypen und AWK. Darin stellen die links angeordneten Halbkreise die Ergebnisse der Berechnungen für den Fall dar, dass die Beiträge zur Reduzierung von THG im Jahr der Durchführung der Maßnahme vergütet werden. Die rechten Halbkreise zeigen die Ergebnisse für den Fall, dass die Vergütungen für die Methanvermeidung entsprechend dem theoretischen Verlauf der Deponiegasbildung in der Baseline gezahlt und auf das Basisjahr diskontiert werden.

Aus Tabelle 14 (s. nächste Seite) können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Für die Abfalltypen der Gruppen B und C könnten bereits bei Zugrundelegung derzeit erzielbarer Erlöse - i.e. Basisszenario - AWK entwickelt werden, die zu gleichen oder gar geringeren Kosten wie das BAU-Modell einen Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz leisten könnten, sofern eine entsprechende Vergütung für die Klimaschutzleistungen der Abfallwirtschaft gesichert wäre.
- Bei den Abfalltypen der Gruppe A stellt das BAU-Modell in allen Fällen das kostengünstigste AWK dar.
- Kostenvorteile treten am häufigsten und deutlichsten in Gruppe III auf. V.a. AWK IIIa und IIIb weisen für fast alle Abfalltypen die günstigsten Kosten auf. Hieraus kann gefolgert werden, dass die aus allgemeinen Mitteln und Gebühren zu deckenden Kosten am geringsten sind, wenn Wertstoffe und Bioabfälle separat erfasst und verwertet werden.
- Sofern keine getrennte Wertstoff- und Bioabfallsammlung realisiert werden kann, stellt AWK Ib - Aussortierung von Wertstoffen und heizwertreichen Fraktionen sowie Behandlung der Reste in einer einfachen MBA - die kostengünstigste Option dar.
- Die Vergärung von Abfällen - Modelle Id, IId, IIIb, c und d - stellt im Basisszenario trotz des hohen Potentials organischer Abfälle keine kostengünstige Option dar. Es sind jedoch diejenigen AWK, die bei steigenden hohen Erlösen - Szenario 1 und 2 – am schnellsten kostengünstiger gegenüber dem BAU-Modell werden.
- Überraschenderweise ist auch das technologisch einfache Konzept Ia - Aussortierung von Wertstoffen und Behandlung in einer einfachen MBA - unter Kostenaspekten nicht vorteilhaft. Mindestens sollten bei einem solchem Ansatz auch heizwertreiche Stoffe separiert und der energetischen Verwertung zugeführt werden – i.e. Modell Ib.
- Strategien zur energetischen Verwertung mit thermischen Verfahren - Modelle der Gruppe IV - sind unter Kostenaspekten bei keinem Abfalltyp konkurrenzfähig. Nur bei höherem Heizwert - Abfalltyp C2 - liegen die Kosten der Modelle IVc und IVd etwa 30% - 40% über den Kosten des BAU-Modells. Dies gilt jedoch nur, wenn Bioabfälle getrennt

erfasst und verwertet werden.

- Die MBS / MPS - Modelle Ic, Ilc und III d - sind erst bei hohen Anteilen heizwertgebender Fraktionen und hohen Erlösen für EBS konkurrenzfähig. Die geringsten Kosten unter diesen Modellen hat überraschenderweise AWK III d, das eine getrennte Erfassung von Bioabfällen beinhaltet.

**Tabelle 14: Vergleich der Kosten mit dem BAU-Modell**  
(ohne / mit Diskontierung der Klimaschutzvergütungen für Methanvermeidung)

Abfall- typ	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		Ia	Ib	Ic	Id	IIa	IIb	IIc	II d	IIIa	IIIb	IIIc	III d	IVa	IVb	IVc	IVd
A1	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	nicht anwendbar			
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
A2	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
A3	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	nicht anwendbar			
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
A4	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	nicht anwendbar			
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
B1	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
B2	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
C1	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
C2	Basisszenario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Szenario 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Legende:** ● Kosten ohne I mit Diskontierung geringer als BAU-Modell  
 ● Kosten ohne I mit Diskontierung etwa gleich wie BAU-Modell  
 ● Kosten ohne I mit Diskontierung höher als BAU-Modell

Die Berechnungen in Anlage 5 liefern folgende Erkenntnisse:

- In allen AWK bilden die Vergütungen für die THG-Minderungsleistungen der Abfallwirtschaft für alle Abfalltypen die wichtigste Komponente zur Kostendeckung. Sie belaufen sich auf etwa 30 – 50% der Gesamtkosten der AWK. Nur für Abfalltyp C2 sind bei AWK IVa die Erlöse für die abgegebene Energie etwas höher als die Vergütungen für die THG-Minderungen.
- Abfälle aus ariden/semi-ariden Klimazonen können infolge der niedrigeren Baseline-Emissionen nur einen geringeren Kostendeckungsbeitrag aus Vergütungen für die THG-Minderung erzielen.
- Die Kostendeckungsbeiträge aus der stofflichen und energetischen Verwertung sind stark abhängig von der Abfallzusammensetzung und dem AWK. Die Erlöse aus der stofflichen Verwertung bewegen sich zwischen etwa 3% bei Abfällen des Typs A im Basisszenario bis hin zu 30% bei Modell IIIa für Abfälle des Typs C in Szenario 2.
- Die Kostendeckungsbeiträge der energetischen Verwertung betragen bis zu etwa 20% bei Modell IVa, Abfalltyp C2 in Szenario 2. Abfälle aus ariden/semi-ariden Klimazonen bieten aufgrund der geringeren Wassergehalte und damit der höheren Heizwerte bessere Voraussetzungen für die energetische Verwertung als Abfälle aus humiden/semi-humiden Klimazonen.

## 6.7 Sonstige Kostenfaktoren eines Abfallwirtschaftssystems

### 6.7.1 Verwaltungskosten

Neben den reinen Handling- und Anlagenkosten sind die Aufwendungen der öffentlichen Institutionen für die Planung, Steuerung, Regulierung und Überwachung der Abfallwirtschaft sowie die Verwaltungskosten der operativ tätigen Institutionen, z.B. für die Gebührenverwaltung, zu berücksichtigen. Diese hängen neben der Größe eines Landes von der Verwaltungsstruktur und der Organisation der Abfallwirtschaft, dem Grad der Industrialisierung und damit dem Überwachungsaufwand für Erzeuger gefährlicher Abfälle, sowie dem Lohn- und Gehaltsniveau ab. Wesentliche Kostenfaktoren der Verwaltung sind [vgl. EU 2008a]:

- Fachpersonal und dessen Aus- und Weiterbildung
- Büro- und Kommunikationsausstattung
- Ausstattung für Probenahme und Monitoring durch die Vollzugsinstitutionen
- Laboruntersuchungen und Analytik
- Datenverarbeitung, -auswertung und Berichterstattung
- Öffentlichkeitsarbeit

EU [2008b] kritisiert, dass im Rahmen der Implementierung von Abfallwirtschaftssystemen in den neuen EU-Mitglieds- und Beitrittskandidatenstaaten der Fokus zu sehr auf dem Aufbau der Infrastruktur liege. Obwohl im Vergleich dazu die Verwaltungskosten gering sind, sei die Schaffung von zusätzlichen Verwaltungskapazitäten in der Abfallwirtschaftsadministration politisch schwer gegen die Interessen anderer Ministerien oder allgemeiner Widerstände gegen die Steigerung öffentlicher Ausgaben durchzusetzen. Es sei daher erforderlich, auf die Notwendigkeit des Aufbaus fachkompetenter Verwaltungen hinzuwirken.

Dies ist in gleicher Weise für den Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen in EL anzunehmen. Auch hier gilt es, die Erfordernisse für eine sachgerechte Verwaltung bei der Konzipierung von Anfang an zu berücksichtigen und gegenüber den Entscheidungsträgern deutlich zu machen.

Nach einer Untersuchung des Landes Thüringen [TMNLU 2002] liegt der Verwaltungskostenanteil bei 11% der gesamten Entsorgungskosten für Siedlungsabfälle. Darin wird jedoch nicht spezifiziert, welche Tätigkeiten hierunter fallen. In einer Potentialanalyse der deutschen Entsorgungswirtschaft [Knappe/Blazejczak 2007] wurde ermittelt, dass von den 177.000 in der Abfallwirtschaft Beschäftigten rd. 10.000 Personen in der Verwaltung tätig sind. Hierin sind v.a. im Bereich der Anlagengenehmigung und –überwachung auch solche Tätigkeiten enthalten, die nicht nur mit rein abfallwirtschaftlichen Aufgaben befasst sind, sondern auch

mit anderen Aufgaben der Umweltüberwachung. Ferner sind in der Untersuchung auch Bereiche und Abfallarten mit erfasst, die nicht Gegenstand dieser Arbeit sind, wie etwa Bau- schuttentsorgung, Tierkörperbeseitigung und Klärschlamm Entsorgung. Darüber hinaus kann angenommen werden, dass ein erheblicher Teil der staatlichen Verwaltungsarbeiten für die Genehmigung und Überwachung von besonders überwachungsbedürftigen Anlagen und Abfällen anfällt. Für die Siedlungsabfallwirtschaft kann somit der Verwaltungskostenanteil auf 6 - 8% der Kosten abgeschätzt werden.

### 6.7.2 Kosten für Forschung, Entwicklung, Aus- und Fortbildung

In der Untersuchung von Knappe/Blazejczak [2007] wird die Zahl der in Forschungseinrichtungen und Ausbildungsstätten tätigen Personen, die mehr oder weniger mit abfallwirtschaftlichen Fragestellungen und Aufgaben befasst sind, mit 5.000 Personen, entsprechend etwa 3% aller im Sektor Beschäftigten, abgeschätzt. Berücksichtigt man, dass die Sachkosten in Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen im Vergleich zu den operativen Aufgaben der Abfallentsorgung erheblich geringer sind, kann abgeschätzt werden, dass die Kosten für Forschung, Aus- und Fortbildung in der Abfallwirtschaft etwa 1 – 2% der gesamten Entsorgungskosten ausmachen.

Näherungsweise können somit die Kosten für Verwaltung, Forschung, Aus- und Fortbildung mit 10% der Kosten für die Bereitstellung der Infrastruktur und Durchführung der operativen Aufgaben angenommen werden.

### 6.8 Eigenbeiträge unter Beachtung der Sozialverträglichkeit

Nachfolgend wird untersucht, wie stark die Volkswirtschaften der EL belastet würden, wenn diese die Kosten, die nach Abzug der Erlöse aus der stofflichen und energetischen Verwertung sowie der Vergütungen für die THG-Reduzierung verbleiben, aus eigenen Mitteln decken müssten. Diese Betrachtung erfolgt zunächst unabhängig davon, auf welche Weise bzw. mit welchen ökonomischen bzw. fiskalischen Instrumenten diese Mittel mobilisiert werden. Zu den möglichen Instrumenten s. Kap. 7.4.2.

Die Ansichten darüber, wie hoch der zumutbare Anteil des BIP zur Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft ist, weichen weit voneinander ab. Die Weltbank hält einen Anteil von 0,75 – 1,7% [Wilson et al. 2001; Cointreau 1994] für angemessen. Die IBRD [1999] empfiehlt, basierend auf einer Übersicht über die Aufwendungen verschiedener Städte in EL und IL für Zwecke der Abfallwirtschaft, 0,5% des BIP für die Budgetplanung anzusetzen. In Deutschland kann der Anteil mit etwa 0,3% angegeben werden [Pfaff-Simoneit 2006].

Es soll an dieser Stelle keine Empfehlung für einen angemessenen Eigenbeitrag der EL zum Aufbau ihrer Abfallwirtschaftssysteme gegeben werden. Dies sollte einer politischen Bewertung im Rahmen zu treffender internationaler Vereinbarungen vorbehalten bleiben. Ein Eigenbeitrag wird jedoch für grundsätzlich erforderlich angesehen als Beleg für die Ernsthaftigkeit eines Landes, bestehende Defizite im Sektor nachhaltig lösen zu wollen. Die hier vorgenommenen Betrachtungen sollen Orientierung für die potentiellen Kostendeckungsbeiträge aus eigenen Mitteln der EL geben, können jedoch die Diskussion im Einzelfall nicht ersetzen.

Dazu werden Modellrechnungen durchgeführt. Diese geben an, welcher Anteil des BIP für Zwecke der Abfallwirtschaft aufgewendet werden müsste, um in Verbindung mit den Erlösen aus der Verwertung von Abfällen und der Vergütung für Klimaschutzleistungen der EL in den verschiedenen BIP-Größenklassen und in den betrachteten Szenarien eine Vollkostendeckung sicherzustellen. Dabei werden jeweils die kostengünstigsten Modelle zugrundegelegt und das spezifische Abfallaufkommen in den für die jeweiligen Einkommensklassen typischen Bandbreiten variiert. Die Darstellung erfolgt gemäß Tabelle 15 in vier Klassen:

**Tabelle 15: Klassierung der Zumutbarkeit der BIP-Anteile zur Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft**

Anteil des BIP	≤ 0,3%	0,3 – 0,5%	0,5 – 0,7%	> 0,7 %
Kennzeichnung	●	●	●	●

Für die Umrechnung auf den Kostendeckungsbeitrag je Gewichtseinheit werden Annahmen zum spezifischen Abfallaufkommen getroffen. Hierzu wird die spezifische Menge variiert von 150 – 375 kg / Einwohner und Jahr, abhängig vom BIP und je nachdem, ob es sich um urbane oder rurale Gebiete handelt. Die Kosten für Verwaltung, Forschung, Aus- und Fortbildung werden mit 10% der Entsorgungskosten berücksichtigt.

In Tabelle 16 stellen die links angeordneten Kreise die Ergebnisse der Berechnungen für den Fall dar, dass die Beiträge zur Reduzierung von THG im Jahr der Durchführung der Maßnahme vollständig vergütet werden. Die rechts angeordneten Kreise zeigen die Ergebnisse für den Fall, dass die Vergütungen für die Methanvermeidung entsprechend dem theoretischen Verlauf der Deponiegasbildung in der Baseline gezahlt und diskontiert werden.

**Tabelle 16: Erforderlicher Anteil des BIP zur Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft**  
(ohne – mit Diskontierung der Vergütungen für die Methanvermeidung)

BIP	1.000 EUR / Ew / a				2.000 EUR / Ew / a			
Abfalltyp	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2
A1	175	● ●	● ●	● ●	200	● ●	● ●	● ●
	225	● ●	● ●	● ●	250	● ●	● ●	● ●
A2	175	● ●	● ●	● ●	200	● ●	● ●	● ●
	225	● ●	● ●	● ●	250	● ●	● ●	● ●
A3	150	● ●	● ●	● ●	175	● ●	● ●	● ●
	200	● ●	● ●	● ●	225	● ●	● ●	● ●
A4	150	● ●	● ●	● ●	175	● ●	● ●	● ●
	200	● ●	● ●	● ●	225	● ●	● ●	● ●
BIP	3.000 EUR / Ew / a				4.000 EUR / Ew / a			
Abfalltyp	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2
B1	250	● ●	● ●	● ●	275	● ●	● ●	● ●
	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
B2	250	● ●	● ●	● ●	275	● ●	● ●	● ●
	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
BIP	5.000 EUR / Ew / a				6.000 EUR / Ew / a			
Abfalltyp	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2
C1	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
	350	● ●	● ●	● ●	375	● ●	● ●	● ●
C2	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
	350	● ●	● ●	● ●	375	● ●	● ●	● ●

**Legende:** Anteil des BIP ● ≤ 0,3% ● 0,3 – 0,5% ● 0,5 – 0,7% ● ≥ 0,7%

Aus Tabelle 16 können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Ab einem Pro-Kopf-BIP von etwa EUR 2.000 wären EL zunehmend selbst in der Lage, die Kosten des Aufbaus und der Unterhaltung fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme aus eigenen Mitteln zu decken, sofern die dadurch induzierten THG-Minderungswirkungen angemessen vergütet würden. Dabei ist in erster Näherung vernachlässigbar, ob die Vergütungen für die Methanvermeidung entsprechend dem theoretischen Verlauf der Deponiegasbildung in der Baseline gezahlt, d.h. diskontiert werden, oder ob sie vollständig gezahlt werden.
- Je höher das spezifische Abfallaufkommen und je geringer die Wertstoff- und Organikanteile, desto weniger sind Länder bzw. Regionen mit einem pro-Kopf-BIP von < EUR 2.000 in der Lage, die Kosten fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme aus eigenen Mitteln zu tragen. Dies gilt v.a. in ruralen Gebieten und ariden/semi-ariden Klimazonen.
- Aufgrund der geringen potentiellen Beiträge zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung sind für Abfälle, die den Typen A3 und A4 entsprechen, keine weitergehenden abfallwirtschaftlichen Maßnahmen zu empfehlen. Hier ist eine Konzeption gemäß dem BAU-Modell mit geordneter Deponie als zentraler Komponente vorzuziehen.
- Unter dem Gesichtspunkt der Zahlungsfähigkeit hat die Frage, ob die Vergütungen für die Reduzierung von THG im Jahr der Durchführung der Maßnahme gezahlt werden oder entsprechend dem theoretischen Verlauf der Deponiegasbildung in der Baseline, keine so hohe Bedeutung, wie sie es bei den Kostenbetrachtungen hat.

Für Länder, deren Abfälle den Typen der Gruppe A entsprechen und einem BIP von 1.000 EUR pro Einwohner und Jahr stellt sich die Frage, ob diese in der Lage wären, zumindest das kostengünstige BAU-Modell aus eigener Kraft zu finanzieren. Tabelle 17 zeigt, dass auch diese einfachen abfallwirtschaftlichen Konzeptionen hohe finanzielle Belastungen für diese Länder mit sich bringen, die ihr BIP im Basisszenario um etwa 0,5% und darüber belasten. Nur bei steigenden Erlösen erscheinen die Kosten aus eigener Kraft tragbar.

**Tabelle 17: Erforderlicher Anteil des BIP zur Deckung der Kosten des BAU-Modells in Ländern mit einem BIP von 1.000 EUR pro Einwohner und Jahr (ohne – mit Diskontierung)**

Abfallmenge [kg/E*a]	Abfalltyp A1			Abfalltyp A2		
	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2
150	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
200	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
	Abfalltyp A3			Abfalltyp A4		
150	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
200	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●

**Legende:** Anteil des BIP ● ≤ 0,3% ● 0,3 – 0,5% ● 0,5 – 0,7% ● ≥ 0,7%

Tabelle 18 zeigt für Länder mit verschiedenem BIP, welche finanzielle Belastung AWK mit einer Systemkomponente TAB als hochwertigste Form der Restabfallbehandlung verursachen würden. Hierin sind nur die AWK IVc und IVd berücksichtigt, da nur diese finanziell tragbare Lösungen bilden. D.h. die Kosten der thermischen Behandlung sind für EL um so eher tragbar, je differenzierter verwertbare Stoffe erfasst und verwertet werden. Aus der Tabelle kann abgelesen werden, dass Länder mit einem BIP von etwa 5.000 – 6.000 EUR pro Einwohner und Jahr die Kosten tragen könnten, wenn die Klimaschutzleistungen der Abfallwirtschaft angemessen vergütet würden.

**Tab. 18: Erforderlicher Anteil des BIP zur Deckung der Kosten der thermischen Abfallbehandlung**  
(ohne – mit Diskontierung der Vergütungen für die Methanvermeidung)

BIP	3.000 EUR / Ew / a				4.000 EUR / Ew / a			
Abfalltyp	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2
B1	250	● ●	● ●	● ●	275	● ●	● ●	● ●
	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
B2	250	● ●	● ●	● ●	275	● ●	● ●	● ●
	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
BIP	5.000 EUR / Ew / a				6.000 EUR / Ew / a			
Abfalltyp	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Abfallmenge [kg/E*a]	Basis-szenario	Szenario 1	Szenario 2
C1	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
	350	● ●	● ●	● ●	375	● ●	● ●	● ●
C2	300	● ●	● ●	● ●	325	● ●	● ●	● ●
	350	● ●	● ●	● ●	375	● ●	● ●	● ●

**Legende:** Anteil des BIP ● ≤ 0,3% ● 0,3 – 0,5% ● 0,5 – 0,7% ● ≥ 0,7%

### 6.9 Schlussfolgerungen

Die Kosten- und Erlösbetrachtungen zeigen, dass EL ab einem BIP von etwa EUR 2.000 pro Einwohner und Jahr in der Lage wären, die Kosten des Aufbaus und der Unterhaltung fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme aus eigenen Mitteln zu decken, wenn die durch die Abfallwirtschaft induzierten THG-Minderungswirkungen angemessen durch die internationale Gemeinschaft vergütet werden. Dabei haben solche AWK deutliche Kostenvorteile, die eine getrennte Erfassung von Wertstoffen und Bioabfällen beinhalten bzw. ein differenziertes Stoffstrommanagement anwenden. Rein technologiebasierte Lösungen haben im Hinblick auf die THG-Minderung keinen Mehrnutzen und sind erst für EL mit höherem BIP finanziell tragbar. Die Verfahren TAB sowie MBS/MPS sind zwar machbare, aber teure Lösungen, die nur unter günstigen Rahmenbedingungen umsetzbar erscheinen. Sie erhöhen zudem die Abhängigkeit von wenigen Großabnehmern der Produkte.

Die höheren Kosten fortschrittlicher AWK mit differenziertem Stoffstrommanagement werden bereits im Basisszenario durch Erlöse aus der stofflichen und energetischen Verwertung sowie Vergütungen für THG- Minderungen weitgehend kompensiert. Hier weisen v.a. die AWK IIIa und IIb deutliche Vorteile auf. Mit steigenden Erlösen - Szenario 1 - und noch stärker bei hohen Erlösen - Szenario 2 - wachsen die Kostenvorteile dieser AWK. Sie führen somit nicht zu höheren finanziellen Belastungen der EL, jedoch sind die Risiken aufgrund der Preisschwankungen auf den Märkten für Sekundärrohstoffe, Energie und THG-Emissionen höher. Die EZ könnte durch Absicherung dieser Risiken die Implementierung fortschrittlicher AWK fördern.

## 7 ENTWICKLUNG EINES SEKTORALEN ANSATZES FÜR DEN AUFBAU VON NACHHALTIGEN ABFALLWIRTSCHAFTSSYSTEMEN

### 7.1 Strukturierung des sektoralen Ansatzes

Abfallwirtschaftssysteme erfordern neben sachgerechten Entsorgungstechnologien und Strategien qualifizierte Träger, klare Rahmenbedingungen, ein funktionierendes Umfeld aus Fachbehörden, Aus- und Fortbildung von Fachkräften, Forschung und Entwicklung, einen qualifizierten und leistungsfähigen Privatsektor (Consulting, Bauwirtschaft, Betreiber, Entsorgungsunternehmen), eine informierte Öffentlichkeit und Beteiligungsmöglichkeiten. Sollen die Abfallwirtschaftssysteme nachhaltig sein, müssen diese Bereiche systematisch und koordiniert aufgebaut werden. Dies setzt neben einer umfassenden, langfristigen Strategie einen 'langen Atem' der Geberländer voraus. Sie müssen bereit sein, über lange Zeiträume die finanziellen Mittel und personelle Unterstützung für den systematischen Aufbau der Abfallwirtschaftssysteme und den Kapazitätsaufbau aufzubringen. Ein solcher ‚Sektoraler Ansatz‘ stellt die logische Weiterentwicklung der bisherigen Ansätze der EZ dar (vgl. Kap. 2.3).

Nachfolgend wird ein 'Sektoraler Ansatz' für den Aufbau von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen in EL entwickelt. Dieser greift die im März 2005 in der sog. 'Paris Declaration on Aid Effectiveness' [BMZ 2005] zwischen Geber- und Nehmerländern sowie multilateralen und nichtstaatlichen Organisationen vereinbarten Grundprinzipien auf, die eine stärkere Ergebnisorientierung der EZ und Eigenverantwortlichkeit der EL zum Ziel haben. Sie wurden durch die 'Accra Agenda for Action' [OECD 2005/2008] bekräftigt<sup>153</sup> und dort um die Zusage einer größeren Verlässlichkeit<sup>154</sup> der EZ-Mittel durch die Geberländer ergänzt. Der Ansatz bezieht ferner die Empfehlungen der Europäischen Kommission zur Umsetzung der EU Umweltgesetzgebung im Abfallsektor [EC 2008b] ein, erweitert diese und passt sie an die spezifischen Bedingungen und Erfordernisse in EL an.

Der in dieser Arbeit entwickelte sektorale Ansatz ist in Abbildung 11 in einem Prozessflussbild dargestellt. Es gliedert sich auf der senkrechten Achse in 'Kernprozesse', die den zeitlichen Ablauf des Entwicklungs- und Aufbauprozesses eines Abfallwirtschaftssystems kennzeichnen. In der rechten Spalte sind die jeweiligen Ergebnisse der Kernprozesse aufgeführt, die die Meilensteine des Entwicklungs- und Implementierungsprozesses kennzeichnen. Sie beschreiben die inhaltlichen Komponenten und Aufgaben.

In Anlehnung an [EU 2008a] kann der Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems in sechs 'Kernprozesse' gegliedert werden:

- Formulierung einer nationalen Abfallpolitik
- Entwicklung einer Sektorstrategie
- Rahmensetzung
- Planung von Anlagen und abfallwirtschaftlichen Maßnahmen
- Implementierung der Anlagen und Maßnahmen
- Betrieb der Anlagen, Monitoring und Berichterstattung

Auf der horizontalen Achse sind die identifizierten insgesamt 12 Handlungsfelder dargestellt, die in drei Blöcke gegliedert werden können:

---

153 **Ownership:** Die Entwicklungsländer bestimmen selbst über ihren Entwicklungsprozess, übernehmen die Führungsrolle in der Erarbeitung und Umsetzung und haben mehr Eigenverantwortung. Der Begriff 'Ownership' – wörtlich 'Eigentümerschaft' hat sich auch im EZ-relevanten deutschen Sprachgebrauch etabliert

**Alignment:** Die EZ ordnet sich in die nationalen Strukturen der Partnerländer ein. Anstatt parallele Institutionen aufzubauen, werden die etablierten Einrichtungen und Verfahrensweisen vor Ort genutzt und unterstützt.

**Harmonisierung:** Unterschiedliche Institutionen der Geberländer stimmen ihre Arbeit aufeinander ab, um Überschneidungen und Widersprüche abzubauen. Diese Kooperation führt zu einer besseren Aufgabenverteilung, die die unterschiedlichen Stärken der Institutionen berücksichtigt.

**Ergebnisorientierung:** Die Erklärung formuliert zwölf Fortschrittsindikatoren und bestimmt konkrete Zielvorgaben, die bis zum Jahr 2010 erreicht werden müssen.

**Gegenseitige Rechenschaftspflicht:** Geber- und Nehmerländer informieren sich über ihre Bilanz und führen gegenseitige Bewertungen durch.

154 Darin verpflichten sich die Geber, ihre Mittelzusagen fortlaufend für die jeweils nächsten 3 - 5 Jahre zu geben.

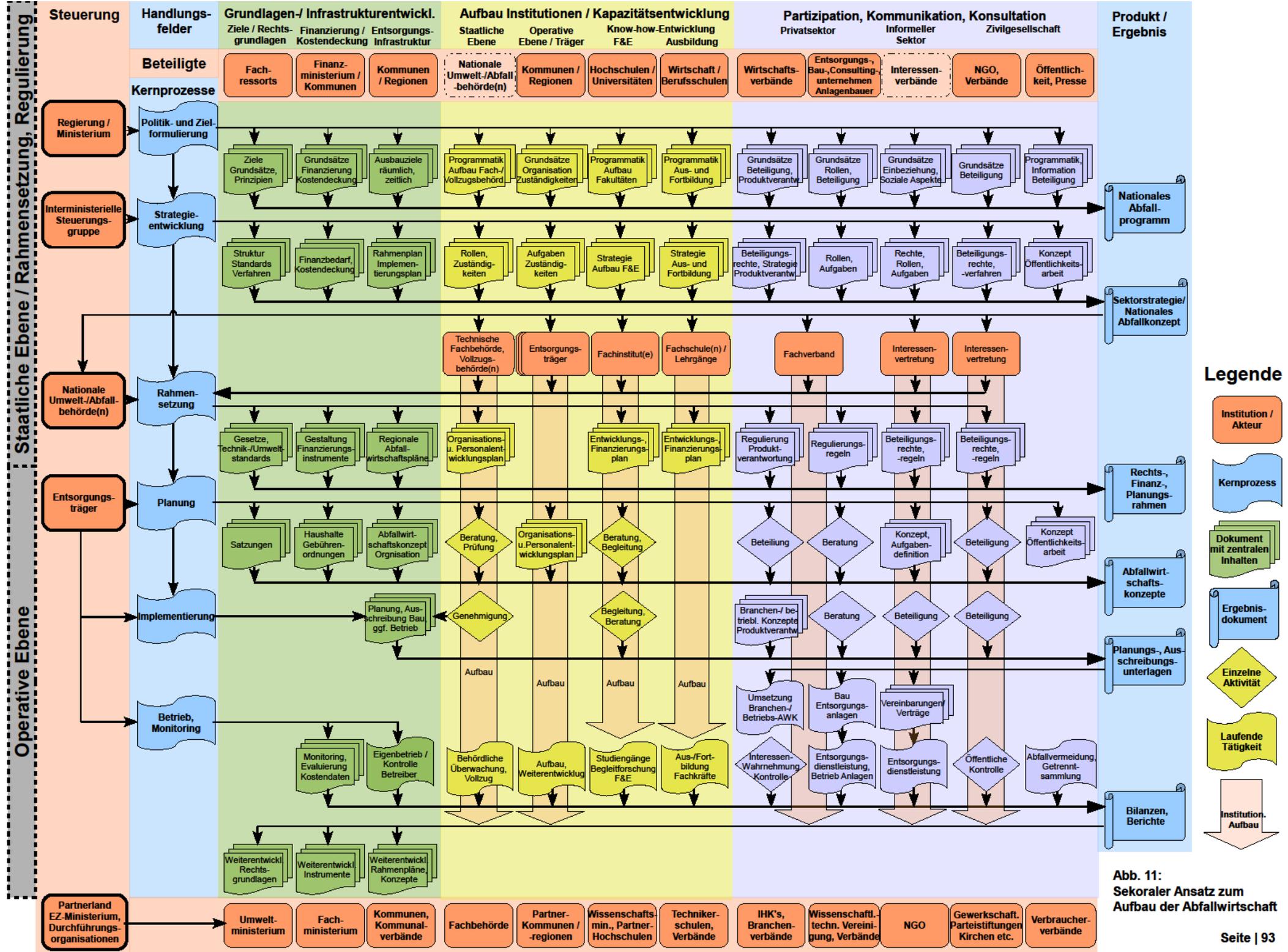


Abb. 11: Sekoraler Ansatz zum Aufbau der Abfallwirtschaft

❖ **Grundlagen- und Infrastrukturentwicklung**

- Rechtsgrundlagen und Normen
- Instrumente zur Finanzierung und Kostendeckung
- Planung und Realisierung der Entsorgungsinfrastruktur

❖ **Entwicklung von Kapazitäten und Know-how**

- Aufbau staatlicher Institutionen / Fach-, Genehmigungs-, Überwachungsbehörden
- Aufbau von Entsorgungsträgern
- Aufbau von Forschungs- und Entwicklungskapazitäten
- Aufbau von Ausbildungskapazitäten

❖ **Partizipation des Privatsektors und der Zivilgesellschaft**

- der Wirtschaft – in ihrer Funktion als Abfallerzeuger
- der Entsorgungs-, Bau- und Lieferunternehmen sowie der Consultingwirtschaft
- des informellen Sektors
- der Organisationen und Interessenvertretungen der Zivilgesellschaft
- der Öffentlichkeit (Information und Umweltbewusstseinsbildung)

Die Handlungsfelder werden mit jedem Prozessschritt konkretisiert und fortentwickelt. Die Elemente im Prozessfließbild beschreiben die für das jeweilige Handlungsfeld in den verschiedenen Phasen zu bearbeitenden Inhalte, Aufgaben bzw. Tätigkeiten bzw. die diesbezügliche Funktion der Akteure.

Der Aufbau resp. die Stärkung der Institutionen und der Organisationen der Zivilgesellschaft und des Privatsektors ist in transparenten Pfeilen als laufender Entwicklungsprozess dargestellt. Die Etablierung resp. Stärkung von Institutionen und Organisationen, die für die Wahrnehmung der jeweiligen Aufgaben zuständig sind, bildet ein zentrales Element beim Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems.

Das Prozessfließbild stellt einen idealisierten Ablauf dar. Je nach Ausgangssituation und Zielsetzung werden die Prozesse nicht zwingend im gesamten Land und die einzelnen Handlungsfelder nicht gleichzeitig ablaufen (können). Es ergeben sich ferner länderspezifisch unterschiedliche Schwerpunkte bei den Handlungsfeldern. V.a. die Etablierung resp. Stärkung von Institutionen wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst und ist zeitlich nur schwer planbar. Die systematische gesamthafte Darstellung dient der Orientierung über die Elemente und die erforderlichen Schritte zum Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems. Sie soll die verbreitete Fokussierung insbesondere von Entscheidungsträgern auf die Realisierung von technischen Anlagen aufbrechen helfen. Die Ausgestaltung der Prozesse und Prioritäten ist in einem Diskussionsprozess landesspezifisch festzulegen.

## **7.2 Akteure und Beteiligte**

### **7.2.1 Steuerung der Prozesse**

In der linken Spalte des Prozessablaufdiagramms sind die für die Steuerung der Prozesse zuständigen Institutionen des EL dargestellt. Sektorale Ansätze sind 'Top-down-Ansätze' [Sterk et al. 2009], die den systematischen, koordinierten Aufbau eines Sektors im gesamten Land zum Ziel haben und dabei die relevanten Akteure und Zielgruppen in den Prozess einbeziehen. Sie sind aus der Perspektive der Regierungen bzw. der nationalen Institutionen zu entwerfen, die für die Planung, Regulierung und Steuerung des Abfallwirtschaftssystems zuständig sind. Die Initiative hierzu muss von der Regierung ausgehen. Es bedarf einer klaren politischen Willenserklärung, den Abfallsektor grundlegend aufbauen zu wollen. Dies sollte Voraussetzung für die Zusage der Geberländer zur Unterstützung des Prozesses sein.

Die nationale Abfallpolitik (s. Kap. 7.3.1) ist unter Federführung des dafür zuständigen Ministers (i.d.R. Umweltminister) unter Beteiligung der relevanten Ressorts<sup>155</sup> zu formulieren. Für

---

155 insbesondere Ministerien für Inneres, Wirtschaft/Industrie, Finanzen, Justiz, Gesundheit, Verkehr/Transport

die Entwicklung einer Sektorstrategie und der Rahmenplanung resp. eines nationalen Abfallwirtschaftskonzepts (s. Kap. 7.3.2) sollte eine interministerielle Arbeitsgruppe unter Beteiligung der beteiligten Ressorts eingerichtet werden.

Die dauerhafte fachliche Arbeit zur Rahmensetzung und -planung, zur (Weiter-)Entwicklung von Rechtsgrundlagen, Normen und Standards, für die Genehmigung des Baus und Betriebs von Anlagen, die Überwachung und den Vollzug der Rechtsgrundlagen sowie zur fachlichen Unterstützung des zuständigen Ministeriums sollte einer – in den meisten Fällen erst noch zu gründenden - staatlichen Fachbehörde übertragen werden, oder aber es sind entsprechende Kapazitäten im zuständigen Ministerium aufzubauen. Ein zentrales Handlungsfeld beim Aufbau von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen besteht daher in der Etablierung und der Entwicklung von technischen Fachbehörden sowie von Vollzugsbehörden, die für die Genehmigung und Überwachung von Anlagen und genehmigungspflichtigen abfallwirtschaftlichen Tätigkeiten<sup>156</sup> zuständig sind (s. Kap. 7.5.1).

Die Zuständigkeit für die Planung, Realisierung und den Betrieb von Entsorgungsanlagen liegt naturgemäß bei den Entsorgungsträgern. Die meist historisch gewachsene, unreflektierte Übertragung dieser Aufgabe auf die Kommunen ist jedoch bei überörtlichen zentralen Entsorgungsanlagen i.d.R. wenig geeignet. Allenfalls sehr große Städte mit einer leistungsfähigen Verwaltung können diese Aufgabe wahrnehmen. Kleine und mittlere Kommunen hingegen verfügen weder über die erforderlichen Kapazitäten noch die finanzielle Leistungsfähigkeit. Es bedarf daher einer sorgfältigen Abwägung auf der Basis einer landesweiten Rahmenplanung (s. Kap. 7.3.2), welche Institutionen die Zuständigkeit für die Entsorgung übernehmen können und wo ggf. neue Trägerorganisationen etabliert werden müssen.

### 7.2.2 Beteiligte

Auf der horizontalen Achse sind die für die jeweiligen Handlungsfelder zuständigen und zu beteiligenden Institutionen und Akteure dargestellt. Die für ein Land geeignetste Form der Organisation und der Zuständigkeiten wird idealerweise in einem politischen Diskussions- und Abstimmungsprozesses unter Beteiligung der wesentlichen Akteure entwickelt. Bereits auf der Ebene der Politikformulierung sollte von Seiten der Geberländer darauf gedrängt werden, dass die Vertreter der wichtigsten, am Aufbau und Betrieb des Abfallwirtschaftssystems und der bei der Durchführung der Aufgaben beteiligten Akteursgruppen einbezogen werden, um ein an den realen Rahmenbedingungen und Möglichkeiten angepasstes und umsetzbares System zu entwickeln und die Interessen und Erfahrungen dieser Gruppen einzubeziehen. Dies meint sowohl staatliche Institutionen wie

- Fachministerien auf der staatlichen Ebene (s.o.),
- Kommunen und – soweit mit Selbstverwaltungsaufgaben betraut – Regionen, Gemeindeverbände, Landkreise<sup>157</sup> o.ä.,
- Hochschulen / Universitäten sowie – soweit vorhanden – Berufsschulen

als auch Vertreter und Organisationen der Zivilgesellschaft wie

- Wirtschaftsverbände als wichtige Erzeugergruppe und Akteure bei der Umsetzung von abfallwirtschaftlichen Maßnahmen auf betrieblicher Ebene,
- Entsorgungs-, Anlagenbau- und Consultingwirtschaft als wichtige Dienstleister,
- den informellen Sektor als in der Abfallwirtschaft tätigen Akteur mit entsprechenden Fähigkeiten und Marktkenntnissen.

Wünschenswert im Sinne einer guten Regierungsführung ist ferner die Einbeziehung von

- Umwelt- und Verbraucherverbänden.

In Tabelle 19 sind die Rollen und Aufgaben der o.g. Akteure in einer Aufgabenmatrix ausführlicher dargestellt. Die Gliederungspunkte geben Orientierung über die in den zu erstellenden Dokumenten erforderlichen Inhalte und deren Betrachtungstiefe in den verschiedenen Prozessschritten.

---

<sup>156</sup> z.B. Transport oder Zwischenlagerung von Abfällen

<sup>157</sup> Übergemeindliche Verwaltungseinheiten wie Landkreise existieren in vielen Staaten allerdings nicht – vgl. Kap. 2.5.3

Tabelle 19: Aufgabenmatrix

Aufgaben	Prozesse	Politik-, Zielformulierung	Sektorstrategie	Rahmensezung	Planung	Realisierung	Betrieb
<b>Ziele</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmatik hinsichtlich                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesundheitsschutz</li> <li>- Wasserressourcen- / Umweltschutz</li> <li>- Klimaschutz</li> <li>- Ressourceneffizienz</li> <li>- Sozialer Aspekte</li> <li>- Nachhaltiger Entwicklung</li> </ul> </li> <li>• Ressourcenschonung</li> <li>• Energetische Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulierung der strategischen Ziele</li> <li>• Organisation der Abfallwirtschaft / Rolle der verschiedenen Akteursgruppen</li> <li>• Aktivitätenplan</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkretisierung der Ziele auf regionale und kommunaler Ebene</li> <li>• Implementierungspläne, Aktionspläne regional, kommunal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring der Implementierung</li> <li>• Fortschrittsberichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring der Wirkungen</li> <li>• Berichterstattung</li> <li>• Fortschreibung der Abfallwirtschaftskonzepte</li> </ul>
<b>Datengrundlagen</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschätzung der Abfallmengen</li> <li>• Beschreibung der Entsorgungssituation / Problemanalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagendaten</li> <li>• Bestandsaufnahme und Analyse der Entsorgungssituation</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfalldatenerhebung</li> <li>• Bestandsaufnahme und -analyse auf regionaler/ kommunaler Ebene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau der systematischen Datenerfassung und -analyse</li> <li>• Treibhausgasmonitoring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenerfassung</li> <li>• Abfallbilanzen</li> <li>• Monitoring, Berichte Abfalldaten, THG-Wirkungen</li> </ul>
<b>Rechtsgrundlagen</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzuwendende Grundsätze und Prinzipien</li> <li>• Anzuwendende Internationale Abkommen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu schaffende Rechtsgrundlagen / Rechtssystematik und -struktur</li> <li>• Grundsätzlich angestrebte Standards</li> <li>• Zentrale Regelungsinhalte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfallgesetz, Verordnungen</li> <li>• Technische Normen und Standards, Umweltnormen und Standards</li> <li>• ggf. Ausschreibungs- und Vergaberegeln, Erteilung von Konzessionen etc.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erteilung von Genehmigungen und Erlaubnissen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung und Monitoring von Anlagen und Tätigkeiten</li> <li>• Vollzug der rechtlichen Regelungen</li> </ul>
<b>Finanzierung und Kostendeckung</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundsätzliche, programmatische Aussage zur Bereitstellung eigener Mittel in zumutbarem Umfang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskostenschätzung</li> <li>• Abschätzung Finanzierungsbedarf</li> <li>• Finanzierungskonzept</li> <li>• Abschätzung der lfd. Kosten</li> <li>• Strategie und Instrumente zur Kostendeckung</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzeption Finanzierungs-/ Kostendeckungsinstrumente                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produktabgaben</li> <li>- Gebührenmodelle</li> <li>- Umweltsteuern</li> </ul> </li> <li>• Entwicklung von Mustergebührensatzungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzierungsverträge</li> <li>• Einführung der Instrumente</li> <li>• Erfassung von Gebührensatzungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten- und Finanzierungsmanagement</li> <li>• Gebühren-/ Abgabenverwaltung</li> </ul>
<b>Entsorgungsinfrastruktur</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausbauziele / Deckungsgrad</li> <li>• Zeitliche Zielvorgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Räumliche Konkretisierung Anlagenkonfiguration und Einzugsbereiche</li> <li>• Strategie zur Schließung und Sicherung von Müllkippen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rahmenplanung</li> <li>• Implementierungsplan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidungs- und Verwertungskonzepte</li> <li>• Standortsuche und -sicherung</li> <li>• Anlagenkonzepte und -vorplanung</li> <li>• Sammelkonzeptionen</li> <li>• Schließung und Sicherung von Müllkippen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung und Bau der Anlagen</li> <li>• Unterstützung, Beratung der Kommunen</li> <li>• Modell- und Pilotprojekte                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sammlung und Transport</li> <li>- Getrenntsammlung</li> <li>- Verwertungsverfahren</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlagenmonitoring</li> <li>• Unterstützung und Leistungskontrolle der Kommunen</li> </ul>
<b>Institutionenaufbau</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundsätzliches Bekenntnis zum Aufbau/Stärkung erforderlicher Institutionen</li> <li>• Grundsätzliches Bekenntnis zur Einstellung und Qualifizierung von Personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung administrativer Zuständigkeiten für                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung der Rechtsgrundlagen</li> <li>- Entsorgungsträger</li> <li>- Überwachung, Vollzug</li> <li>- Monitoring, Berichterst.</li> <li>- Fortschreibung Strategie</li> <li>- Schließung/Sicherung Müllkippen</li> </ul> </li> <li>• Abschätzung Personalbedarf, Kosten</li> <li>• Erforderliche Qualifizierungsmaßnahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mandate, Aufgaben, Zuständigkeiten und Vollmachten</li> <li>• Nationale, regionale und lokale Zuständigkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisations- und Personalentwicklungspläne</li> <li>• Trägerorganisation für zentrale/überörtliche Anlagen</li> <li>• Rekrutierung des Leitungs- und Schlüsselpersonals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichtung und Aufbau / Stärkung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufsichtsbehörden</li> <li>- Fachbehörden</li> <li>- Regulierungsbehörden</li> </ul> </li> <li>• Einrichtung und Aufbau / Stärkung der Träger überörtlicher Anlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Performancekontrolle</li> <li>• Überprüfung der Eignung und Fortentwicklung der institutionellen Organisation</li> <li>• Regelmäßige Fortbildungen</li> </ul>
<b>Forschung und Entwicklung</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundsätzliches Bekenntnis zu Aufbau/Stärkung von Ausbildungs- und F&amp;E-Kapazitäten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie und Maßnahmen zum Aufbau von Ausbildungs- und F&amp;E-Kapazitäten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standorte, Schwerpunkte der Ausbildungs- und F&amp;E-Einrichtungen</li> <li>• Konzeption von Technologietransferzentren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzeption von Ausbildungs- und Studiengängen</li> <li>• Entwicklung von F&amp;E-Vorhaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichtung von Studiengängen und F&amp;E-Kapazitäten</li> <li>• Curricula-, Praktika- und Programmentwicklung</li> <li>• Aufbau von regionalen Technologietransferzentren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausbildung von Fach- und Führungskräften</li> <li>• Begleitforschung</li> <li>• Beratung von Entscheidungsträgern</li> </ul>
<b>Privatsektorbeteiligung einschl. Informeller Sektor</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundsätzliches Bekenntnis zur Beteiligung des Privatsektors und Informellen Sektors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie zur Einbeziehung des Privatsektors</li> <li>• Strategie zur Einbeziehung des Informellen Sektors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition der Rollen, Beteiligungsrechte, Verfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkretisierung der vom Privatsektor zu erbringenden Aufgaben</li> <li>• Modellprojekte zur Einbeziehung des Informellen Sektors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausschreibung von Bau-, Liefer- und Dienstleistungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung, Leistungskontrolle</li> </ul>
<b>Partizipation und Öffentlichkeitsarbeit</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bekenntnis zur Beteiligung der relevanten Akteursgruppen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichtung einer Steuerungsgruppe</li> <li>• Einrichtung eines Beirats zur Einbeziehung von relevanten Akteursgruppen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition der Rollen, Beteiligungsrechte, Verfahren</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einrichtung von Interessengruppen</li> <li>• Einrichtung/Stärkung/Unterstützung von Beiräten</li> <li>• Etablierung wissenschaftlich-technische Vereinigungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Information Öffentlichkeit, Presse</li> <li>• Regelmäßiger Austausch Informationen</li> </ul>

### 7.3 Kernprozesse

Nachfolgend werden die für die Entwicklung der strategisch-programmatischen Grundlagen bedeutsamen Kernprozesse:

- Formulierung einer nationalen Abfallpolitik
- Entwicklung einer Sektorstrategie

diskutiert. Auf eine Diskussion der Kernprozesse Planung, Implementierung und Betrieb von Anlagen resp. Umsetzung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen kann im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden. Hierzu wird auf die umfangreiche Literatur zum Thema verwiesen [z.B. Coad 2005, EU 2008a, IETC 2004, UNEP 2005]. Die Diskussion des Kernprozesses ‚Rahmensetzung‘ erfolgt in Kap. 7.4 zusammen mit der Diskussion der ‚Grundlagenentwicklung‘.

#### 7.3.1 Formulierung von Politiken und Zielen / Nationales Abfallwirtschaftsprogramm

Zentrale Grundlage für die erfolgreiche Implementierung von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen ist eine klare politische Entscheidung durch das höchste gesetzgebende Organ eines Landes. Darin erklärt die Regierung ‚dass‘ sie den Abfallsektor nachhaltig aufbauen will. Die angestrebten Ziele müssen umrissen, Fristen für die Umsetzung genannt und die Bereitstellung von Mitteln grundsätzlich zugesichert werden. Ein klares politisches Bekenntnis sollte Voraussetzung für die Gewährung internationaler technischer und finanzieller Hilfe zur Unterstützung beim Aufbau des Abfallwirtschaftssystems sein.

Auf Grundlage der politischen Entscheidung ist in einem ersten Konkretisierungsschritt ein Nationales Abfallwirtschaftsprogramm zu entwickeln. Darin sind grundlegende programmatische Festlegungen und Ziele zu den o.g. 12 Handlungsfeldern zu formulieren. Im Nationalen Abfallwirtschaftsprogramm wird das ‚Was‘ (Handlungsfelder) und das ‚Wozu‘ (Ziele) des Aufbaus des Abfallwirtschaftssektors dargestellt.

Die allgemeinen Ziele eines Abfallwirtschaftssystems ergeben sich aus den in Kap. 4 beschriebenen Zusammenhängen. Sie umfassen die ‚klassischen‘ Ziele (vgl. Kap. 4.1)

- Schutz der menschlichen Gesundheit und der Siedlungshygiene
- Wasserressourcen-, Boden- und Umweltschutz
- geordnete Siedlungsentwicklung
- nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung

Besondere Bedeutung hat in EL zudem das Kriterium

- Sozialverträglichkeit

Die sozialen Aspekte referieren einerseits auf die beschäftigungsfördernde Ausgestaltung der Abfallwirtschaftskonzepte einschließlich der angemessenen Beteiligung der informellen Müllsammler und -verwerter bei der Durchführung von abfallwirtschaftlichen Dienstleistungen, andererseits auf die Beachtung der Zahlungsfähigkeit und Zumutbarkeit von Gebühren insbesondere durch ärmere Bevölkerungsschichten.

Die o.g. Ziele haben lokalen bis regionalen Bezug und fokussieren auf die Beseitigung der negativen Wirkungen ungeordneter Entsorgung. Abfallwirtschaftssysteme müssen mindestens diesen Zielen genügen. Darüber hinaus sollten sie einen angemessenen Beitrag zu den globalen Herausforderungen leisten (vgl. Kap. 4.2 und 4.3), um eine längerfristige Unterstützung durch die internationale Gebergemeinschaft zu rechtfertigen. Bei der Zielformulierung müssen daher auch die globalen Herausforderungen

- nachhaltige Ressourcennutzung
- Klimaschutz

adressiert werden. Auch wenn regionale Differenzen und unterschiedliche Voraussetzungen in EL bestehen, sollten mindestens folgende grundsätzlichen Aussagen getroffen werden:

- Zielvorgabe, innerhalb eines festzusetzenden Zeitraums sukzessive ein funktionsfähiges Abfallwirtschaftssystem landesweit zu realisieren
- Beachtung von Mindeststandards zum Schutz der Gesundheit, der Umwelt, des Klimas und zur Berücksichtigung sozialer Aspekte

- Anzuwendende Grundsätze und Prinzipien<sup>158</sup> sowie internationale Vereinbarungen<sup>159</sup>
- Aufbau der erforderlichen Institutionen, Einstellung und Qualifizierung von Personal
- Aufbau von Aus- und Fortbildungseinrichtungen
- Förderung von Forschung und Entwicklung
- Grundsätze der Finanzierung und Kostendeckung / Zusage zur Bereitstellung eigener Mittel in zumutbarem Maße

Darüber hinaus können, je nach sachlicher Erfordernis und politischer Schwerpunktsetzung, weitere Ziele definiert werden. V.a. Zielaussagen zur Sekundärrohstoffgewinnung, zur energetischen Verwertung, zum Klimaschutz und zur Berücksichtigung sozialer Aspekte sowie zur Beteiligung der Zivilgesellschaft sind vor dem Hintergrund der globalen Herausforderungen, der Armutssituation und als Zeichen guter Regierungsführung wünschenswert.

### 7.3.2 Strategieentwicklung, Implementierungsplan und Rahmenplan

Die Sektorstrategie und der zugehörige Implementierungsplan bilden die zentralen Dokumente zur Operationalisierung des Nationalen Abfallprogramms. Die Strategie beschreibt 'Wie' die Umsetzung erfolgen soll und 'Wer' zuständig ist. Sie beinhaltet folgende Themen:

- Darstellung der strategisch-inhaltlichen Ziele
- Grundlagendaten und Ausgangssituation
- Vorgesehene Struktur der Rechtsgrundlagen und Standards sowie erforderliche Maßnahmen zu deren Entwicklung
- Organisation der Abfallwirtschaft:
  - \* Entsorgungsträger
  - \* Aufgaben / Rolle der Abfallerzeuger
  - \* Aufgaben / Zuständigkeiten der verschiedenen Ressorts und Verwaltungsebenen
  - \* Zuständigkeiten für verschiedene Abfallarten
  - \* Rolle der Privatwirtschaft
  - \* Beteiligung des informellen Sektors
- Administrative Zuständigkeiten für
  - \* Rechtsgrundlagen und technische Standards
  - \* Planung und Bau von Entsorgungsanlagen
  - \* Identifizierung und Auswahl von Standorten
  - \* Überwachung und Vollzug der Regelungen
  - \* Monitoring der Implementierung und Berichterstattung
  - \* Fortschreibung der Strategie
- Maßnahmen für den Aufbau und die Stärkung von Institutionen
- Personalbedarf für staatliche Institutionen, Maßnahmen zum Kapazitätsaufbau
- Strategie für die Aus- und Fortbildung sowie für den Aufbau von F&E-Kapazitäten
- Strategien und Verfahren der Vermeidung, Verwertung und Entsorgung
- Ziele, Strategien, Zuständigkeiten zur Sicherung/Sanierung von Müllkippen und Altstandorten
- Orientierende Kostenschätzung und Finanzplanung
- Instrumente zur Finanzierung der Investitionen und laufenden Kosten
- Rechte und Formen der Mitwirkung von Akteuren und Vertretern der Zivilgesellschaft
- Maßnahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung und Umweltbewusstseinsbildung

Für die Umsetzung der Sektorstrategie ist ein tentativer Implementierungsplan auf nationaler Ebene zu entwickeln, der die erforderlichen Schritte zur Umsetzung, die Fristen und die er-

---

158 v.a. Aussagen zu Zielhierarchie, Verursacherprinzip, Vorsorgeprinzip, Produkthaftung, Entsorgungssicherheit, Subsidiaritätsprinzip, Kostendeckung; es ist nicht zwingend, dass diese Prinzipien allesamt und von Beginn an angewandt werden, jedoch sollten die Grundsätze der Abfallwirtschaftspolitik klar benannt werden.

159 v.a. Basler Konvention über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Transporte gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung; Rotterdam Konvention über den internationalen Handel mit gefährlichen Chemikalien und Pestiziden; Stockholm Konvention (POP-Konvention) zur Vermeidung der Freisetzung von schwer abbaubaren organischen Verbindungen; Kyoto Protokoll zur Reduzierung von klimaschädlichen Treibhausgasen

forderlichen Ressourcen definiert:

- Programm und Zeitplan für die Erarbeitung der Rechtsgrundlagen, der technischen und der Umwelt-Standards
- Zeitplan für die Planung und Implementierung der erforderlichen Anlagen
- Mittelbedarfsschätzung, Investitionsplan und Finanzierungsplan
- Programm und Zeitplan für den Auf-/Ausbau von Institutionen<sup>160</sup>, für die Personalrekrutierung und -qualifizierung
- Programm für den Aufbau von Ausbildungsgängen und Forschungsinstitutionen

Im Rahmenplan werden grundlegende Aussagen zur landesweiten räumlichen Organisation der Abfallwirtschaft formuliert. Aufgabe ist es, 'weiße Flecken', d.h. unversorgte oder unwirtschaftlich zu betreibende Entsorgungsgebiete zu vermeiden. Dazu muss der Staat Vorstellungen zur Organisation der Entsorgungsräume aus übergeordneter Sicht in Abstimmung mit den für die operativen Aufgaben zuständigen Institutionen entwickeln. Die Planung muss das gesamte Land abdecken – entweder in Form eines nationalen Abfallwirtschaftsplans oder in Form sich ergänzender regionaler Abfallwirtschaftspläne<sup>161</sup>. Die Pläne dienen als Leitlinie für die Realisierung von zentralen Entsorgungsanlagen und die Etablierung von Trägern (s. Kap. 7.5.1.2). Die geeignete Trägerform und ihre Gestaltung sind unter Berücksichtigung der Verwaltungsstrukturen des Landes und der gewählten Aufgabenteilung zu wählen.

Die verschiedenen Elemente der Strategieentwicklung hängen eng zusammen. V.a. die besonders kostenwirksamen Elemente der Rahmenplanung – Art der Anlagen und Ausbau-/Umsetzungsplanung – sowie die anzustrebenden Standards bedürfen der sorgfältigen Abstimmung mit den finanziellen Rahmenbedingungen. Dies erfordert eine iterative Entwicklung der Strategie. Dazu sollte eine interministerielle Steuerungsgruppe unter Federführung des für die Abfallwirtschaft zuständigen Ministeriums eingerichtet werden, die den Prozess koordiniert.

Die Strategie bedarf der kontinuierlichen Weiterentwicklung entsprechend der in der Praxis gesammelten Erfahrungen. Dazu berichten die für Genehmigung, Überwachung und Vollzug der Rechtsvorschriften zuständigen Behörden regelmäßig an die für die Strategieentwicklung zuständige Institution resp. an die politischen Gremien. Die Berichte dienen zugleich der Fortschrittsberichterstattung gegenüber den internationalen Gebern. Auf Grundlage der Berichte ist zu beraten, ob Modifikationen an der Strategie, an den Standards oder an den Ausbauzielen vorzunehmen sind (s. Abb. 12 / Kap. 7.4.1.6).

### **7.4 Grundlagenentwicklung und Rahmensetzung**

Ein klarer Rechts-, Finanzierungs- und Planungsrahmen bildet die Grundlage für die Realisierung und den Betrieb von Anlagen resp. für die Umsetzung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen. Es soll und kann hier nicht auf die Inhalte der Rahmensetzung im Einzelnen eingegangen oder eine Empfehlung zu deren Ausgestaltung gegeben werden. Dies ist dem Diskussions- und Entscheidungsfindungsprozess in den jeweiligen Ländern unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen vorbehalten. Die Rahmensetzung und der Vollzug werden von landesspezifischen Faktoren beeinflusst, die die jeweiligen Einstellungen und Kulturen eines Landes spiegeln [IMPEL 2003]:

- Das politische Umfeld und die Zielsetzungen bilden den Rahmen für das Aufgabenverständnis und sind entscheidend für die Bereitstellung der Ressourcen.
- Das – nationale und internationale – regulatorische Umfeld, einschließlich der Genehmigungsverfahren und der ggf. strafrechtlichen Verfolgung von Verstößen, bilden den Rechtsrahmen.
- Der Zustand der Umwelt und internationale, nationale und regionale Verpflichtungen hierzu formen wichtige Leitlinien für die zu setzenden Prioritäten.

---

160 einschließlich erforderlicher Ausstattung wie Mess- und Laboreinrichtungen, Kommunikations-, Informationsverarbeitungssysteme, Logistik etc.

161 Regionale Abfallwirtschaftspläne bieten sich v.a. bei großen Ländern und entsprechenden Verwaltungsstrukturen – z.B. Bundesländer, Provinzen oder Gouvernoraten – an.

- Neben Umweltaspekten sind soziale und ökonomische Aspekte der nachhaltigen Entwicklung zu berücksichtigen.
- Die ökonomischen Rahmenbedingungen und der technische Entwicklungsstand haben Einfluss darauf, auf welche Weise internationale Vereinbarungen in nationale Regelungen übernommen werden können.
- Soziale und kulturelle Faktoren und Traditionen, das öffentliche Umweltbewusstsein und Einstellungen beeinflussen die Arbeitsweise der für den Vollzug zuständigen Institutionen und die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal.

### 7.4.1 Rechtsgrundlagen und Vollzug

#### 7.4.1.1 Anforderungen an den Rechtsrahmen

Die OECD [2007] empfiehlt ihren Mitgliedern, ein regulatorisches Instrumentarium zu entwickeln, das die Verpflichtungen der Abfallerzeuger und der am Entsorgungsprozess Beteiligten regelt. Ziel ist es, innerhalb eines überschaubaren Zeitraums im gesamten Land gleiche rechtliche Rahmenbedingungen und Entsorgungsstandards zu schaffen und diese auch durchzusetzen. Der Rechtsrahmen muss Regelungen treffen zu:

- Ziele, Grundsätze und Prinzipien: Hierzu zählen im EU-Abfallrecht die Abfallhierarchie – Vorrang der Vermeidung und Verminderung vor der Verwertung und umweltverträglichen Beseitigung, Entsorgungsautarkie, Näheprinzip, Produktverantwortung [EU 2008c]
- Begriffsdefinitionen und Abgrenzung der Regelungsbereiche: Dies betrifft insbesondere den Abfallbegriff, Abfallartenkatalog und Kategorisierung der Abfälle nach Regelungsbereichen und ggf. unterschiedlichen Ressortzuständigkeiten<sup>162</sup>
- Anforderungen an die Vermeidung, Verwertung und Entsorgung: Hierzu zählen insbesondere Getrennthaltungspflichten, Vermischungsverbote, organisatorische und technische Anforderungen an Anlagen und Geräte, Anforderungen an die Lagerung, Verpackung, Transport, Umweltschutzanforderungen wie Emissionsgrenzwerte, technische Standards für Behandlungsanlagen, etc.
- Aufgaben, Verpflichtungen und Verantwortlichkeiten der Abfallerzeuger und beteiligten Akteure: z.B. Überlassungs-, Andienungspflichten für Abfallerzeuger, Berichts- und Dokumentationspflichten et al.
- Organisation und Zuständigkeiten für Planung, Durchführung, Zulassung/Genehmigung, Überwachung und Vollzug
- Regelungen zum Import und Export von Abfällen

Das rechtliche Regelwerk sollte klar, überschaubar, transparent, verständlich und den Rahmenbedingungen und Möglichkeiten in einem Land angemessen sein [Schübeler 1996]. Es besteht sinnvollerweise aus einem vom höchsten gesetzgebenden Organ zu verabschiedenden Rahmengesetz, das durch Verordnungen, Richtlinien, Regelwerke und Handreichungen, die von dem zuständigen Ministerium nach einem im Rahmengesetz festgelegten Verfahren erlassen werden können, konkretisiert und umgesetzt wird. Für die Umsetzung sind Instrumente wie Genehmigungen, Lizenzen, Erlaubnisse und Standards zu entwickeln, zu deren Durchsetzung Überwachungs- und Vollzugsorgane (s. Kap. 7.5.1.3) auf einer den Rahmenbedingungen des Landes angepassten Verwaltungsebene aufgebaut werden müssen.

Die Querbezüge zu anderen Umwelt- und relevanten Rechtsbereichen, insbesondere zum Wasserrecht, Luftreinhalte-/Immissionsschutzrecht, Naturschutzrecht, Bodenschutzrecht, Chemikalien-/Gefahrstoffrecht, Allgemeinem Umweltrecht, z.B. Umweltverträglichkeitsprüfung und Raumordnungs-, Bau- und Planungsrecht sind sorgfältig abzustimmen, um rechtliche Unklarheiten, Widersprüche und überhöhten Verwaltungsaufwand zu vermeiden.

#### 7.4.1.2 Vollzug der rechtlichen Regelungen

Die rechtlichen Regelungen können ihre Wirkung nur entfalten, wenn ihre Beachtung auch

---

<sup>162</sup> z.B. Tierkörper, Abfälle aus dem Gesundheitswesen, Minen- und Bergbauabfälle, Schiffs-/Häfenabfälle etc.

kontrolliert und durchgesetzt wird. Der sog. 'Vollzug'<sup>163</sup> der Rechtsvorschriften ist v.a. auch im Hinblick auf die Beteiligung des Privatsektors von erheblicher Bedeutung. EU [2008b] weist darauf hin, dass ein Unternehmen nicht dauerhaft am Markt erfolgreich sein kann, wenn Wettbewerber Kostenvorteile infolge niedrigerer einzuhaltender Standards haben. Dies gilt sowohl für Entsorgungsunternehmen wie für Unternehmen als Erzeuger von Abfällen. Für alle müssen perspektivisch gleiche Rahmenbedingungen geschaffen und durchgesetzt werden, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden. Die Vollzugsaufgaben umfassen

- Genehmigung/Zulassung von Anlagen
- Überwachung
- Monitoring und Berichterstattung.

Während die Genehmigung resp. Zulassung von Anlagen die Grenzen der Betätigung vor dem Bau und Betrieb einer Anlage regelt, ist es Aufgabe der Überwachung, die Einhaltung der Auflagen bei Bau und Betrieb zu überprüfen und durchzusetzen.

#### 7.4.1.3 Genehmigung/Zulassung von Anlagen

Die Genehmigung resp. Zulassung des Baus und Betriebs sowohl von Entsorgungsanlagen als auch von umweltbelastenden Produktionsanlagen stellt eine zentrale Aufgabe der Vollzugsbehörden dar. Die materiellen Regelungen wie auch die Genehmigungsverfahren müssen klar und transparent sein und in gleicher Weise im gesamten Land angewandt werden. Die Anforderungen müssen für die Antragsteller erkennbar und erfüllbar sein. Zentrale Fragen bei der Formulierung der Genehmigungsregeln sind [Ecotec 2001]:

- Art der Genehmigungen (Betriebserlaubnisse, Emissionsgrenzwerte etc.)
- Dauer / Fristen der Genehmigung
- Integrierte Genehmigungen oder sektor-/medienbezogene Genehmigungen
- Trennung oder gemeinsame Zuständigkeit für Genehmigung und Überwachung

Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung von Regelungen für die Zulassung von Anlagen stellt die Abstimmung mit anderen relevanten Regelungsbereichen dar, insbesondere Boden- und Gewässerschutz, Luftreinhaltung, Lärmschutz, aber auch Arbeitssicherheit. Inwieweit die Grundsätze der EU-IPPC Richtlinie [EU 2008b] zur integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung<sup>164</sup> in einem EL im Rahmen des Aufbaus eines Abfallwirtschaftssystems umsetzbar sind, bedarf der Einzelfallprüfung. Es ist zwar nicht zwingend erforderlich, dass die Zuständigkeiten bei einer Institution liegen, jedoch verringert dies den Koordinationsaufwand und trägt dazu bei, Umweltschutz- und Arbeitssicherheitsaspekte integriert mitzuüberprüfen. Hinsichtlich der abfallwirtschaftlichen Zulassungsaufgaben und -anforderungen unter besonderer Berücksichtigung der Vermeidung und Verwertung von Abfällen hat [IMPEL 2005a] Empfehlungen und Musterbeispiele veröffentlicht.

#### 7.4.1.4 Überwachung

Die Überwachung der Rechtsvorschriften und Genehmigungsaufgaben sind elementarer Bestandteil der Aufgaben der staatlichen Umweltverwaltung. Entscheidend beim Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen ist, dass die hierfür erforderlichen Kapazitäten aufgebaut, eine solide Finanzierung für diese Aufgaben sichergestellt und die für den Vollzug zuständigen Institutionen mit den notwendigen Instrumenten und Vollmachten ausgestattet werden.

Die EU [2001] hat Mindestanforderungen für die Organisation und Durchführung der Überwachung formuliert, die auch für die Anwendung in EL geeignet sind. IMPEL [2007] hat diese weiterentwickelt und Empfehlungen hierzu gegeben sowie Ziele, Parameter und Indikatoren für die Messung und Beurteilung der Qualität der Umweltüberwachung vorgeschlagen. Die Überwachungsbehörden selbst müssen für den Vollzug über ein rechtlich verankertes, gestuftes Instrumentarium verfügen, um die Beachtung der umweltrechtlichen Regelungen

---

163 Der englische Begriff 'enforcement' ist hier verständlicher.

164 Die Richtlinie der EU (2008/1/EG) über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung verlangt von Betreibern umweltbelastender Anlagen ein integriertes Konzept zur Vermeidung und Verminderung der Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie abfallwirtschaftlicher Maßnahmen. Damit wird zwar eine aufwändigere, aber auch effizientere Vorgehensweise bei Umweltproblemen ermöglicht.

durchzusetzen und gegen Verstöße vorzugehen [AECEN 2007]:

- präventiv wirkende administrative Maßnahmen wie Verpflichtungen zum Führen von Registern, Abgabe von Erklärungen, regelmäßige Inspektionen
- Auflagen, Verwarnungen, Geldbußen, Pfändungen, Entzug von Genehmigungen und Erlaubnissen bis hin zu Betriebsschließungen zur Ahndung von Verstößen und Ordnungswidrigkeiten
- strafrechtliche Instrumente wie Geld- und Gefängnisstrafen für besonders schwere Verstöße und Wiederholungsfälle, die gerichtlich zu klären sind

Die Behörden müssen Pläne für die Überwachung entwickeln, die das gesamte Land und die Anlagen umfassen. Als Grundlage ist ein Register der zu überwachenden Anlagen zu erstellen und in Abstimmung mit den für die Zulassung von Industrie- und Abfallentsorgungsanlagen zuständigen Behörden fortzuschreiben. Die Häufigkeit und der Umfang der Kontrollen sind in Abhängigkeit der potentiellen Umweltgefährdung und Arbeitssicherheitsrisiken der Betriebe, der Schutzerfordernisse und Sensibilität der lokalen Umwelt und der Feststellungen während vorangegangener Kontrollmaßnahmen festzulegen.

Die Überwachungspläne sind strategische Dokumente, aus denen sich die Anforderungen an die personelle und gerätetechnische Ausstattung der Überwachungsinstitution/en ableiten. Diese müssen über die erforderliche technische Ausstattung für Probenahme, Konservierung und Rückstellung von Proben, Messung und Analyse oder über gesicherte finanzielle Ressourcen verfügen, um diese Aufgaben von Dritten durchführen lassen zu können. Die erforderliche Ausstattung hängt von der Art und Anzahl der zu überwachenden Betriebe und Anlagen, den zu überwachenden Schadstoffen, der vorhandenen Ausstattung sowie dem Ausmaß und der Zuverlässigkeit vorhandener Eigenüberwachungsmaßnahmen ab. Für die Durchführung der Überwachungsmaßnahmen ist ein ausreichendes jährliches Budget für die Deckung der Betriebskosten<sup>165</sup> und für Ersatzbeschaffungen vorzusehen.

Neben der Kontrolle der Genehmigungsaufgaben liefern die Überwachungsmaßnahmen Hinweise für weitere Aufgaben und Zwecke, u.a. Daten für Emissions- und Abfallkataster, Informationen über im Land angewandte fortschrittliche Technologien, Hinweise für die Weiterentwicklung der Regulierungsinstrumente, anzustrebende bzw. im Land erreichbare Standards, Aktualisierung oder Anpassung von Genehmigungsaufgaben etc.. Darüber hinaus liefern sie Erkenntnisse für die Verbesserung der Organisation und Durchführung künftiger Inspektionen und der Überwachungsstrategie, v.a. hinsichtlich Häufigkeit, Art - d.h. Routine- oder Überraschungsinspektionen, Intensität und Zielrichtung der Kontrollen [Ecotec 2001]. Für die Durchführung müssen klare Regeln und Vorgehensweisen festgelegt werden. Es sind vollständige und klare Berichte über die durchgeführten Maßnahmen anzufertigen. Die Ergebnisse sind zu dokumentieren.

Im Bereich der gewerblichen Abfallerzeuger kann bei gut organisierten und verantwortungsvollen Unternehmen die Überwachung reduziert und verstärkt auf Eigenkontrolle gesetzt werden<sup>166</sup>. Insbesondere Unternehmen mit einem anerkannten Umweltmanagementsystem<sup>167</sup> kommen für eine Eigenüberwachung in Frage. Die Eigenüberwachung verbessert die Kenntnisse der Unternehmen über die betriebsinternen Materialflüsse und erhebt die umweltfreundliche und ressourcenschonende Produktion zur dauerhaften Managementaufgabe [IMPEL 2005]. Die Vorteile liegen in geringeren Kosten der Überwachung und der Nutzung der Kenntnisse der Betreiber über die Produktionsprozesse. Darüber hinaus kann auf diese Weise die Verantwortung der Unternehmen für die Kontrolle ihrer Emissionen gestärkt werden. Die Vollzugsbehörden prüfen dabei die vom Unternehmen getroffenen Vorkehrungen für die Eigenüberwachung und führen nur stichprobenartig Kontrollen durch. Dabei können sie sich bei Bedarf auf die Unterstützung durch externe Sachverständige stützen, die für diese Tätigkeit lizenziert sein sollten. Entscheidend ist, dass die Zuständigkeiten und Aufgaben

---

165 Verbrauchsmittel, Eichung der Messgeräte, Büro- und Verwaltungskosten, Reisekosten etc.

166 Die Industrieüberwachung ist in erster Linie eine Aufgabe im Rahmen der Sonderabfallüberwachung, die jedoch auch Aufgaben im Rahmen der Siedlungsabfallwirtschaft wahrzunehmen hat.

167 z.B. EMAS oder ISO 14001

in Überwachungsprogrammen, Funktionsplänen, Genehmigungen, rechtlichen Regelungen und anderen relevanten Dokumenten klar geregelt sind [Ecotec 2001].

#### 7.4.1.5 Monitoring und Berichterstattung

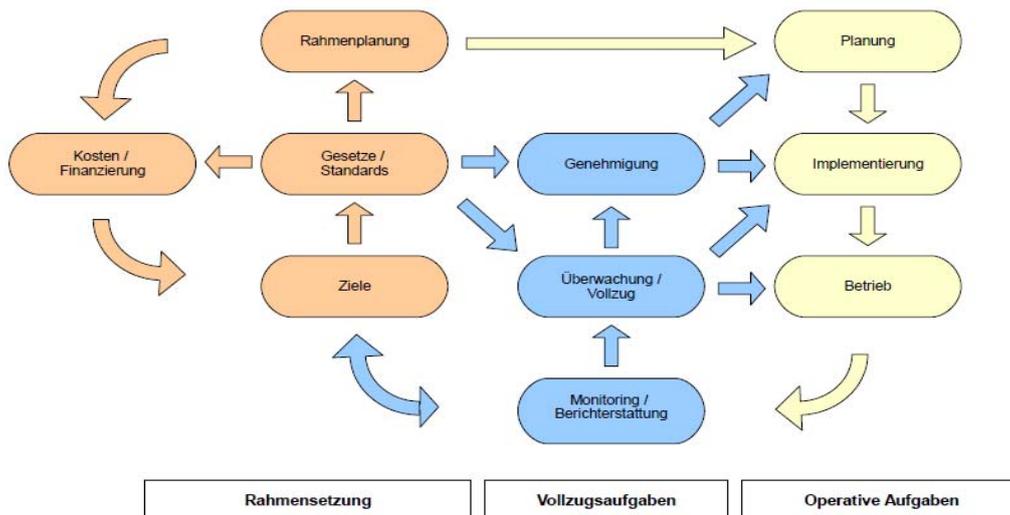
Die Fortschreibung von Politiken, Programmen und Plänen erfordert belastbare Daten und Informationen zu Arten, Mengen und Eigenschaften von Abfällen und vorhandenen Entsorgungspraktiken und -anlagen einerseits sowie zu den Umweltauswirkungen dieser Aktivitäten andererseits EU [2008b]. Zusätzlich ist im Rahmen des hier entwickelten Ansatzes eine überprüfbare Auswertung der Daten und Berichterstattung an die Geberländer erforderlich, insbesondere auch im Hinblick auf das Monitoring der Klimawirkungen. Die Daten dienen ferner der Information der Öffentlichkeit.

Innerhalb der staatlichen Verwaltung sind die Zuständigkeiten für die Datenerfassung und Berichterstattung festzulegen und ausreichende Ressourcen hierfür vorzusehen. Dabei ist zu entscheiden, ob die Abfallstatistiken von den Fachbehörden oder etwa von statistischen Ämtern erfasst und verarbeitet werden. Das Monitoring und die Berichterstattung der Umweltsituation und der Abgleich mit Umweltqualitätsnormen<sup>168</sup> ist Bestandteil des allgemeinen Umweltmonitorings. Die Zuordnung der Zuständigkeiten für das Monitoring der Umweltwirkungen aus abfallwirtschaftlichen Tätigkeiten ist nach Zweckmäßigkeit und mit Blick auf die vorhandenen Verwaltungsstrukturen und -kapazitäten festzulegen.

Die relevanten Akteure, insbesondere Entsorgungsträger und Betreiber von Verwertungs- und Entsorgungsanlagen, müssen zur Erfassung von Daten und zur regelmäßigen Berichterstattung verpflichtet werden. Darüber hinaus sollten größere und abfallintensive Betriebe und Branchen verpflichtet werden, betriebliche Abfallwirtschaftskonzepte und regelmäßige Abfallbilanzen zu erstellen. Damit können Vermeidungs- und Verwertungspotenziale, Schwachstellen der Abfallentsorgung sowie Möglichkeiten zur Kosteneinsparung erkannt und genutzt werden. Abfallwirtschaftskonzepte enthalten im Vergleich zu Abfallbilanzen zusätzlich eine Planungskomponente zur Entwicklung der Abfallmengen, zu Minimierungsmaßnahmen und zur Sicherstellung der umweltverträglichen Entsorgung von Abfällen.

#### 7.4.1.6 Wechselwirkungen zwischen Rahmensezung, Überwachung und Vollzug

Die Umweltüberwachung gilt für EU [2001] als unverzichtbarer Baustein der Regulierung.



**Abbildung 12: Interdependenzen zwischen Rahmensezung, Vollzug und operativen Aufgaben** (erweiterte eigene Darstellung auf der Grundlage von [IMPEL 1999])

Rechtsrahmensezung, Überwachung und Vollzug stehen in unmittelbarer Wechselwirkung zueinander. Die Interdependenzen zwischen dem aus den politisch-fachlichen Zielen abge-

<sup>168</sup> Dies betrifft v.a. Luft- und Gewässerqualitätswerte einschließlich Grundwasser.

leiteten Rechtsrahmen, dem Vollzug und den bei der Umsetzung der operativen Maßnahmen gemachten Erfahrungen sind in Abbildung 12 dargestellt. Rahmensetzung und Vollzugaufgaben bilden zunächst jeweils eigenständige Regelkreise. Sie sind über den regelmäßigen Abgleich der Ziele mit den Erkenntnissen aus dem Monitoring miteinander verbunden. Sofern aufgrund der Erfahrungen in der Praxis Anpassungen oder Weiterentwicklungen der Ziele und der rechtlichen Regelungen vorgenommen werden (müssen), hat dies Auswirkungen auf die Genehmigungspraxis und die Überwachung. Die Rahmensetzung stellt somit einen fortlaufenden Prozess dar. Die Impulse für die Weiterentwicklung des rechtlichen Regelwerks müssen aus den für die Überwachung und den Vollzug zuständigen Institutionen kommen.

#### **7.4.2 Finanzierung und Kostendeckung**

Alle Anstrengungen zum Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems laufen ohne nachhaltige Finanzierung und Kostendeckung ins Leere. Es müssen daher frühzeitig Überlegungen zu

- Finanzierung von Investitionen für Abfallentsorgungsanlagen,
- Deckung der laufenden Kosten,
- Deckung der Verwaltungskosten einschließlich Überwachung und Vollzug und
- Deckung der Kosten für Aus- und Fortbildung sowie Forschung und Entwicklung

angestellt und entsprechende Instrumente zur Finanzierung und Kostendeckung entwickelt werden. Bei Projekten, die im Rahmen der deutschen FZ unterstützt werden, wie auch bei Projekten anderer Geber, ist in den ersten Jahren zumindest die Deckung der Betriebskosten Voraussetzung für eine Finanzierungszusage. Mit den Einnahmen können dann allerdings weder Ersatzinvestitionen gedeckt noch der Schuldendienst getätigt bzw. das eingesetzte Eigenkapital verzinst werden. Auch können keine Rücklagen gebildet werden, was insbesondere bei der Finanzierung der Deponienachsorge Probleme verursacht. Eine nachhaltige Abfallwirtschaft muss diese Aspekte einbeziehen und langfristige Finanzierungen auch für diese Zwecke sicherstellen.

Als nationale Quellen für die Refinanzierung der operativen Aufgaben kommen in Frage:

- Finanzierung aus dem allgemeinen Steueraufkommen
- Subventionen und Anreizzahlungen
- Umweltsteuern
- Abfallgebühren
- Zweckgebundene oder verhaltenslenkende Abgaben

Eine indirekte Form der Kostendeckung ist die

- Produktverantwortung,

bei der die Zuständigkeit der Entsorgung für die Produkte auf die Hersteller und/oder Händler übertragen wird. Diese können ihre Verantwortung auf eigens für diesen Zweck gegründete Organisationen gegen Zahlung von Entgelten übertragen.

Eine Sonderform unter den Finanzinstrumenten stellen

- Pfandsysteme

dar, die die Rückgabe von Produkten, insbesondere von Verpackungen, die in der Verantwortung der Hersteller und Händler liegen, verbessern sollen. Sie haben jedoch verhaltenslenkende und keine Finanzierungsfunktion.

Andere marktbasierende Instrumente [vgl. EEA 2006] wie handelbare Erlaubnisse oder Zertifikate und Haftungsrückstellungen oder Versicherungslösungen werden zwar in anderen Umweltbereichen diskutiert und angewendet, erscheinen aber für die Abfallwirtschaft, insbesondere unter den Bedingungen in EL, weniger geeignet.

Darüber hinaus stehen auf der Grundlage internationaler Vereinbarungen

- Mittel aus der bi- und multilateralen EZ / ODA-Finanzierungen

zur Verfügung. Für die Finanzierung von Anlageninvestitionen und Gerät kommt auch der Einsatz von

- Privatkapital

in Frage. Allerdings wird dieses nur zu mobilisieren sein, wenn die Investoren Vertrauen in die Fähigkeit und den Willen der Vertragspartner haben, ihren finanziellen Verpflichtungen aus dem Vertrag nachzukommen. Dies setzt ein funktionierendes, zuverlässiges Kostendeckungsregime auf der Grundlage klarer gesetzlicher Regelungen voraus [EU 2008a]. Zu berücksichtigen gilt ferner, dass der Privatsektor i.d.R. nur (teurere) kommerzielle Finanzierungen bereitstellen kann.

Es kann an dieser Stelle keine allgemeine Empfehlung über die einzusetzenden Instrumente zur Finanzierung und Kostendeckung gegeben werden. Der geeignete Instrumentenmix und die angestrebten Beiträge sind einer politischen Entscheidung vorbehalten, die im Zuge der Sektorstrategieentwicklung auf der Grundlage einer realistischen Kostenschätzung zu treffen ist. Nachfolgend werden die als am geeignetsten für EL angesehenen Instrumente diskutiert.

#### 7.4.2.1 Finanzierung aus dem allgemeinen Steueraufkommen

Die Finanzierung aus dem allgemeinen Steueraufkommen stellt die am meisten verbreitete Art der Finanzierung abfallwirtschaftlicher Aufgaben in EL dar, sei es in Form von Zuweisungen des Staates an die zuständigen Kommunen, sei es in Form der Nutzung allgemeiner kommunaler Einnahmen für diese Zwecke (vgl. Kap. 2.4.4). Sie hat rein finanzierende und keine verhaltenslenkende Funktion und sollte perspektivisch beim Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen in EL zurückgefahren werden. Ihre Berechtigung findet die Verwendung von Mitteln aus dem allgemeinen Steueraufkommen für die Abfallwirtschaft in erster Linie bei der Gewährung von Garantien für Investoren oder Kreditgeber sowie für die Finanzierung von Aus- und Fortbildung, Forschung und Entwicklung.

#### 7.4.2.2 Subventionen und Anreizzahlungen

Zweckgebundene Subventionen und Anreizzahlungen dienen der Stimulierung erwünschter Investitionen in neue Technologien und der Förderung umweltfreundlicher Produkte oder Dienstleistungen. Beim Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen in EL können sie in Frage kommen, um Anreize für erwünschte Entwicklungen und Maßnahmen der Entsorgungspflichtigen, insbesondere der Kommunen und der industriellen Abfallerzeuger zu setzen. Dies setzt jedoch funktionierende institutionelle Strukturen zur fachlichen Prüfung der Maßnahmen und Kontrolle der sachgerechten Nutzung der geförderten Anlagen voraus.

#### 7.4.2.3 Umweltsteuern, Produkt- und zweckgebundene Abgaben

Umweltsteuern, Produkt- und zweckgebundene Abgaben dienen sowohl der Erzielung von Einnahmen als auch der Beeinflussung von Produzenten und Konsumenten, um unerwünschte Produkte oder Verhaltensweisen oder Entsorgungsverfahren<sup>169</sup> durch einen Preiszuschlag weniger attraktiv zu machen gegenüber erwünschten Alternativen. Sie stellen eine elegante Möglichkeit dar, nationale Kostendeckungsbeiträge in nennenswertem Umfang zu generieren und damit den erforderlichen Kostendeckungsbeitrag aus Gebühren resp. deren Höhe abzumildern<sup>170</sup>. Sie werden auf festzulegende Produkte oder Rohstoffe erhoben und können teilweise für die Finanzierung abfallwirtschaftlicher Aufgaben verwendet werden. Sie setzen zugleich Anreize für die Vermeidung und Verminderung sowie die recyclinggerechte Produktgestaltung und tragen damit dem Verursacherprinzip Rechnung. Abfallabgaben werden in Europa v.a. zur Finanzierung von Rücknahme- und Verwertungssystemen für bestimmte Abfallgruppen, v.a. für Verpackungsabfälle, Elektro- und Elektronikschrott, Altfahrzeuge u.a.m. erhoben [OECD/EEA 2009].

#### 7.4.2.4 Abfallgebühren

Die Erhebung von nutzerbezogenen Gebühren für die öffentliche Dienstleistung 'Abfallent-

---

169 Großbritannien erhebt eine mit der Zeit steigende Abgabe auf die auf Deponien abgelagerten Abfälle.

170 Tunesien deckt über Abgaben auf Reifen, Kunststoffe, Plastiktüten, Altöl, ÖlfILTER etwa 80% der Betriebskosten der zentralen Entsorgungsanlagen, die vom nationalen Träger ANGED geplant, gebaut und durch beauftragte private Unternehmen betrieben werden. Auf diese Weise müssen die anliefernden Kommunen nur 20% der Kosten über Anliefergebühren tragen. Eine Abfallgebühr existiert bislang allerdings nicht. Die Kommunen müssen die Kosten aus dem allgemeinen Steueraufkommen decken [Abdeljauad et al.2006].

sorgung' ist die in IL am meisten verbreitete Form der Kostendeckung. Entscheidend beim Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen in EL ist die Um- und Durchsetzbarkeit eines Gebührensystems, wobei die administrativen, rechtlichen und v.a. auch die technischen Möglichkeiten und Rahmenbedingungen Grenzen setzen. Auf eine Diskussion der Vor- und Nachteile verschiedener Gebührensysteme und der dabei anzuwendenden Grundsätze<sup>171</sup> kann daher hier verzichtet werden. So ist die Diskussion über die Anwendung des Verursacherprinzips bei nutzerbezogenen Gebühren theoretisch und wenig zielführend, wenn die elementaren technischen Voraussetzungen, i.e. genormte, den jeweiligen Gebührenschuldern individuell zugeordnete Sammelbehälter, nicht vorhanden sind und diese auch nicht ohne weiteres eingeführt werden können<sup>172</sup>. In EL sind zumeist lediglich bei gewerblichen Abfallerzeugern, die eine bedarfsgerechte Abfuhr erhalten, die Voraussetzungen für eine mengenproportionale Gebühr gegeben. Auch Sacksysteme, bei denen die Gebühr im Verkaufspreis der Müllsäcke enthalten ist, ermöglichen eine mengenbezogene Veranlagung. Jedoch ist der Einsatz dieser Systeme aufgrund der im Vergleich zu Abfallbehältern höheren 'Behälterkosten'<sup>173</sup> und des erhöhten Materialverbrauchs sorgfältig abzuwägen.

Es kommt in der Aufbauphase von Abfallwirtschaftssystemen in EL darauf an, dass überhaupt eine Gebühr für abfallwirtschaftliche Dienstleistungen eingeführt wird, auch wenn diese nur teilweise zur Finanzierung der Abfallwirtschaft beiträgt. Sie hat eine wichtige Funktion als Instrument der Verhaltensbeeinflussung und macht den Abfallerzeugern bewusst, dass die öffentliche Dienstleistung ‚Abfallmanagement‘ Kosten verursacht. Auf diese Weise trägt sie zur Entwicklung des Umwelt- und Abfallbewusstseins in der Bevölkerung bei.

Dazu müssen bei den Entsorgungsträgern die technisch-administrativen Voraussetzungen für das Gebührenmanagement geschaffen werden. Es kann durchaus sachgerecht sein, Abfallgebühren zusammen mit anderen Gebühren für öffentliche Dienstleistungen in Form eines Aufschlags zu erheben<sup>174</sup>, weil der Aufbau einer eigenen Gebührenverwaltung zeit-, personal- und kostenaufwändig ist. Bei der Abwägung sind die Einnahmesicherheit und eine hohe Hebeeffizienz insbesondere während der Aufbauphase eines Abfallwirtschaftssystems höher zu gewichten als die Anwendung des Verursacherprinzips. Das System kann in der Folge weiter in Richtung eines stärker verursacherbezogenen und kostengerechten Gebühr entwickelt werden, sobald das Sammelsystem etabliert und akzeptiert ist.

Bei der Wahl des Gebührensystems und der Erhebungsmethode sind insbesondere folgende Faktoren zu berücksichtigen [EU 2008a]:

- ökonomische Situation im Entsorgungsgebiet/objektive Zahlungsfähigkeit
- Akzeptanz von Abfallgebühren/subjektive Zahlungswilligkeit
- Zumutbarkeit von Gebühren insbesondere für ärmere Bevölkerungsschichten
- Kapazitäten und Leistungsfähigkeit der Verwaltung

Die Möglichkeiten der Quersubventionierung durch zahlungskräftigere Abfallerzeuger sollten sorgfältig evaluiert werden. So können z.B. Tourismuseinrichtungen, Gewerbebetriebe und Gebiete mit einkommensstärkeren Bewohnern einen überproportionalen Beitrag leisten, sofern dies rechtlich zulässig ist. Auch Befreiungen oder Entlastungen für sozial schwächer gestellte Personengruppen können erwogen werden.

Bei der Implementierung von Abfallgebühren ist es ratsam, behutsam vorzugehen. Gegenüber Bürgern und gewerblichen Abfallerzeugern muss die Gebühr begründet und ein angemessener Entsorgungsservice geboten werden. Die Zahlungsbereitschaft wächst i.d.R., wenn der Gebührenzahlung eine zuverlässige Entsorgungsdienstleistung gegenübersteht. Die Gebührenhöhe sollte stufenweise angehoben, die Gebührenkalkulation offengelegt und

---

171 Zentrale Fragen sind v.a. Wahrscheinlichkeits- oder Wirklichkeitsmaßstab, volumen- oder gewichtsbezogene Gebührensysteme, kostengerechte oder verhaltenssteuernde Gebührengestaltung

172 Erfahrungen mit der Einführung von in IL üblichen Müllgefäßen in EL zeigen, dass die Bürger diese aus ihrer Sicht 'wertvollen' Behälter lieber für andere Zwecke - z.B. als Aufbewahrungsbehälter - einsetzen, anstatt sie mit 'schmutzigem' Müll zu befüllen.

173 Kosten des Sammelgefäßes bezogen auf die entsorgte Abfallmenge

174 Der Jemen erhebt einen Aufschlag auf die Stromrechnung. In der Türkei dürfen die Kommunen die Abfallgebühren als Aufschlag zur Wasser- und Abwassergebühr festlegen und gemeinsam einziehen.

erläutert werden. Zugleich müssen Sanktionsmöglichkeiten gegenüber säumigen Zahlern verfügbar und zeitnah einsetzbar sein.

### 7.4.2.5 Wahl des Instrumentenmix

Eine allgemeine Empfehlung für die Wahl der 'richtigen' Instrumente kann nicht gegeben werden<sup>175</sup>. Die jeweils geeignete Form der Finanzierung und Kostendeckung ist unter Berücksichtigung der landesspezifischen Rahmenbedingungen und Möglichkeiten zu treffen. Die Erfahrungen zeigen, dass die Kostendeckung am besten funktioniert, wenn

- die Finanzierungsinstrumente gut konzipiert und in ein Bündel von Maßnahmen unter sorgfältiger Berücksichtigung der Rahmenbedingungen eingebunden sind,
- die Gründe für die Erhebung erläutert und die sachgerechte Verwendung nachgewiesen werden,
- die Gebühren-/Abgabenhöhe sowohl die Zahlungsfähigkeit und Zumutbarkeit berücksichtigen als auch Möglichkeiten eröffnen, durch Änderung des Verhaltens Einfluss auf die Kostenbelastung nehmen zu können.

### 7.4.3 **Nationale und regionale Abfallwirtschaftsplanung**

Die nationale und – bei großen Staaten – regionale Abfallwirtschaftsplanung ist sowohl im Rahmen der Strategieentwicklung als auch im Hinblick auf planerische Vorgaben von hoher Bedeutung. Die Pläne dienen als Leitlinie für die Realisierung von zentralen Entsorgungsanlagen und die Etablierung von Trägern. Sie bilden die entscheidende Grundlage bei der Konzeption wirtschaftlicher Anlagengrößen.

Die zentralen Entsorgungs- und Verwertungsanlagen stellen die bedeutendsten Investitionen beim Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems dar und bilden neben den bestehenden administrativen Strukturen in einem Land die zentrale Determinante für die Gestaltung der Einzugs- resp. Projektgebiete und damit für die Trägerorganisation. Die räumlichen und organisatorischen Strukturen des Abfallwirtschaftssystems sind soweit möglich unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Untergrenzen der in Frage kommenden Anlagentypen<sup>176</sup> zu entwickeln. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte das Einzugsgebiet einer Deponie 300.000 Einwohner nicht unterschreiten. Bei thermischen Behandlungsanlagen sind Einzugsbereiche von nicht unter 1 Mio. Einwohner anzustreben. Die Gestaltung einer technologisch hochwertigen, effizienten Abfallwirtschaft darf demzufolge nicht allein von bestehenden Verwaltungsstrukturen oder Gewohnheiten abhängen.

Da die Erlöse aus der energetischen Verwertung von Abfällen einen bedeutenden Beitrag zur Kostendeckung leisten können bzw. müssen, haben die Absatz- und Verwertungsmöglichkeiten für die aus den Abfällen gewonnene Energie entscheidende Bedeutung bei der konkreten Standortplanung. Bei Strategien, die auf eine energetische Nutzung der Abfälle zielen, ist eine möglichst hohe Energienutzungsquote entscheidend für die Wirtschaftlichkeit des Entsorgungssystems und damit für die Standortwahl (s. Kap. 5.4.1.2). Die Standortwahl wird somit stärker von den Nutzungs- und Absatzmöglichkeiten für die erzeugte Wärme beeinflusst als von der Erreichbarkeit der Anlagen. Die Bedeutung der Transportentfernungen auf die Wirtschaftlichkeit des Entsorgungssystems wird zumeist überschätzt. Sofern ein ausreichendes Straßennetz vorhanden ist, ist es i.d.R. kostengünstiger, Abfälle auch über größere Entfernungen<sup>177</sup> zu transportieren als zentrale Anlagen zu klein zu dimensionieren.

### 7.5 **Kapazitätsentwicklung**

Kapazitätsentwicklung<sup>178</sup> bezeichnet den Aufbau von Institutionen und die Qualifizierung von Personal. Der Entwicklungshilfesausschuss DAC der OECD sieht die Kapazitätsentwicklung als eine Schlüsselaufgabe der EZ. Er definiert sie als Prozess, bei dem Personen, Organisa-

---

175 Detaillierte Empfehlungen für die Eignung und die Einführung von Finanzierungs- und Kostendeckungsinstrumenten enthält [EEA 2006].

176 i.W. mechanisch-biologische Abfallbehandlung/thermische Abfallverwertung/-behandlung

177 Als Orientierungswert können 100 km dienen

178 direkte Übersetzung des auch im Deutschen verwendeten Ausdrucks 'Capacity Development'.

tionen und die Gesellschaft als Ganzes ihre Fähigkeiten entwickeln, stärken und erhalten [OECD 2006]. AU/NEPAD [2009] sieht eine der zentralen Ursachen für die weitgehende Unfähigkeit afrikanischer Länder zur Implementierung von Programmen und Projekten und öffentlicher Dienstleistungen in den strukturellen Schwächen auf allen staatlichen Ebenen sowohl auf institutioneller wie individueller Ebene. Armut, begrenzte Kapazitäten und schlechte Regierungsführung würden sich so gegenseitig begünstigen.

Kapazitätsentwicklungsmaßnahmen werden bislang eher als 'technische Prozesse' verstanden, die von den Gebern für die EL konzipiert werden und sich auf die Vermittlung von Wissen und den Aufbau von oft rein projektbezogenen Strukturen konzentrieren [OECD 2006]. Sie werden zumeist von entsandten Experten und Consultingunternehmen durchgeführt, die die lokalen Gegebenheiten und Gepflogenheiten nur unzureichend kennen. Die Maßnahmen beschränken sich weitgehend auf Einzelaspekte und die ad-hoc-Schließung von Lücken, um den Erfolg von Projekten oder Programmen zu sichern. Sie stellen meist zeitlich begrenzte Einzelaktionen dar, die isoliert ohne Einbindung in eine übergeordnete Strategie durchgeführt werden und sich auf die Förderung individueller Fähigkeiten konzentrieren unter Vernachlässigung des organisatorischen und institutionellen Kontextes [OECD 2009a].

Nach neuem Verständnis stellt Kapazitätsentwicklung einen Prozess dar, der Individuen, Gruppen, Organisationen, Institutionen und Gesellschaften befähigen soll, ihre eigenen Entwicklungsziele und Vorstellungen zu definieren, zu artikulieren, sich dafür zu engagieren und sie weiterzuentwickeln [AU/NEPAD 2009]. Die Entwicklung eines Abfallwirtschaftssystems wird – ebenso wie die Entwicklung anderer Systeme auch – von den sozio-ökonomischen, kulturellen und politischen Faktoren in einem Land beeinflusst. Kapazitätsentwicklung stellt somit einen überwiegend endogenen Prozess dar, der die Akteure der Systeme in den Mittelpunkt stellen und die relevanten Gruppen der Zivilgesellschaft einbeziehen muss. Beteiligungsmöglichkeiten und -rechte sind zu eröffnen und Angebote zu schaffen in Form von Zugang zu Ressourcen, Informationen, Bereitstellung von Kontakten und Bildungsmöglichkeiten.

Der DAC hat für die Kapazitätsentwicklung folgende prioritären Ansatzpunkte identifiziert und Empfehlungen gegeben [OECD 2009b]:

- Entwicklung spezifischer, auf die Gegebenheiten eines Landes abgestimmter Vorgehensweisen; Vermeidung von technokratischen, einseitigen Standard- oder vermeintlichen best-practise-Ansätzen
- Multi-Akteurs-Ansätze unter Einbeziehung von Vertretern der Zivilgesellschaft, des Privatsektors und von Akteurs- und Interessengruppen
- Integration der Kapazitätsentwicklung in die Sektorentwicklung
- Förderung des Dialogs innerhalb von Akteursgruppen und untereinander
- Bereitstellung langfristiger Unterstützung
- weitgehende Nutzung lokaler Ressourcen bei Verbesserung der Standards
- nachfrageorientierte TZ<sup>179</sup> zur Kapazitätsentwicklung und nicht als Selbstzweck

DFID [zit. in EC 2009] empfiehlt, Kapazitätsentwicklung als längerfristigen, gestuften Prozess anzulegen, bei dem zu Beginn keine zu ehrgeizigen Ziele formuliert werden sollten. Empfohlen wird ein sog. 'Plattform-Ansatz', bei dem realistische Entwicklungsstufen für die jeweils nächste Stufe ('Plattform') definiert werden. Die kurzfristige Agenda sollte dabei eingebunden sein in eine Langfriststrategie.

In Verbindung mit der stärkeren Ergebnisorientierung der EZ<sup>180</sup> erfährt die Kapazitätsentwicklung eine eigenständige, übergeordnete Bedeutung. Sie wird auf eine strategische Ebene gerückt und findet ihren fachlichen Bezug in den jeweiligen Sektorstrategien (s. Kap. 7.3.2). Die Maßnahmen müssen neben der individuellen Qualifizierung von Personen die organisatorischen und institutionellen Lernerfordernisse sowie die Schaffung von begüns-

---

179 in Form von Beratung, Trainings- und Ausbildungsmaßnahmen. Zur Kritik der bisherigen TZ s. [OECD 2009a]

180 Paris Declaration und Accra Agenda for Action – s. Kap. 7.1

tigenden Umfeldbedingungen im Fokus haben [OECD 2009a]. Dies erfordert einen grundlegenden Wandel der EZ-Ansätze [OECD 2006]. Kapazitätsentwicklung muss koordiniert auf Grundlage einer mit den Partnern entwickelten Strategie erfolgen. Sie ist ein langfristiger Prozess, der keine 'schnellen Lösungen' erlaubt. Die Geschwindigkeit beim Aufbau der Kapazitäten bestimmt letztendlich die Geschwindigkeit beim Aufbau einer funktionierenden Abfallwirtschaftsinfrastruktur und entsprechender Dienstleistungen.

Nachfolgend werden die zentralen Elemente der Kapazitätsentwicklung

- Aufbau von Institutionen
- Know-how-Entwicklung
- Partizipation

diskutiert und die erforderlichen Maßnahmen dargestellt.

### **7.5.1 Aufbau von Institutionen**

Der Aufbau von leistungsfähigen Institutionen bildet eine Schlüsselaufgabe bei der Implementierung von nachhaltigen (Abfallwirtschafts-)Systemen. ADB [2007] sieht in der institutionellen Schwäche das größte Hindernis für die Um- und Durchsetzung einer umwelt- und ressourcenschonenden Abfallpolitik in EL. Die Autoren betonen, dass ohne ausreichende institutionelle Kapazitäten und rechtlich fundierte Kompetenzen alle Anstrengungen leicht ins Leere liefen aufgrund von politischer Einflussnahme, Korruption und Missmanagement.

Das ‚Asiatische Netzwerk zur Verbesserung der Einhaltung und Durchsetzung des Umweltschutzes‘ [AECEN 2007] hat Grundsätze zur Berücksichtigung und Durchsetzung von Umweltaspekten erarbeitet und Prinzipien für die Arbeit der Umweltverwaltung formuliert:

- Die Umweltbehörden sind per Gesetz zu bestimmen und mit einem klaren Mandat, Aufgaben, Zuständigkeiten und Vollmachten sowie den erforderlichen personellen, technischen, finanziellen und logistischen Ressourcen auszustatten. Sie sollten autonom ohne politische oder private Beeinflussung agieren können und allein den gesetzlichen Regelungen unterworfen sein.
- Die Institutionen müssen über eine klare Struktur mit eindeutiger Zuordnung der Zuständigkeiten auf den verschiedenen Ebenen (national – regional – lokal) verfügen. Funktionale Zuständigkeiten und Aufgaben sollten von der jeweils untersten Ebene wahrgenommen werden, auf der eine sachgerechte und effiziente Durchführung der jeweiligen Aufgaben möglich ist (‚Subsidiaritätsprinzip‘). Während die operativen und vollziehenden Aufgaben von den dezentralen, örtlichen und regionalen Einheiten erfüllt werden, hat die nationale Ebene - je nach Größe und Struktur eines Landes – vorwiegend steuernde und koordinierende Aufgaben zu erfüllen sowie Handlungsrichtlinien vorzugeben.
- Umwelt- und Ressourcenschutz erfordern die Zusammenarbeit verschiedenster Behörden und Institutionen. Hierzu sind Vereinbarungen zu treffen und Verfahrensabläufe festzulegen. Geeignete Aktivitäten und Formen der Zusammenarbeit sind gemeinsame Programme, Arbeits- und Projektgruppen, Informations- und Wissensmanagement.

Beim Aufbau der institutionellen Struktur sind operative Aufgaben organisatorisch klar von regulatorischen und Vollzugsaufgaben zu trennen. Während die operativen Aufgaben den Kommunen, eigenständigen Institutionen, Verwaltungsebenen oder auch den Abfallerzeugern selbst<sup>181</sup> übertragen werden, hat die staatliche Umwelt-/Abfallwirtschaftsverwaltung<sup>182</sup>, einschließlich ihrer regionalen Vertretungen, Handlungsrichtlinien vorzugeben und die Regulierung und den Vollzug der Regelungen wahrzunehmen [EU 2008a].

Es ist nicht erforderlich, die Institutionen aufgebaut zu haben, bevor Entsorgungsanlagen realisiert werden. Im Gegenteil - der Kapazitätsaufbau ist zielführender, wenn er parallel zur Planung und Realisierung der Entsorgungsinfrastruktur erfolgt und das zu qualifizierende

---

181 Dies gilt z.B. häufig für produktionsspezifische Abfälle.

182 'Staatliche Verwaltung' meint hier den Unterschied zur kommunalen (Selbst-)Verwaltung oder der Verwaltung privater Organisationen. Gegenüber Privaten können hoheitliche Aufgaben auch auf die kommunale Ebene verlagert werden, die diese jedoch organisatorisch von den Selbstverwaltungsaufgaben trennen muss.

Personal und die beteiligten Akteure am konkreten Objekt Erfahrungen sammeln können. So ist es gefordert, sich unmittelbar mit den Auswirkungen der Entscheidungen auseinanderzusetzen. Dies lässt erwarten, dass Standards und Auflagen in angepasster Weise gesetzt werden, anstelle Normen aus entwickelten Ländern weitgehend unkritisch zu übernehmen.

Für die Implementierung des Abfallwirtschaftssystems und den Vollzug der rechtlichen Regelungen müssen die Institutionen ausreichend mit Personal, technischer Ausrüstung und rechtlich abgesicherten Vollmachten ausgestattet sein [EU 2008a]. Die Bereitstellung ausreichender Bearbeitungskapazitäten ist Grundvoraussetzung für die sachgerechte Erfüllung der Aufgaben und eigenständige Weiterentwicklung des Systems. Dazu ist die Rekrutierung und Qualifizierung von Personal erforderlich und es sind Verfahren für den Vollzug zu etablieren.

Voraussetzung für die Unterstützung der EZ zum institutionellen Aufbau sollte ein vom Parlament verabschiedetes Konzept sein, das mindestens folgende Aspekte beinhaltet:

- Darstellung der geplanten administrativen Struktur und klare Zuordnung der Aufgaben und Zuständigkeiten für die verschiedenen Regelungsbereiche und Abfallarten
- Darstellung der Kompetenzen der verschiedenen Institutionen sowie der Instrumente und Verfahren für die Umsetzung und den Vollzug der Rechtsvorschriften
- Darstellung der erforderlichen personellen, technischen und finanziellen Ressourcen sowie der geplanten Maßnahmen zum Aufbau der Kapazitäten
- Abschätzung der Kosten der Maßnahmen und der laufenden Kosten der Verwaltung
- Gewährleistung der erforderlichen personellen und materiellen Ausstattung der Institutionen zur nachhaltigen Finanzierung, sowie Schritte zur Umsetzung

Nachfolgend werden die Anforderungen an die Etablierung von technischen Fachbehörden, Entsorgungsträgern sowie Vollzugsinstitutionen diskutiert. Neben diesen unmittelbar mit abfallwirtschaftlichen Aufgaben befassten Institutionen bildet die Einrichtung oder Stärkung von Fakultäten für die wissenschaftlich-technische Ausbildung und für die Durchführung von F&E-Vorhaben sowie die Einrichtung von Berufsschullehrgängen für operativ tätiges Personal eine wichtige Komponente im Rahmen des institutionellen Aufbaus zur Sicherung der Nachhaltigkeit und langfristig eigenständigen Entwicklung des Sektors.

### 7.5.1.1 Nationale Umwelt-/Abfallbehörde

Der Aufbau und die Weiterentwicklung eines Abfallwirtschaftssystems erfordern die Entwicklung von Fachkompetenz im Land, um an die örtlichen Rahmenbedingungen angepasste Lösungen zunehmend eigenständig und konsistent entwickeln zu können. Ecotec [2001] weist darauf hin, dass paradoxerweise die Dezentralisierung von Zuständigkeiten und Kompetenzen eine starke Zentralregierung erfordert. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die lokal und regional zuständigen Institutionen unterschiedliche Regelungen und Verfahren entwickeln, die den einheitlichen Vollzug der rechtlichen Regelungen unterminieren können. Die Einrichtung einer nationalen Umwelt- oder Abfallbehörde oder zumindest einer technischen Fachabteilung im zuständigen Ministerium dient folgenden Aufgaben:

- fachliche Unterstützung und Beratung der Regierung bei der (Weiter-)Entwicklung der Rechtsgrundlagen und Begleitung der Gesetzgebungsverfahren
- Entwicklung und Festsetzung von Umweltnormen und technischen Standards
- Entwicklung von Verfahren für die Zulassung von Anlagen
- Entwicklung von Instrumenten und Verfahren für die Umsetzung und den Vollzug
- fachliche Unterstützung und Beratung der Vollzugsbehörden
- Entwicklung von Strategien und Plänen auf nationaler Ebene, resp. Veranlassung von Strategien und Plänen auf regionaler und lokaler Ebene und deren Prüfung
- Entwicklung von Kriterien und Verfahren für die Auswahl von Standorten für zentrale Entsorgungsanlagen
- Entwicklung von Programmen zur Sicherung oder Sanierung von Müllkippen und Altstandorten
- Entwicklung und Bereitstellung von Fachexpertise für die Überwachung und das Moni-

- toring von Anlagen und abfallwirtschaftlichen Tätigkeiten
- allgemeine Information der Öffentlichkeit und Umwelterziehung
- Datenerfassung und -analyse sowie Berichterstattung

Die abfallwirtschaftlichen Aspekte sind Bestandteil der Umwelt- und Ressourcenpolitik eines Landes, die zu den Aufgaben einer nationalen Umweltbehörde gehören. Es sollte möglichst vermieden werden, eine eigene institutionelle Struktur für den Abfallsektor aufzubauen. Dort wo der Aufbau von Umweltbehörden noch nicht vorangeschritten ist, sollte die nationale Abfallbehörde so konzipiert werden, dass sie zu einer Umweltbehörde erweitert oder in diese integriert werden kann.

Darüber hinaus sind, je nach Größe eines Landes, kompetente und mit ausreichender Kapazität ausgestattete Institutionen auf der mittleren / regionalen Ebene in Form von Repräsentanzen der technischen Fachbehörden und Umweltbehörden erforderlich, die ein landespezifisches technisches Regelwerk (weiter-)entwickeln und Kommunen, Vollzugsbehörden, Entsorgungsträger sowie die privaten Akteure fachlich beraten können.

### 7.5.1.2 Entsorgungsträger

Die entscheidende Determinante für die Organisation von Entsorgungsträgern bilden neben den bestehenden administrativen Strukturen das vorgesehene Set-up der zentralen Anlagen der Restabfallentsorgung und die Gestaltung der Einzugsgebiete. Sie sind die bedeutendsten Investitionen beim Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems. Vielfach werden die Zuständigkeiten für die Abfallwirtschaft ohne Diskussion der Konsequenzen und Alternativen den Kommunen übertragen. Dies ist zwar für die Abfalleinsammlung sachgerecht, bei zentralen Entsorgungsanlagen ist allerdings sorgfältig abzuwägen, wer geeigneter Träger sein kann. Während der kommunale Ansatz in sehr großen Städten<sup>183</sup> eine tragfähige Lösung darstellt, hat er in Klein- und Mittelstädten zumeist unwirtschaftliche Lösungen zur Folge. Der Aufbau einer fortschrittlichen Abfallwirtschaft in EL erfordert kostenoptimale Lösungen und leistungsfähige, kompetente Entsorgungsträger. Aufgrund der Kostendegression bei zunehmender Anlagengröße (s. Kap. 6.4) sind ausreichend groß konzipierte Einzugsbereiche vorzusehen, für die geeignete Trägerstrukturen gefunden werden müssen. Die Trägerstrukturen sind auf Grundlage einer landesweiten Rahmenplanung zu entwickeln (vgl. Kap. 7.3.2).

Soweit möglich, sollten neu zu etablierende übergemeindliche Träger an bestehende geeignete Strukturen oder Organisationen anknüpfen, um vorhandene Ressourcen und Verfahren zu nutzen. Die geeignete Trägerform und ihre Gestaltung sind unter Berücksichtigung der Verwaltungsstrukturen des Landes und der vorgesehenen Aufgabenteilung zu wählen. Eine allgemeine Empfehlung zur Organisation der Entsorgungsträger kann nicht gegeben werden. Dort wo keine geeigneten übergemeindlichen Verwaltungsebenen<sup>184</sup> vorhanden sind oder die Übernahme operativer Zuständigkeit nicht mit den sonstigen Aufgaben kompatibel ist<sup>185</sup>, müssen eigene Lösungen gefunden werden. In Frage kommen insbesondere

- vorhandene Selbstverwaltungsvereinigungen<sup>186</sup>,
- Zweckverbände,
- Kooperationsvereinbarungen benachbarter Kommunen,
- Servicevereinbarungen (zwischen einer großen Kommune, die die Zuständigkeit für die zentralen Anlagen übernimmt und den kleineren Nachbargemeinden).

Dabei können durchaus regional unterschiedliche Modelle in einem Land umgesetzt werden. Sofern sich keine einheitlichen Lösungen aufdrängen, sollte kein starres Prinzip verfolgt werden. Zur Identifizierung regional angepasster Lösungen wird die Durchführung von Regionalforen unter Beteiligung der relevanten Akteure empfohlen [Pfaff-Simoneit 2000].

Ein möglicher geeigneter Ansatz kann auch in der Einrichtung

- staatlicher Träger

---

183 etwa größer als 0,5 - 1 Mio. Einwohner

184 Landkreise existieren in den meisten Staatsformen nicht oder haben keine operativen Aufgaben.

185 v.a. regionale Vertretungen der staatlichen Verwaltung, die Überwachungs- und Vollzugsaufgaben haben.

186 z.B. Tourismusverbände, Regionalfördergesellschaften, Wasser-/Abwasserverbände, Energieversorger o.ä.

liegen, wie dies für zahlreiche Bereiche der technischen Infrastruktur<sup>187</sup> v.a. in nordafrikanischen Ländern der Fall ist. Im Abfallsektor wurden in Tunesien gute Erfahrungen mit dieser Form der Trägerorganisation gemacht [Pfaff-Simoneit 2008b]. Insbesondere beim angestrebten schnellen Aufbau der Entsorgungsinfrastruktur bietet sie erhebliche Vorteile. Im Unterschied zu kommunalen Trägern, deren Mitarbeiter im Verlaufe ihres Berufslebens die Planung, Realisierung und Inbetriebnahme nur weniger Anlagen begleiten, kann bei einem staatlichen Träger das dabei erworbene Know-how mehrfach angewandt werden, was vor dem Hintergrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Fachkräften in EL von großem Vorteil ist.

### 7.5.1.3 Genehmigungs-, Überwachungs- und Vollzugsorgane

Für die Genehmigung von Anlagen und Überwachung und Durchsetzung des rechtlichen Regelwerks sowie der Genehmigungsaufgaben sind geeignete Strukturen und Mechanismen zu schaffen. In Abhängigkeit der Größe eines Landes und seiner Verwaltungsstrukturen sowie der Komplexität der Aufgabe bedarf es kompetenter und ausreichend ausgestatteter Institutionen auf der nationalen und regionalen Ebene. Die Überwachung kann durch Behörden oder geeignete, hierzu autorisierte Institutionen wahrgenommen werden [OECD 2007]. Dafür müssen ausreichende Ressourcen bereitgestellt und das Personal qualifiziert werden. Inwieweit die Genehmigung von Anlagen und deren Überwachung einer oder verschiedenen Behörden zugeordnet werden, bedarf der sorgfältigen Abwägung unter Berücksichtigung der gegebenen Verwaltungsstrukturen und Gepflogenheiten sowie der Zweckmäßigkeit. IMPEL [2005a] sieht sowohl Vor- und Nachteile bei beiden Organisationsformen. Unter Berücksichtigung der meist schwachen Ausstattung und knappen Personalressourcen der staatlichen Umweltverwaltung dürfte jedoch die Zusammenfassung aller Aufgaben in einer Institution für EL i.d.R. angemessener sein.

Der Aufbau von Institutionen für die Abfallwirtschaft ist eingebettet in den Aufbau der Umweltverwaltung eines Landes. Die Strukturierung der Zuständigkeiten sowohl in horizontaler (Ressortzuständigkeiten) als auch vertikaler (nationale – regionale – lokale Ebene) Richtung ist nach Zweckmäßigkeit, vorhandenen Strukturen der Administration, Größe des Landes und Art der Aufgabe festzulegen. Ein Universalmodell existiert nicht.

Die abfallwirtschaftlichen Aspekte bilden einen Teil der hoheitlichen Regulierungs- und Vollzugsaufgaben, die auch in anderen Fachgebieten<sup>188</sup> zu leisten sind und von anderen Ressorts wahrgenommen werden. Daher empfiehlt es sich nicht, für den Vollzug abfallwirtschaftlicher Regelungen eine eigene institutionelle Struktur aufzubauen. Vielmehr sind sie in die Aufgaben der verschiedenen Ressorts zu integrieren. Für die Zuordnung der Überwachungs- und Vollzugsaufgaben zu den jeweiligen Ressorts empfiehlt sich eine Differenzierung nach Herkunftsbereichen der Abfälle, jedoch sollten die Grundsätze und Richtlinien für die Abfallwirtschaft von einer verantwortlichen Institution, i.d.R. dem Umweltministerium, vorgegeben und die Maßnahmen der Ressorts von diesem koordiniert werden. Dabei sind üblicherweise zu unterscheiden:

- Siedlungsabfälle (ggf. Aufgabe der Kommunalaufsicht)
- Industrieabfälle einschließlich gefährlicher Abfälle (ggf. Industrieüberwachung)
- Bau- und Abbruchabfälle (ggf. Bauaufsichtsbehörden)
- landwirtschaftliche Abfälle (ggf. Landwirtschaftsbehörde)
- Bergbauabfälle (ggf. Bergaufsicht)
- Kraftwerksaschen und -schlacken (ggf. Energiebehörde)
- Klärschlämme (ggf. Kommunalaufsicht resp. Industrieüberwachung)
- Abfälle aus dem Gesundheitswesen (ggf. Gesundheitsaufsicht)
- Tierkadaver
- Abfälle, die wegen der Art oder Menge einer eigenen Entsorgungslösung bedürfen<sup>189</sup>

---

187 insbesondere Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung

188 Beispielsweise ist die Überwachung der Entsorgung gefährlicher Abfälle Bestandteil der Industrieüberwachung, die neben den umweltrelevanten Themen der Luftreinhaltung und des Gewässerschutzes auch Aspekte der Arbeitssicherheit und des betrieblichen Gesundheitsschutzes umfasst.

189 z.B. Minen- und Bergbauabfälle, Abfälle aus der Phosphatindustrie (Phosphorgips)

Dort wo der Aufbau von eigenen Überwachungskapazitäten (noch) nicht möglich oder gewollt ist, kann diese Aufgabe privaten Institutionen übertragen werden<sup>190</sup>. Diese Lösung ist vermutlich kostengünstiger als die Vorhaltung von Personal und Ausstattung durch die staatlichen Überwachungsbehörden selbst. Voraussetzung ist, dass klare und zuverlässige Regelungen für die Durchführung, Prüfung und Honorierung dieser Leistungen bestehen.

### 7.5.2 Know-how-Entwicklung

Qualifiziertes Personal für den Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen und die kompetente Wahrnehmung der verschiedenen Aufgaben ist auf den Arbeitsmärkten in EL kaum verfügbar, das notwendige Wissen nicht vorhanden. Es ist daher von zentraler Bedeutung, im Rahmen des Aufbaus von Abfallwirtschaftssystemen Maßnahmen zur Qualifizierung von Fachkräften vorzusehen und hierfür ausreichende finanzielle Ressourcen bereitzustellen.

Nassour [2005] weist darauf hin, dass „Know-how... nicht durch eine Ausschreibung oder Erwerb einer neuen Technologie erworben werden kann. Es muss in den Köpfen durch laufende Tätigkeiten wachsen... und ständig aktualisiert werden“. Die Abfallwirtschaft benötigt – ebenso wie andere ingenieurwissenschaftliche und technische Disziplinen auch - wissenschaftliche und praktische Grundlagen, welche nur durch eigene Forschungsvorhaben und Projekte im Land selbst vermittelt werden können. Ohne Entwicklung eigener technologischer und organisatorischer Kompetenz droht ein doppelter Teufelskreis: Der verbreitete Mangel an moderner Infrastruktur und technischer Ausrüstung behindert die Entfaltung eigener Forschungspotentiale und beeinträchtigt die Ausbildung wegen mangelnder Praxisrelevanz und Problemorientierung [BMZ 2009]. Dies führt zu einem 'brain drain', der wiederum den Aufbau von Kompetenz und F&E-Kapazitäten erschwert und zur Zurückhaltung von Investoren führt, sich in EL mit komplexeren Technologien zu engagieren [Richter et al 2000].

Neben der Qualifizierung von Fachkräften ist es für eine nachhaltige Know-how-Entwicklung entscheidend, in den Institutionen Strukturen zu schaffen, die es ihnen ermöglichen, ihre Fähigkeiten und Kenntnisse einzusetzen und sich weiterzuentwickeln. Die Institutionen wiederum sollten möglichst in einem Umfeld agieren, in dem Akteursgruppen und Vertreter gesellschaftlicher Gruppen über Beteiligungs- und Mitwirkungsmöglichkeiten verfügen. Für die nachhaltige Sicherung und Weiterentwicklung der erworbenen Fähigkeiten sind Nachbetreuungs- und Aufbauangebote vorzusehen. Diese können z.B. on-the-job Training und Betreuung, Mentorenprogramme, Internetforen und Workshops für den Erfahrungs- und Wissensaustausch, Auffrischungs- und Aufbaukurse u.a.m. umfassen.

Zur Steigerung der Attraktivität und Motivation der Beschäftigten gehört auch und insbesondere eine adäquate Bezahlung. Die Löhne und Gehälter müssen so gestaltet sein, dass eine Tätigkeit in der Abfallwirtschaftsverwaltung und seinen Institutionen auch für Fachkräfte mit hohem Bildungsgrad attraktiv ist und sie dauerhaft gehalten und motiviert werden können. Zu geringe Gehaltszahlungen machen zudem anfälliger für Korruption. Insbesondere bei den Genehmigungs- und Überwachungs-/Vollzugsbehörden kann dies die ernsthafte Umsetzung einer rechtskonformen, nachhaltigen Abfallwirtschaft gefährden.

Nachfolgend wird auf die beiden wichtigsten Bereiche der Know-how-Entwicklung

- Forschung und Entwicklung
- Aus- und Fortbildung

eingegangen. Neben den abfalltechnischen Fachkräften sind für den Aufbau eines nachhaltigen Abfallwirtschaftssystems weitere wissenschaftlich ausgebildete Fachkräfte erforderlich, v.a. Ökonomen, Juristen, Chemiker, Ingenieure anderer Disziplinen, Geologen, Biologen et al. Zumindest in SL sind diese Fachkräfte i.d.R. verfügbar. Es kann jedoch erforderlich sein, diesen ergänzende fachspezifische, abfallwirtschaftliche Qualifikationen anzubieten.

#### 7.5.2.1 Forschung, Entwicklung und wissenschaftliche Ausbildung

Die Entwicklung von Kapazitäten für Forschung, Entwicklung und wissenschaftlicher Ausbil-

---

190 In Deutschland wird z.B. die KFZ-Überwachung von privaten Organisationen wahrgenommen.

dung wird im Rahmen der sektoralen EZ bislang wenig beachtet. Zwar bilden der Aufbau und die Stärkung von Hochschulen im Kontext der Strategie 'Wissen für Entwicklung' eine wichtige Komponente der EZ, jedoch beziehen sich diese Maßnahmen in erster Linie auf die strategische Querschnittsfunktion von Hochschulen [BMZ 2009]. Mit der Hochschul-Exzellenz-Initiative des BMZ und des DAAD-Programms 'exceed' werden erstmals gezielt Wissenschaftskooperationen gefördert, die entwicklungspolitisch wichtige Themen im Zusammenhang mit den MDG adressieren [DAAD 2009]. Jedoch werden diese Maßnahmen weitgehend ohne Bezug zu Sektorstrategien oder EZ-Projekten durchgeführt.

Für die Entwicklung eigener technologischer Kompetenz ist die Einrichtung bzw. Stärkung von Forschungsinstitutionen bzw. Fakultäten erforderlich. Universitäten bieten Zugang zu internationalem Wissen, was eine entscheidende Voraussetzung für Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit technisch-ökonomischer Entwicklung bildet [Richter et al. 2000]. Ohne qualifizierte Kräfte können effiziente, demokratische Regierungs- und Verwaltungsarbeit, moderne Infrastruktur, Bildungswesen und Forschung nicht aufrechterhalten werden. Wasmuth [2004] sieht die entwicklungspolitische Bedeutung des Aufbaus von Forschungs-, Entwicklungs- und Ausbildungskapazitäten v.a. im Hinblick auf

- die Qualifizierung von Fach- und Führungskräften in den Partnerländern;
- die Beratung von Entscheidungsträgern sowie der entsprechenden Institutionen;
- die zunehmend wichtige Rolle von regionalen multidisziplinären Wissensnetzwerken im Kontext der Globalisierung.

Die Hochschulen in den meisten EL sind oft nur unzureichend in der Lage, eigene wissenschaftliche Forschung zu betreiben oder Wissen aus dem internationalen Raum für den lokalen Bedarf anzuwenden. Dies lässt sich in vielen Fällen auf Kapazitätsengpässe und mangelnde finanzielle Ausstattung von Hochschulen zurückführen. Selbst motivierte Wissenschaftler sind aufgrund der großen Studierendenzahlen meist fast ausschließlich in der Lehre und kaum in der Forschung beschäftigt [BMZ 2009].

Die Maßnahmen zum Aufbau von Forschungs- und Entwicklungskapazitäten in der Abfallwirtschaft sollten in die Sektorstrategie eingebunden sein und insbesondere beinhalten:

- Curricula-, Praktika- und Programmentwicklung
- Auf- und Ausbau von Hochschuleinrichtungen einschließlich technisch-infrastruktureller Ausstattung (Laboratorien, Werkstätten, Bibliotheken etc.)
- Entwicklung regionaler Technologietransferzentren
- Förderung der Kooperation zwischen Hochschulen und Industrie
- Aufbau von nationalen und internationalen Netzwerken von Hochschulen und Forschungseinrichtungen
- Entwicklung von gemeinsamen Studiengängen und Forschungskooperationen zwischen Institutionen in den Partner- und Industrieländern
- Förderung des nationalen, regionalen und internationalen technisch-wissenschaftlichen Austauschs

Die abfallwirtschaftlichen Institute der deutschen Hochschulen haben in den letzten Jahren ihre Aktivitäten in bemerkenswerter Weise internationalisiert. Sie unterhalten intensive Beziehungen zu Hochschulen aus EL, führen Kurse, Austauschprogramme und Gastaufenthalte durch und unterstützen beim Aufbau von Studiengängen der Abfallwirtschaft<sup>191</sup> oder Umwelttechnik<sup>192</sup>. Gleichwohl erfolgen diese Aktivitäten weitgehend zufällig und unkoordiniert und sind nicht in eine Entwicklungs- oder Sektorstrategie eingebunden.

### 7.5.2.2 Technische Ausbildung

Der Aufbau eines fortschrittlichen Abfallwirtschaftssystems erfordert qualifizierte Beschäftigte, die die höherwertigen Anlagen bedienen und instandhalten können. Diese Fachkräfte

---

191 z.B. in Costa Rica (Universität Stuttgart), Thailand, Vietnam (Bauhaus-Universität Weimar), Vietnam (TU Dresden), Kuba (TU Hamburg-Harburg) [DAAD 2004]

192 z.B. China (Universität Rostock, TU Cottbus)

müssen zunehmend in den EL selbst ausgebildet werden, um eine dauerhaft eigenständige Entwicklung des Sektors zu erreichen.

Die Strukturen für ein Ausbildungskonzept in der Abfallwirtschaft und im Recycling und didaktische Konzepte wurden im Rahmen eines europäischen Projektes entwickelt. Das sog. ‚Kernberufsprofil‘ für Beschäftigte im Sektor<sup>193</sup> kann nach [Blings/Spöttl 2002] in drei zentrale Arbeitsprozesse gegliedert werden:

- a) Sammlung, Lagerung, Sortierung, Aufbereitung
- b) Verwertung und Aufbereitung von verschiedenen Materialien
- c) Instandsetzen und Anpassen der Anlagen

Das Aufgabenspektrum der Gruppe a) reicht über alle Stufen der Entsorgungs- und Behandlungskette und erfordert v.a. Materialkenntnisse. In diesem Bereich müssen zwar zumeist nur schnell erlernbare einfachere Aufgaben bewältigt werden, mit zunehmender Professionalisierung der Unternehmen sind jedoch Tätigkeiten in unterschiedlichen Sparten durchzuführen, die eine höhere Flexibilität der Beschäftigten und vielfältige Materialkenntnisse erfordern. An Gruppenleiter, Vorarbeiter und Betriebsleiter werden erhöhte kognitive Ansprüche gestellt.

Tätigkeiten der Gruppen b) und c) verlangen ein höheres Bildungs- und Qualifikationsniveau. Der Betrieb von Kompostierungs- und Vergärungsanlagen, komplexeren Sortieranlagen und thermischen Abfallbehandlungs- resp. Verwertungsanlagen erfordert anspruchsvollere Fähigkeiten. Die Mitarbeiter müssen die Anlagen in den prinzipiellen Funktionsweisen und Prozessen verstehen und in der Lage sein, Störungen zu erkennen, deren Ursachen zu analysieren und zu beseitigen. Je stärker Anlagen automatisiert und je komplexer die ablaufenden Prozesse sind, umso stärker ist der „Anlagenfahrer“ gefordert. Dies setzt eine technische Grundausbildung und Spezialisierung auf die jeweiligen Anlagentypen und Verfahren sowie Erfahrung mit den Anlagen voraus. Dieses Know-how zu entwickeln erfordert Engagement und ein höheres Bildungs- bzw. intellektuelles Niveau.

Die Vielfalt und Heterogenität der Aufgaben und Tätigkeiten in der Abfallwirtschaft machen es schwierig, eine einheitliche Ausbildung für das operativ tätige Personal zu konzipieren. Blings/Spöttl [2002] plädieren daher für ein Ausbildungskonzept, das anstelle einer themen- und technologieorientierten Ausrichtung von Qualifizierungsmaßnahmen die Geschäfts- und Arbeitsprozesse in den Mittelpunkt stellt. Die auszubildenden Fachkräfte sollen in die Lage versetzt werden, zunehmend die gesamten betrieblichen Organisationsstrukturen zu übersehen, zu reflektieren und mitzugestalten. Die Lerninhalte gliedern sich in die Lernbereiche „Überblickswissen“, „Zusammenhangswissen von Anlagen und Systemen“, „Detail- und Funktionswissen“ und „fachsystematisches Vertiefungswissen“.

Inwieweit diese Überlegungen auf die Situation in EL übertragen werden können, kann nicht allgemeingültig beurteilt werden. Angepasste Ausbildungskonzepte für einzelne Länder sind unter Berücksichtigung

- der bestehenden Strukturen und Einrichtungen der Berufsbildung,
- der schulischen Qualifikationen und Kenntnisse der Auszubildenden,
- der voraussichtlichen Arbeitsmarkterfordernisse

von Berufsbildungsexperten zu entwickeln. Dabei wird auch dem Umstand Rechnung zu tragen sein, dass bislang vielfach Arbeitskräfte mit nur geringem Bildungsniveau bis hin zu Analphabeten diese Tätigkeiten in EL ausführen. Somit sind auch Grundfertigkeiten wie Lesen, Schreiben, Rechnen zu vermitteln.

### **7.5.3 Partizipation, Kommunikation, Konsultation**

Nachhaltige Abfallwirtschaft gelingt nur in der Interaktion zahlreicher Akteure und durch Mitwirkung der Bevölkerung und sonstiger Abfallerzeuger. Der Erfolg hängt entscheidend von der Organisation und der Zusammenarbeit zwischen privaten Haushalten, Gemeinden, Ge-

---

193 Dort wurde die Bezeichnung ‚Eco-Recycler‘ geprägt [Blings, Spöttl 2003]. In Deutschland besteht bereits seit 2002 der Ausbildungsberuf ‚Fachkraft für Kreislauf- und Abfallwirtschaft‘ [BA o.J.]

werbetrieben, Wertstoffsammlern, Entsorgungsunternehmen, Behörden u.a. ab [Schübeler et al. 1996]. Die Kenntnis und Berücksichtigung der Einstellungen, Erwartungen, Verhaltensweisen und sozialen Situation der beteiligten Gruppen sind essentiell, um Abfallwirtschaftsvorhaben sachgerecht zu konzipieren und die erforderliche Akzeptanz und öffentliche Unterstützung für die Maßnahmen zu erzielen [Bernstein 2004].

Bereits die Entwicklung und Implementierung des Abfallwirtschaftssystems erfordert die Einbeziehung und Abstimmung mit zahlreichen Akteuren und die Koordinierung vielfältiger Aktivitäten. Schon frühzeitig sind daher die Grundsätze und Prinzipien der Partizipation und Konsultation festzulegen. Die Berücksichtigung der unterschiedlicher Interessen und Erfahrungen ist hinsichtlich Umsetzbarkeit und Praktikabilität der vorgesehenen Regelungen von hoher Bedeutung. Dies gilt v.a. bei der Konzipierung der Rechtsgrundlagen und technischer Standards [EU 2008a]. Kooperative Ansätze sind innovativer, da sie die Mitwirkungsbereitschaft, Kreativität und Eigenverantwortung der Akteure fördern.

Während die Wirtschaft meist Interessenvertretungen hat, sind die Vertreter der Zivilgesellschaft und der informelle Sektor in EL häufig nicht organisiert. Eine wichtige Aufgabe im Rahmen des Aufbaus von Abfallwirtschaftssystemen besteht daher in der Unterstützung des Aufbaus von legitimierten Interessenverbänden. Diese Aufgaben werden im Rahmen der EZ meist von Parteienstiftungen, kirchlichen Organisationen, Gewerkschaften, Umweltverbänden und anderen NGO wahrgenommen, weitestgehend unabhängig von anderen EZ-Maßnahmen.

Es darf dabei nicht verkannt werden, dass partizipative Ansätze und kooperative Strukturen dem Grundverständnis autoritärer Staaten und den Interessen ihrer Eliten zuwiderlaufen. Die Aufgabe des Befehl – Gehorsam - Kontrolle - Führungsprinzips und die kritische Beobachtung ihrer Aktivitäten durch gesellschaftliche Kräfte werden von diesen als Bedrohung ihrer Führungsrolle gewertet. In welchem Maße die formelle Beteiligung der Zivilgesellschaft zur Bedingung für die Unterstützung eines EL beim Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems gemacht werden kann und soll, bedarf der Abwägung im Einzelfall.

Die Mitwirkung der Abfallerzeuger und Akteure muss durch Öffentlichkeitsarbeit, Aufklärung und Anreize gefördert werden, um mit der Zeit Einstellungs- und Verhaltensänderungen zu erreichen und zur Mitwirkung bei der Vermeidung, Verminderung und Verwertung zu motivieren. Dazu sind Kommunikations- und Öffentlichkeitsarbeitsstrategien sowohl von den staatlichen Akteuren als auch den Entsorgungsträgern zu entwickeln und umzusetzen. Es sind frühzeitig Konzepte und Strategien zu entwickeln, die eng mit den konkreten Umsetzungsschritten abgestimmt werden müssen. Die Maßnahmen können z.B. umfassen:

- Öffentlichkeitsarbeit, Beratung und Information zur Abfallwirtschaft und Umweltthemen
- Auszeichnungen, freiwillige Vereinbarungen und andere Instrumente, die die Mitwirkung der Betreiber von Anlagen verbessern
- Benchmarking und Veröffentlichung guter Praxisbeispiele
- Beteiligung der Öffentlichkeit und der betroffenen Akteure bei der Erstellung von Plänen und der Zulassung von Anlagen auf der Grundlage klarer Verfahrensregeln

## 8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

### 8.1 Untersuchungsleitende Fragestellungen

Die Entwicklung fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme bietet große Potentiale, um zum Erreichen grundlegender entwicklungspolitischer Ziele beizutragen und Fortschritte in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht zu erzielen. Die Analyse der Ist-Situation in Kap. 2.5 zeigt jedoch, dass im Unterschied zu anderen Sektoren der öffentlichen Daseinsvorsorge, insbesondere etwa der Energie- oder Wasserversorgung oder des Straßenbaus, die Abfallwirtschaft in den meisten EL über keine etablierten Strukturen verfügt. Ihr mangelt es an gesellschaftlicher und politischer Anerkennung und Wahrnehmung als wichtiges umweltpolitisches Handlungsfeld. Aus Sicht der Entscheidungsträger auf staatlicher Ebene ist Abfallwirtschaft eine vermeintlich rein kommunale Aufgabe. Die Maßnahmen auf staatlicher Ebene beschränken sich daher meist auf die Verabschiedung von rechtlichen Regelungen und das Delegieren von Zuständigkeiten und Aufgaben an die Kommunen. Die Potentiale und Herausforderungen der Abfallwirtschaft und die sich daraus ergebenden Aufgaben auf staatlicher Ebene sind den Entscheidungsträgern meist nicht bewusst. Die Kommunen wiederum sind nicht nur mit den operativen Aufgaben überfordert, sie haben auch weder das Mandat noch die Möglichkeiten zum Aufbau der sektoralen Rahmenbedingungen. Diese an das ‚Henne-und-Ei-Problem‘ erinnernde Situation behindert die sektorale Entwicklung in vielen Ländern. Zugleich sind die Herausforderungen so vielfältig, dass die Probleme der Abfallwirtschaft das Stigma der Unlösbarkeit haben und daher ein wenig interessantes Politikfeld darstellen.

- **Welche Rahmenbedingungen sind erforderlich und wie könnten sie geschaffen werden?**

Für das Durchbrechen dieses Dilemmas müssen die Rahmenbedingungen in einem holistischen Ansatz mit dem Ziel entwickelt werden, den Sektor gesamthaft aufzubauen. Die Realisierung von Entsorgungsanlagen oder der Aufbau von Institutionen oder Trägern allein ist nicht zielführend. Es gilt, die sog. ‚enabling environment‘ zu entwickeln, damit technologische Kompetenz aufgebaut werden kann. Die bisherigen Ansätze der EZ zeigen, „...dass der Transfer von Technologie allein einem Land nicht zum technischen Fortschritt verhilft, sondern dass die innovationsfähigen Voraussetzungen, die mit ‚technologischer Kompetenz‘ bezeichnet werden, gestärkt werden müssen. Zu diesen Voraussetzungen gehören technologiefreundliche politische Rahmenbedingungen, innovative Unternehmen, technologieorientierte Institutionen und Bildungseinrichtungen. Nicht die Stärkung eines dieser Elemente, sondern nur die Stärkung des gesamten Systems führt langfristig zum Aufbau technologischer Kompetenz in den Entwicklungsländern. Die technologische Kompetenz besteht darin, das Technologieangebot zu überblicken, zu bewerten, anzupassen und schließlich selbst weiterzuentwickeln“ [BMZ 2002, S. 63].

Der in dieser Arbeit entwickelte sektorale Ansatz greift diesen Grundgedanken auf, konkretisiert und operationalisiert ihn für den Sektor ‚Abfallwirtschaft‘. Aus eigener Kraft wird nach den bisherigen Erfahrungen kein EL, ggf. mit Ausnahme der großen, leistungsfähigen Länder wie China oder Brasilien, in der Lage sein, den Abfallsektor nachhaltig aufzubauen. Wenn die Potentiale, die die Abfallwirtschaft für den Ressourcen- und insbesondere für den Klimaschutz bietet, genutzt werden sollen, müssen die Geberländer bereit sein, die EL umfassend zu unterstützen und dabei den gleichzeitigen Aufbau zumindest der zentralen Elemente des Sektors in einem koordinierten Ansatz auf der Grundlage einer Gesamtstrategie anstreben. Der in dieser Arbeit entwickelte sektorale Ansatz liefert einen Gesamtüberblick über die zentralen Handlungsfelder und strukturiert diese inhaltlich und zeitlich. Er kann damit als Grundlage für die zu treffenden Vereinbarungen zwischen Geber- und Nehmerland dienen.

- **Ist ein Überspringen von Entwicklungsstufen in der Abfallwirtschaft und die Einführung fortschrittlicher Verfahren und Strategien in EL/SL/TL möglich und sinnvoll?**

Die Frage, ob und inwieweit ein Überspringen von technologischen Entwicklungsstufen in der

Abfallwirtschaft und die Einführung fortschrittlicher Verfahren und Strategien in EL/SL/TL möglich ist, erscheint zunächst zweitrangig. Die Betrachtung von Strategien und Verfahren der Abfallwirtschaft zeigt, dass auch AWK, die auf weniger hochentwickelten Technologien basieren, ganz erhebliche Beiträge zum Ressourcen- und Klimaschutz leisten. Insbesondere solche Konzepte, die eine möglichst differenzierte separate Erfassung von Abfällen an der Quelle und Sortierung unter Anwendung einfacher Verfahrenskonfigurationen beinhalten, sind unter den für EL besonders relevanten Kriterien am besten zu bewerten. Sie haben zudem geringere Kosten und erzielen hohe Kostendeckungsbeiträge aus der stofflichen und energetischen Verwertung der Abfälle. Insofern ist diese untersuchungsleitende Frage weniger mit Blick auf die einzusetzenden Technologien zu beantworten. Auch die Implementierung geordneter Deponien stellt für EL/SL/TL einen enormen technologischen Sprung dar. Dieses Potential kann genauso gut genutzt werden für die Implementierung von stärker am Ressourcen- und Klimaschutz ausgerichteten Strategien. Die Frage ist daher v.a. mit Blick auf die organisatorischen und rahmensetzenden Aspekte zu diskutieren: Wenn es gelingt, in diesen Handlungsfeldern Entwicklungsstufen zu überspringen und ein EL bereit ist, die nationale Kraftanstrengung des Aufbaus des Abfallwirtschaftssektors gesamthaft anzunehmen, erscheinen rasche oder zumindest schnellere Fortschritte als bei den klassischen EZ-Ansätzen auch in technologischer Hinsicht möglich. Sobald eine ‚kritische Masse‘ an Akteuren in einem Land erreicht ist und diese das Vertrauen in den Willen zum nachhaltigen Aufbau des Sektors haben können, entwickeln diese eine Eigendynamik und die Fähigkeiten zur technologischen Weiterentwicklung der Abfallwirtschaftssysteme ihres Landes.

- **Welche Kostendeckungsbeiträge können Recycling, energetische Nutzung und Kohlenstoffmärkte resp. Vergütungen der IL für Treibhausgasminderungsmaßnahmen der EL leisten? Welche finanziellen Eigenbeiträge der EL/SL/TL sind leist- und zumutbar? Welche Unterstützung müsste die internationale Gebergemeinschaft leisten?**

Die Kostenbetrachtungen zeigen, dass die stoffliche und die energetische Verwertung jeweils etwa 5% - 20%, in der Summe bis zu 30% der Gesamtkosten des AWK decken können, abhängig von der Abfallzusammensetzung und dem Erlösszenario. Demgegenüber könnten die potentiellen Vergütungen für die THG-Minderungsleistungen der Abfallwirtschaft einen Kostendeckungsbeitrag von etwa 30% – fast 50% leisten. Damit wird die Gewährung von Vergütungen für die Klimaschutzleistungen der Abfallwirtschaft zur entscheidenden Frage für die Sicherstellung der finanziellen Nachhaltigkeit fortschrittlicher AWK in EL. Sofern die entwickelten Länder ihre in der Klimarahmenkonvention, im Kyoto-Protokoll und in den internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz eingegangenen Verpflichtungen tatsächlich einlösen, bestehen gute Voraussetzungen für den Aufbau von fortschrittlichen Abfallwirtschaftssystemen in EL. Die Kosten und die Finanzierung wären zumindest für Länder mit einem BIP ab etwa EUR 2.000 pro Einwohner und Jahr kein entscheidendes Hindernis, sofern ein Eigenbeitrag in Höhe von 0,3 – 0,5% des nationalen Brutto-Inland-Produkts zur Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft als zumutbar unterstellt werden kann. Ohne dauerhaft gesicherte laufende Einnahmen könnten zumindest Länder mit einem BIP von weniger als etwa EUR 6.000 pro Einwohner und Jahr die laufenden Kosten fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme nicht decken.

Die Sicherstellung der Vergütung der THG-Minderungsleistungen der EL setzt entweder eine ausreichende Nachfrage der Kohlenstoffmärkte nach Emissionszertifikaten oder einen funktionierenden anderen Mechanismus des Mitteltransfers von den IL zu den EL voraus. Anderenfalls müsste die internationale Gebergemeinschaft dauerhaft Unterstützungsleistungen gewähren.

Dabei wäre es in hohem Maße wünschenswert, dass auch die durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen induzierten THG-Minderungswirkungen in anderen Wirtschaftsbereichen, v.a. der durch Recycling bewirkten THG-Minderungen, der Abfallwirtschaft zugutekommen. Diese tragen – je nach Abfallzusammensetzung und AWK – mit etwa 10% - 20% zu den insgesamt erzielten THG-Minderungen bei.

- **Wie können Strategien und Instrumente der EZ weiterentwickelt werden? Welche Rolle können / sollten andere Institutionen übernehmen?**

Die Umsetzung des sektoralen Ansatzes ist eine äußerst anspruchsvolle Herausforderung und stellt einen langwierigen Prozess dar, für den die bisherigen Ansätze der EZ nicht ausreichen. Die Geber müssen bereit sein, den EL/SL/TL deutlich langfristige und breitere Unterstützung zuzusagen, die erheblich über die bisher üblichen Projektlaufzeiten und EZ-Maßnahmen hinausgeht. Zugleich müssen sich die Nehmerländer verpflichten, das vereinbarte Programm zur Implementierung umzusetzen und die zumutbaren Eigenbeiträge zu leisten.

Voraussetzung für die Gewährung einer solch breiten Unterstützung, die nichts weniger als den Aufbau eines ganzen Sektors zum Ziel hat, sollte sein, dass das jeweilige EL/SL/TL in einer rechtlich verbindlichen Willenserklärung der Regierung seine Bereitschaft bekundet, Abfallwirtschaft als eigenständiges Politikfeld anzuerkennen, den Sektor aufzubauen und dafür auch - im zumutbaren Maße - eigene Ressourcen einsetzen zu wollen. Welcher Beitrag – gemessen als Anteil des nationalen BIP – als zumutbar anzusehen ist, sollte im Dialog zwischen Geber- und Nehmerland vereinbart werden. Das jeweilige EL muss sich bereit erklären, eine Strategie zum Aufbau des Sektors zu entwickeln, ein Programm zu erstellen, den Sektor zu regulieren, Rahmenplanungen zu erarbeiten, Finanzinstrumente zu entwickeln und einzusetzen, und technologische Kompetenz aufzubauen. Dazu muss es bereit sein, Fachinstitutionen aufzubauen, Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten zu schaffen und Forschung und Entwicklung im Sektor zu fördern. Es muss bereit sein, relevante Akteure einschließlich des informellen Sektors und die Zivilgesellschaft angemessen zu beteiligen und die Öffentlichkeit zu informieren.

Der in dieser Arbeit entwickelte sektorale Ansatz definiert Meilensteine als Zwischenziele, an denen der Fortschritt beim Aufbau des Sektors gemessen werden kann. Diese markieren zugleich potentielle Sollbruchstellen für den Fall, dass einer der Partner den eingegangenen Verpflichtungen nicht (mehr) nachkommt.

Ein sektoraler Ansatz stellt auch an die EZ-Organisation des Geberlandes hohe Herausforderungen. Er erfordert ressortübergreifende Abstimmung und koordiniertes Agieren, was unzweifelhaft eine äußerst ambitionierte Aufgabenstellung darstellt. Er erfordert das Einbinden und Koordinieren zahlreicher Akteure in der EZ, die bislang meist isoliert nebeneinander ohne strategische Grundlage agieren. Die in dieser Arbeit entwickelte Arbeitshilfe soll einen Beitrag zur Überwindung dieser Situation leisten. Sie liefert Handlungsorientierung und Verständnis für die Abhängigkeiten der verschiedenen Beiträge.

## **8.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf**

Im Rahmen dieser Arbeit mussten Annahmen und Vereinfachungen getroffen werden, für die es bislang keine wissenschaftlich abgesicherten Grundlagen gibt. Sie basieren zwar auf Praxiserfahrungen und daraus abgeleiteten plausiblen Einschätzungen, ihnen fehlt jedoch die wissenschaftliche Fundierung. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht nach den im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen in folgenden Fragestellungen:

- **Entwicklung von angepassten Getrennterfassungssystemen für EL**

Die Betrachtung der unterschiedlichen AWK zeigt, dass eine möglichst differenzierte Erfassung von Wertstoffen und Abfällen an der Quelle den entscheidenden Schlüssel für die Implementierung einer an der Ressourcenschonung und dem Klimaschutz ausgerichteten Abfallwirtschaft darstellt. Die in den IL entwickelten Erfassungssysteme sind jedoch auf die EL nicht übertragbar. Es gilt daher, Erfassungssysteme zu entwickeln, die den Rahmenbedingungen und Zielen in EL besser gerecht werden. Dazu wurden in dieser Arbeit erste Überlegungen angestellt und theoretische Berechnungen vorgenommen. Für die Konkretisierung und Weiterentwicklung sollten wissenschaftlich begleitete Modellprojekte durchgeführt werden. Ziel der Projekte sollte es sein, die erforderlichen Komponenten der Systeme zu entwickeln, die erreichbaren Erfassungsquoten und die Einflussparameter zu ermitteln, die Organisation zu optimieren, die erforderlichen Schritte zum Aufbau der Systeme zu bestimmen, Schulungs-

materialien für Abfallsammler, Verwaltungsmitarbeiter und Entscheidungsträger zu entwickeln sowie Leistungs- und Kostenparameter und deren Einflussfaktoren zu ermitteln. Durch den Aufbau von beschäftigungsintensiven Sammel- und Recyclingsystemen können abfallwirtschaftliche, ressourcen- und klimapolitische sowie soziale Ziele sehr gut in Einklang gebracht werden.

- **Weiterentwicklung des Kostensimulationsmodells**

Die Kosten der AWK werden in nennenswertem Maße von den erreichbaren Getrennterfassungs- und Sortierquoten beeinflusst. Dabei sind weniger die erzielbaren Erlöse von Bedeutung, sondern mehr die Auslastung der Anlagen zur Behandlung und Entsorgung der Restabfälle, da diese i.d.R. die kostenintensiven Komponenten des Entsorgungssystems darstellen. Für die genauere Bestimmung der Auswirkungen unterschiedlicher Wiederverwertungsquoten auf die Entsorgungskosten sollte das hier verwendete Kostensimulationstool, das einheitliche spezifische Kosten verwendet, weiterentwickelt werden. Dazu sind für jeden Anlagentyp Kostenkurven in Abhängigkeit des Anlagendurchsatzes und für verschiedene Niveaus des BIP resp. der Lohnkosten zu entwickeln. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Bestimmung derjenigen Kapazitätsbereiche, bei denen sog. ‚Sprungkosten‘ auftreten, die i.W. durch das Erfordernis der Realisierung einer weiteren Behandlungslinie entstehen. Mit diesem weiterentwickelten Kostensimulationstool wäre es möglich, für konkrete Situationen das AWK zu optimieren.

- **Erarbeitung von Grundlagendaten für die Treibhausgasbilanzierung**

Entscheidende Voraussetzung für die nachhaltige Finanzierung fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme in EL ist die gesicherte Vergütung der THG-Minderungsleistungen der Abfallwirtschaft. Die im CDM angewandten Verfahren sind hierfür nicht geeignet und praktikabel. Sie decken nicht nur die Stoffströme in einem Kreislaufwirtschaftssystem nicht umfassend ab, sie sind auch wegen ihres hohen Monitoringaufwands nicht handhabbar. Für die THG-Bilanzierung des Recycling sollten wissenschaftlich-statistisch abgesicherte Standardemissionsfaktoren entwickelt werden, um die Mengenströme als Messgröße für die THG-Wirkungen nutzen zu können. Die erforderliche regionale Differenzierung und die Differenzierung nach Produkten und deren Spezifizierungen<sup>194</sup> sind Gegenstand der durchzuführenden Untersuchungen. Die anzustrebende statistische Absicherung ist mit dem Exekutivrat des UNFCCC zu vereinbaren.

Die geeignetsten Möglichkeiten zur Nutzung der Kohlenstoffmärkte und Mechanismen der Klimaschutzfinanzierung bieten die sog. NAMA – Nationally Appropriate Mitigation Activities. Zur Vermeidung von Doppelzählungen ist es erforderlich, Regelungen zu entwickeln, die eine plausible Abgrenzung der Beiträge der an der Recyclingkette beteiligten Akteure und Zurechnung der erzielten THG-Minderungsleistungen zum Ziel haben.

- **Untersuchung des fraktionsspezifischen Abbaus des regenerativen Kohlenstoffs**

Die größten THG-Minderungspotentiale in der Abfallwirtschaft liegen in der Vermeidung der Methanbildung. Zugleich liegen hier die größten Unsicherheiten über das Abbauverhalten im Deponiekörper und bei den biologischen Verfahren. IPCC empfiehlt einen pauschalen Wert für den gesamten in den Deponiekörper eingebrachten regenerativen Kohlenstoff von 50 – 60% anzusetzen. Für die Optimierung von AWK unter Klimaschutzaspekten ist jedoch die Kenntnis des fraktionsspezifischen Abbauverhaltens bzw. die Kohlenstoffbilanzierung erforderlich. Dies ist v.a. im Hinblick auf die Verwertung von Bioabfällen von Bedeutung. Es kann angenommen werden, dass diese sich deutlich schneller und vollständiger abbauen und damit die Bioabfallverwertung einen größeren und schnelleren Beitrag zur THG-Minderung leistet, als es die Berechnungen gemäß der Methodologien von IPCC / UNFCCC-CDM ergeben. Hierfür fehlt jedoch bislang die wissenschaftliche Fundierung. Auch wenn dies methodisch sehr schwierig und aufwändig sein dürfte, wird empfohlen, hierfür geeignete Ansätze zu entwickeln.

---

194 bei der Altpapierverwertung z.B. Herstellung von Wellpappe, Kartonagen, Druckpapier etc.

## Literaturverzeichnis

- [Abdeljaouad et al. 2006] Abdeljaouad, I., Ghariani, F., Pillet, G.: Stratégie de financement et de recouvrement des coûts de la gestion des déchets solides - RAPPORT FINAL, Gutachten für die Agence Nationale de Protection de l'Environnement, Tunis, Juli 2006 (unveröffentlicht)
- [Abdul-Rida 2008] Abdul-Rida, H.: Indikatoren für die Organisation der Abfallwirtschaft in arabischen Ländern - Beispiel Libanon, Dissertationsschrift, Berlin 2008
- [ADB 2007] Asian Development Bank, Institute for Global Environmental Strategies (Hrsg.): Towards Resource-Efficient Economies in Asia and the Pacific - Highlights, Manila/ Philippines und Kanagawa/Japan 2007
- [ADB o. J.] Asian Development Bank; Projektarchiv zu 'Waste', <http://www.adb.org/projects/summaries.asp>
- [AECEN 2007] Asian Environmental Compliance and Enforcement Network: Principles and Practises for Improving Environmental Compliance and Enforcement in Asia, November 2006; <http://www.aecen.org/>
- [Al Sheik 2004] Al Sheik, K.: Regional Solid Waste Management Project, funded by the European Commission, managed by World Bank, METAP – Mediterranean Environmental Technical Assistance Programme, executed by GTZ, GWK and ERM: Final Country report Syria, Tunis 2004
- [Astrup et al. 2009] Astrup, T., Mollee, J., Fruergaard, T.: Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research 2009 27: S. 789 - 799.
- [AU/NEPAD 2009] African Union / New Partnership for Africa's Development: The AU/NEPAD Capacity Development Strategic Framework; NEPAD Secretariat 2009; [www.oecd.org/dac/governance](http://www.oecd.org/dac/governance)
- [BA o.J.] Bundesagentur für Arbeit: Fachkraft Kreislauf- und Abfallwirtschaft, Berufsinformationen, <http://berufenet.arbeitsagentur.de/berufe>; Zugriff am 26.07.2010
- [Bardt 2006] Bardt, Hubertus: Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen; in: IW-Trends, Vierteljahreszeitschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung, Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Heft 3/2006, S. 45 - 57
- [Barlaz 1998] Barlaz, M.A.: Carbon storage during biodegradation of municipal solid waste components in laboratory scale landfills; Global Biogeochemical Cycles 12 (2), S. 373 – 380, zit. In: Solid Waste Management and Greenhouse Gases – a Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3<sup>rd</sup> edition, US EPA, September 2006; <http://www.epa.gov/climatechange/wyacd/waste/downloads/fullreport.pdf>
- [Baron et al. 2009] Richard Baron, Barbara Buchner, Jane Ellis: Sectoral Approaches and the Carbon Market, Draft for review, Agenda document 3, OECD/IEA Project for the Annex I Expert Group on the UNFCCC, Paris 2009
- [Bartone 2000] Bartone, C.R. "Strategies for Improving Municipal Solid Waste Management: Lessons from World Bank Lending." Presentation at International Workshop for Planning of Sustainable and Integrated Solid Waste Management, Manila, 18-22, 2000 <http://info.worldbank.org/etools/docs/library/40044/M8S5CarlBartoneEN.pdf>
- [Bartone et al. 1994] Bartone, C., Bernstein, J., Leitmann, J., and Eigen, J.: Toward Environmental Strategies for Cities – Policy Considerations for Urban Environmental Management in Developing Countries; Urban Management Programme Policy Paper Number 18, World Bank, Washington, DC, June 1994
- [Bartone et al. 1990] Bartone, Carl, Bernstein, Janis und Wright, Frederick: Investments in Solid Waste Management - Opportunities for Environmental Improvement; The World bank, Working Papers Urban Development 405, Washington 1990
- [Basel Convention 2008] Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal: Ninth Meeting of the Conference of the Parties, Bali, Indonesia, 23/6/2008 – 27/6/2008, <http://www.basel.int/meetings/frsetmain.php>

- [BayLfU 2009] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Restmüllzusammensetzung, Einflussfaktoren, Abhängigkeit von lokalen abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (EFRE-Ziel-2-Gebiete in Bayern); Endbericht zum Forschungsvorhaben UmweltSpezial, Augsburg Stand November 2008, hrsg. 2009
- [BayLfU 2003] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen; Abschlussbericht, Augsburg 2003
- [Beede/Bloom 1995] Beede, David N., and David E. Bloom. "The Economics of Municipal Solid Waste." The World Bank Research Observer, Vol. 10, No. 2, August 1995: 113-150.
- [Belherazem et al. 2003]. Regional Solid Waste Management Project , funded by the European Commission, managed by World Bank, METAP – Mediterranean Environmental Technical Assistance Programme, executed by GTZ, GKW and ERM, Tunis 2003
- [Belherazem et al. 2004]. Projet Régional des gestion des Déchets Solides dans les Pays du Mashreq et Maghreb, financé par la Commission Européenne, dirigé par la Bank Mondiale, Programme D'Assistance Technique Environnementale en Méditerranée, élaboré par le Consortium GTZ, ERM GKW, Rapport Final du Pays – Tunisie, Maroc,
- [Bernstein 2004] Bernstein, J.: Social Assessment and Public Participation in Municipal Solid Waste management; Worldbank, Urban Environment Thematic Group, Washington 2004
- [BGR et al. 2007] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Statistisches Bundesamt, Umweltbundesamt: Umweltdaten Deutschland Nachhaltig wirtschaften – Natürliche Ressourcen und Umwelt schonen; Ausgabe 2007, Berlin 2007
- [BIBB 2005] Nationale Agentur Bildung für Europa beim Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.): Lern- und Arbeitsaufgaben für die Kreislauf- und Abfallwirtschaft. Eine nachhaltige FacharbeiterInnenbildung im Arbeitsprozess. Handbuch für Ausbilder- und LehrerInnen; European RecyOccupation Profile Projekt Impuls, Nr. 21, Flensburg, Oktober 2005; [http://www.na-bibb.de/uploads/publikationen/leonardo\\_da\\_vinci/impuls\\_21.pdf](http://www.na-bibb.de/uploads/publikationen/leonardo_da_vinci/impuls_21.pdf)
- [Biebeler et al. 2008] Biebeler, H., Mahammadzadeh, M., Selke, J.-W.: Globaler Wandel aus Sicht der Wirtschaft - Chancen und Risiken, Forschungsbedarf und Innovationshemmnisse; Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg.), Köln 2008
- [Bifa 2009a] Krist, H., Gerstmayr, G., Hertel, M., Müller, M., Ballon, A., Pitschke, T., Rommel, W., Santen, H., Niemann, M., Koch, T., Borst, D.: Nutzung des CDM im Bereich der Abfallwirtschaft, Gutachten im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Vorläufiger Endberichtsentwurf, Augsburg Januar 2009
- [Bifa et al. 2009b] Bifa Umweltinstitut, Perspectives, Global Environment Technologies, Koch, T.: Vorläufiger Leitfaden ‚Nutzung des CDM im Bereich der Abfallwirtschaft‘, erstellt im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Augsburg März 2009
- [Bilitewski 2008] Bilitewski, B.: Die Rolle der Hochschulen im Rahmen der Verbesserung der abfalltechnischen Situation in Entwicklungs- und Schwellenländern, in: 11. Dialog Abfallwirtschaft MV, Tagungsband, Rostock 2008
- [Bilitewski et al. 2009] Bilitewski, B., Wagner, J., Reichenbach, J.: Best Practice Municipal Waste Management, CD-Rom, Umweltbundesamt (Hrsg.) 2009
- [Bilitewski et al. 2010] Bilitewski, B.; Hoffmann, G.; Wunsch, C.; Brunn, L.; Schnapke, A.; Schingnitz, D.; Günther, M.; Baumann, J.; Wagner, J.: Nutzung der Potentiale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung; im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPlan 3707 33 303; Dessau 2010
- [Bleischwitz/ Bringezu 2007] Bleischwitz, R., Bringezu, S.: Global Resource Management, Conflict Potential and Characteristics of a Global Governance regime, Stiftung Frieden und Entwicklung, Policy Paper 27, Bonn 2007, <http://www.sef-bonn.org>
- [Blings/Spöttl 2001] Blings, J., Spöttl, G.: Aufgabenwandel im Recyclingsektor – Konsequenzen für die Qualifizierung; in: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis BWP 1/2001, S. 40 – 43 <http://www.bibb.eu/veroeffentlichungen/en/publication/show/id/565>
- [Blings/Spöttl 2002] Blings, J., Spöttl, G.: Ein Europäisches Berufsbild für die Kreislaufwirtschaft; Dokumentation 4. BIBB-Fachkongress 2002 Berufsbildung für eine globale Gesellschaft Perspektiven im 21. Jahrhundert

- [http://www.bibb.de/redaktion/fachkongress2002/cd-rom/PDF/02\\_4\\_01.pdf](http://www.bibb.de/redaktion/fachkongress2002/cd-rom/PDF/02_4_01.pdf)
- [Blings/Spöttl 2003] Blings, J., Spöttl, G.: Eco-Recycler - Ein europäisches Kernberufsprofil für die Kreislauf- und Abfallwirtschaft / A European Core Occupational Profile for the Closed Loop and Waste Economy; Flensburg 2003;  
[http://www.na-bibb.de/uploads/publikationen\\_leonardo\\_da\\_vinci/impuls\\_09.pdf](http://www.na-bibb.de/uploads/publikationen_leonardo_da_vinci/impuls_09.pdf)
- [BMU 2001] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Klimakonferenz von Marrakesch: Kyoto-Protokoll kann in Kraft treten - Wichtige Entscheidungen nach 10 Jahren Klimaverhandlungen – Bericht von der COP 7, Bonn 2001
- [BMU 2004] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – Teil Siedlungsabfälle; Umwelt Nr. 10/2004
- [BMU 2009a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Hintergrundinformationen Internationale Klimaverhandlungen unter dem Dach der Klimarahmenkonvention (UNFCCC), März 2009, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund\\_klimaverhandlungen\\_bonn\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_klimaverhandlungen_bonn_bf.pdf)
- [BMU 2009b] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Klimaschutz - Die größte umweltpolitische Herausforderung der Menschheit, Stand Mai 2009  
[http://www.bmu.de/klimaschutz/klimaschutz\\_im\\_ueberblick/doc/2896.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/klimaschutz_im_ueberblick/doc/2896.php)
- [BMU 2011] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Internationaler Klimaschutz für die Zeit nach 2012; Stand März 2011 [http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale\\_klimapolitik/klimaschutz\\_nach\\_2012/doc/45900.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/klimaschutz_nach_2012/doc/45900.php)
- [BMZ o.J.] Grundsätze und Ziele der Entwicklungszusammenarbeit – Internationale Ziele – Die Millenniumsziele – Herausforderungen für die Zukunft,  
<http://www.bmz.de/de/ziele/ziele/millenniumsziele/zielvorgaben/index.html>
- [BMZ 2012] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Positionspapier Ressource Abfall; Bonn März 2012
- [BMZ 2009] Wissen für Entwicklung: Hochschulbildung und Wissenschaft in der deutschen Entwicklungspolitik, Positionspapier des BMZ; BMZ SPEZIAL 161, Bonn Mai 2009,  
<http://www.bmz.de/de/service/infothek/fach/spezial/spezial161pdf.pdf>
- [BMZ 2008a] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Entwicklungszusammenarbeit im Bereich Siedlungshygiene und Abwassermanagement; BMZ Spezial 158, Bonn 2008
- [BMZ 2008b] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Auf dem Weg in die Eine Welt – Weißbuch zur Entwicklungspolitik, Bonn 2008
- [BMZ 2006] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Sektorkonzept Wasser, Bonn 2006
- [BMZ 2005] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Mehr Wirkung erzielen: Die Ausrichtung der deutschen Entwicklungszusammenarbeit auf die Millenniums-Entwicklungsziele - Die Umsetzung der Paris Declaration on Aid Effectiveness; Bonn 2005
- [BMZ 2002] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Von Rio nach Johannesburg, Ausgewählte Handlungsfelder der deutschen Entwicklungspolitik seit der Konferenz von Rio de Janeiro (UNCED) 1992 – eine Bestandsaufnahme, Bonn 2002
- [BMZ 1996] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Sektorkonzept Abfallwirtschaft, Bonn 1996
- [Bode et al. 2008] Bode, S., Dach, J., Warnstedt, A., Müller, G.: Biomasse aus Bioabfall : Eine Alternative zur Vergärung; Müll und Abfall 9/2008
- [Bogner et al. 2008] Bogner J, Pipatti R, Hashimoto S, Diaz C, Mareckova K, Diaz L.: Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: Conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) fourth assessment report. Waste Management and Research, 26, S. 11 - 32.

- [BPB o.J.] Bundeszentrale für Politische Bildung: Lexikon 'Entwicklungsländer', Zugriff 27.07.2009, <http://www.bpb.de/wissen>
- [Branigian 2009] Branigian, T.: From east to west, a chain collapses; The Guardian: 9 January 2009
- [Brunner 2004] Brunner, P.: Von der Abfallwirtschaft zum Ressourcenmanagement, Synthesebericht der vier Projekte zur Ausrichtung der österreichischen Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten. Projekt ABASG II, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, April 2004
- [BR 2002] Die Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Bonn 2002
- [Busch et al. 2008] Busch, G., Burkhardt, M., Sieber, M., Konczalla, M.: Die zweistufige Vergärung biogener Abfälle; Müll und Abfall 2/2008, S. 68 - 73
- [CEHA 1995] Centre for Environment Health Activities: Solid Waste Management in some Countries of the Eastern Mediterranean Region, Special Studies SS-4 Amman, WHO and CEHA, 1995
- [Cherif 2005] Cherif, M.: Strukturen und Entwicklungspotentiale der Abfallwirtschaft in Tunesien, Dissertationsschrift, Aachen 2005
- [Coad 2006] Coad, A.: Solid Waste, Health and the Millennium Development Goals - A Report of the CWG International Workshop Kolkata, India, 1 to 5 February 2006, CWG Collaborative Working Group on Solid Waste Management in Low- and Middle-income Countries (Hrsg.), St. Gallen/CH 2006
- [Coad 2005] Coad, A.: Private Sector Involvement in Solid waste Management; CWG Publication Series No. 2, St. Gallen/CH 2005
- [Cointreau 2003]: Cointreau, Sandra: Economic Instruments for Solid Waste Management, August 2003.
- [Cointreau/Coad 2000]: Cointreau-Levine, S., Coad, A. (2000) Guidance Pack Private Sector Participation in Municipal Solid Waste Services in Developing Countries; published by SKAT, St. Gallen/CH 2000
- [Cointreau 1994] Cointreau-Levine, S.: Private Sector Participation in Municipal Solid Waste Services in Developing Countries, Volume 1 – The Formal Sector, UMP Technical Paper No. 13, The World Bank, Washington 1994
- [Cuhls et al. 2011] Cuhls, C.; Mähl, B.; Clemens, J.: Treibhausgas-Emissionen aus Biogasanlagen; Umweltmagazin Januar / Februar 2011, S. 44 - 45
- [Cuhls et al. 2008] Cuhls, C.; Mähl, B.; Berkau, S.; Clemens, J. (2008): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen; im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 206 33 326, Abschlussbericht 2008
- [DAAD 2004] Deutscher Akademischer Austauschdienst: Fachbezogene Partnerschaften mit Hochschulen in Entwicklungsländern, Projekte 2000 bis 2007, [http://www.daad.de/de/download/entwicklung/hsp-kat\\_dt.pdf](http://www.daad.de/de/download/entwicklung/hsp-kat_dt.pdf)
- [Dechent 2006] Dechent, Jens: Zur Entwicklung eines Baukostenindex, Statistisches Bundesamt • Wirtschaft und Statistik 2/2006, Seite 172 - 181
- [Dehoust et al. 2010] Dehoust, G.; Schüler, D.; Giegrich, J.; Vogt, R.: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft - Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz; Umweltbundesamt (Hrsg.) Reihe Texte 6/2010, Dessau 2010, [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3907](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3907)
- [Dehoust et al. 2006] Dehoust, G., Buchert, M., Ferenz, F., Hermann A., Jenseit, W., Schulze, F. Giegrich, J., Fehrenbach, H., Vogt, R.: Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik, FKZ 90531411 Teilvorhaben „Ermittlung von relevanten Stoffen bzw. Materialien für eine stoffstromorientierte Ressourcen schonende Abfallwirtschaft, Darmstadt 2006
- [Dehoust et al. 2005] Dehoust, G., Wiegmann, K., Fritsche, U., Stahl, H., Jenseit, W., Herold, A., Cames, M., Gebhardt, P., Giegrich, J., Vogt, R.: Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale; Umweltbundesamt Forschungsbericht 205 33

- 314, bearbeitet von Öko-Institut e.V. und ifeu-Heidelberg GmbH; Berlin 2005
- [Delcroix 2011] Delcroix, P., Fa Lafarge, Persönliche Mitteilung vom 5. September 2011
- [Diaz et al. 1996] Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Golueke, C.G.: Solid Waste Management for Economically Developing Countries, International Solid Waste Association (ISWA), Kopenhagen 1996
- [Dilewski/Stretz 2003] Dilewski, G., Stretz, J.: Sektorvorhaben Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung - Endbericht; GTZ (Hrsg.) Eschborn 2003
- [Dorn 2009] Dorn, T.: Müllverbrennung in China; Vortrag auf dem Doktorandenkolloquium der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät, Universität Rostock, Rostock Juli 2009
- [Dorvil 2007] Dorvil, L.: Private Sector Participation in Integrated Sustainable Solid Waste Management in Low- and Middle-Income Countries, Dissertation, St. Gallen / Schweiz 2007
- [DSW 2007] Deutsche Stiftung Weltbevölkerung; DSW Datenreport – Soziale und demographische Daten zur Weltbevölkerung; Hannover 2007, [http://www.weltbevoelkerung.de/pdf/dsw\\_datenreport\\_07.pdf](http://www.weltbevoelkerung.de/pdf/dsw_datenreport_07.pdf)
- [Drabinski 2009] Drabinski, S.: Hausmüllentsorgung in Kairo – ein Fallbeispiel, Müll und Abfall 2/2009, S. 58 - 64
- [EAWAG 2008] EAWAG Sandec: Global Waste Challenge, Situation in Developing Countries; 2008; <http://www.sandec.ch>
- [Economist 2006] More of Everything: Does the world have enough resources to meet the growing needs of the emerging economies? The Economist September 16<sup>th</sup> 2006, S. 20 - 22
- [EC 2012] European Commission : Climate Action, Newsroom : Questions and answers on the use of international credits in the third trading phase of the EU ETS; [http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news\\_2012011101\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news_2012011101_en.htm); Zugriff 11.04.2012
- [EC o.J.] European Commission: EU Waste Policy ; <http://www.europa.eu/scadplus>
- [EC 2011a] Europäische Kommission : Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze; Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; Brüssel, den 2.2.2011; KOM(2011) 25 endgültig; [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/communication\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/communication_de.pdf)
- [EC 2011b] European Commission: Scaling up international climate finance after 2012; Commission Staff Working Document SEC(2011) 487 final; Brussels, 08.04.2011, [http://ec.europa.eu/economy\\_finance/articles/financial\\_operations/pdf/sec\\_2011\\_487\\_final\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/economy_finance/articles/financial_operations/pdf/sec_2011_487_final_en.pdf)
- [EC 2009] European Commission / EuropeAid: Toolkit for Capacity Development, Final draft; März 2009; [www.capacity4dev.eu](http://www.capacity4dev.eu)
- [Ecotec 2001] Ecotec Research and Consulting in association with Institute of European Environmental Policy, London (IEEP London), Finnish Environment Institute (FEI) and experts from across the Candidate Countries: Administrative Capacity for Implementation and Enforcement of EU Environmental Policy in the 13 Candidate Countries; Brüssel 2001, [http://ec.europa.eu/environment/enlarg/administrativecapacity\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/enlarg/administrativecapacity_en.htm)
- [EEA 2010] European Environment Agency: Material Resources and Waste - The European environment | State and outlook 2010; Copenhagen 2010; [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)
- [EEA 2006] European Environmental Agency: Using the market for cost-effective environmental policy - Market-based instruments in Europe, EEA Report No 1/2006, [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2006\\_1](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_1)
- [Ehrig/Brinkmann 1998] Ehrig, H.J., Brinkmann, U.: Verbundvorhaben Deponiekörper - Zusammenfassender Abschlussbericht zum Arbeitsgebiet Siedlungsabfälle (Teilvorhaben 3 – 7); Wuppertal 1998
- [Elliesen 2007] Elliesen, T.: Verbranntes Geld - Wie das Kyoto-Protokoll sich selbst unterminiert, Zeitschrift für Entwicklung und Zusammenarbeit Heft 1/2007

- [Emcke 2007] Emcke, C.: Der Müll, die Stadt und das Leben, Zeit Magazin Leben, Hamburg 2007
- [EU 2009] European Union: Council Conclusions on EU position for the Copenhagen Climate Conference (7-18 December 2009) Luxembourg, 21 October 2009; [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/en/envir/110634.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/envir/110634.pdf)
- [EU 2008a] Handbook for Implementation of EU Environmental Legislation, hrsg. von Regional Environmental Center / Umweltbundesamt GmbH, Dezember 2008  
<http://ec.europa.eu/environment/enlarg/handbook/handbook.htm>
- [EU 2008b] Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) (Integrated Pollution Prevention and Control – "IPPC-Richtlinie");  
<http://eur-lex.europa.eu>
- [EU 2008c] Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien ('Abfallrahmenrichtlinie'), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 22.11.2008,  
<http://eur-lex.europa.eu>
- [EU 2005a] Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Weiterentwicklung der nachhaltigen Ressourcennutzung: Eine thematische Strategie für Abfallvermeidung und -recycling; Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; KOM (2005) 666, Brüssel, 21.12.2005; <http://europa.eu/scadplus/leg/de>
- [EU 2005b] Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen; Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; KOM (2005) 670, Brüssel, 21.12.2005  
<http://europa.eu/scadplus/leg/de>
- [EU 2002] Beschluss Nr. 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juli 2002 über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 10.9.2002;  
<http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/l28027.htm>
- [EU 2001] Recommendation of the European Parliament and of the Council of 4 April 2001 providing for minimum criteria for environmental inspections in the Member States (2001/331/EC); Official Journal of the European Communities 27.4.2001;  
<http://europa.eu.int/comm/environment/impel>
- [EU 1999] Der Rat der Europäischen Gemeinschaft: Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 16.7.1999
- [EUWID 2008a] EUWID Recycling und Entsorgung: Bleivergiftungen durch informelles Akkurecycling; Heft Re Nr. 29 v. 15.07.2008, S. 32
- [EUWID 2008b] EUWID Recycling und Entsorgung: Greenpeace untersucht Schrottplätze in Ghana; Heft Re Nr. 33 v. 12.08.2008, S. 25
- [EUWID 2008c] EUWID Recycling und Entsorgung: Firma Bringwert vergütet Haushalten Wertstoffe und holt diese zu Hause ab; Heft Re Nr. 34 v. 19.08.2008, S. 24
- [EUWID 2008e] EUWID Recycling und Entsorgung: Top Ten der größten ökologischen Sünden; Heft Re Nr. 45 v. 04.11.2008, S. 32.
- [Faircloth 2004] Faircloth, P.: Finance and Cost Recovery Guidelines and Aids to Implementation; Regional Guidelines Volume 3; Regional Solid waste management Project, funded by the European Commission, managed by World Bank, METAP – Mediterranean Environmental Technical Assistance Programme, executed by GTZ, GWK, ERM, Tunis 2004
- [Faulstich 2008] Faulstich, M.: Keynote-Rede zur 2. Konferenz Exportinitiative Recycling- und Effizienztechnik, Berlin, 29. Oktober 2008, in: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Dokumentation Dezember 2008
- [Fehrenbach et al. 2007a] Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Schmidt, R.: Ökobilanz thermischer Entsorgungssysteme für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Düs-

seldorf, September 2007

- [Fehrenbach et al. 2007b] Fehrenbach, H., Giegrich, J., Möhler, S.: Behandlungsalternativen für klimarelevante Stoffströme, Umweltbundesamt (Hrsg.) Forschungsbericht 205 41 300, UBA Texte 39/07
- [Fehringner et al. 1997] Fehringner, R.; Rechberger, H.; Pesonen, H.L.; Brunner, P.: Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA), Endbericht, Wien November 1997
- [Forth 2011] Forth, T.: Den CDM nach 2012 nutzen! Zerfall oder pragmatische Fortführung – Perspektiven für die Kyoto-Mechanismen; JIKO-Info 1/2011: Wuppertal 2011
- [Fricke et al. 2009] Fricke, K., Kölsch, F., Pfaff-Simoneit, W.: Verbessertes Klimaschutz bei der Abfallentsorgung in Schwellen- und Entwicklungsländern durch Anpassung des Emissionshandels; Positionspapier des ANS/DWA-Fachausschusses 'Internationale Abfallwirtschaft', Müll und Abfall 3/2009, S. 104 - 105
- [Fricke et al. 2008] Fricke, K., Bahr, T., Thiel, T., Kugelstadt, O.: Ressourceneffizientes Handeln in der Abfallwirtschaft, in: Fricke, Bergs, Kosak, Wallmann: Energie aus Abfall – Biomasse- und Ersatzbrennstoffgewinnung, 69. Symposium des ANS, Göttingen 2008
- [Friege/Bilitewski 2003] Friege, H.; Bilitewski, B.: Abfallwirtschaft: Neue Sichtweisen und Techniken, UWSF-Z Umweltchem Ökotox 15 (4) 215-223, 2003
- [Furedy 2002] Furedy, C.: Organic Waste Reuse In Developing Countries; 6th World Congress on Integrated Resources Management; Geneva 2002
- [Furedy, 1993] Furedy, C.: Working with the Waste Pickers, Asian Approaches to Urban Solid Waste Management, *Alternatives*, Vol. 19, No. 2, 1993.
- [Furedy 1991] Furedy, C.: Women and Wastes in Poor Communities." In: Infrastructure for Low-Income Communities. Proceedings of WEDC Conference, pp. 25-28. Edited by M. Smith; Loughborough University Press, Loughborough 1991.
- [Gentil et al 2009] Gentil, E., Christensen, T.H., Aoustin, E.: Greenhouse gas accounting and waste management. *Waste Management & Research* 2009: 27: 696-706.
- [Gerstmayr et al. 2012a] Gerstmayr, B.; Peche, R.; Seitz, M.: Anerkennung des Recyclingnutzens im internationalen Klimaschutz; Expertenworkshop des Bifa, München 6.3.2012
- [Gerstmayr et al. 2012a] Gerstmayr, B.; Seitz, M., Borst, D.: Abfall, Klimaschutz & NAMA; Abschlussbericht im Auftrag der GIZ, Bifa, Augsburg 2011
- [Gerstmayr/Koch 2011b] Gerstmayr, B., Koch, T.: Potentials and barriers to recycling in the current CDM framework; Presentation at the UNFCCC Practitioners Workshop on CDM Standards, Bonn 8 - 10 June 2011; [http://cdm.unfccc.int/methodologies/Workshops/cdm\\_standards/s4\\_bifa.pdf](http://cdm.unfccc.int/methodologies/Workshops/cdm_standards/s4_bifa.pdf)
- [Giegrich/Vogt 2009] Giegrich, J., Vogt, R.: Strategy Proposals for Optimising German Development Cooperation Contributions to GHG Mitigation in the Waste Management Sector, Studie im Auftrag der GTZ, IFEU Heidelberg 2009
- [Girus/Comete 2005] Girus, Comet engineering: Etude d'optimisation de la collecte et du transport des déchets ménagers et assimilés dans les communes Tunisiennes, Studie im Auftrag der GTZ für das Ministère de l'Environnement et Développement Durable (unveröffentlicht), Lyon/Tunis April 2005
- [GIZ 2011] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit: Recovering Resources, creating Opportunities – Integrating the informal Sector into Solid Waste Management; Eschborn März 2011
- [GIZ/CWG 2011] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit / Collaborative Working Group on Solid Waste Management in Low- and Middle-Income Countries: The Economics of the informal Sector in Solid Waste Management; Eschborn April 2011
- [Gonzenbach/Coad 2007] Gonzenbach, B., Coad, A.: Solid waste management and the Millennium Development Goals, CWG Publication Series No. 3, St. Gallen/Switzerland Juni 2007

- [Gopalan/Bartone 1997] Gopalan, P., Bartone, C.: Assessment of Investments in Solid Waste Management: Strategies for Urban Environmental Improvement." World Bank, Washington 1997
- [Gore 2006] Gore, A.: Eine unbequeme Wahrheit; Riemann Verlag, München 2006
- [Grüschow 2010] Grüschow, P.: Persönliche Mitteilung im Zusammenhang mit einem Förderantrag für eine Kompostierungsanlage, Tunis 2010
- [GTZ 2009] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit: Projektinformationen auf der Webseite 'Abfall', <http://www.gtz.de/de/themen/umwelt-infrastruktur/878.htm>, Zugriff 02.08.2009
- [GTZ 2003] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit: Fachliche Leitlinien Abfallwirtschaft; Internes Arbeitspapier, Eschborn 2003
- [GTZ/Holcim 2006] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Holcim Group Support Ltd, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW: Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production - GTZ-Holcim Partnership, Eschborn 2006
- [GTZ / KfW 2005] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/ KfW Entwicklungsbank 2006: Public Private Partnerships (PPP) in der EZ Nr. 3 – Privatsektorbeteiligung in der Abfallwirtschaft, Frankfurt 2005
- [Hädrich 2012] Hädrich, G.: Efficiency analysis of landfill concepts for low and middle income countries; Dissertationsschrift, Weimar 2012
- [Hädrich et al. 2008] Hädrich, G., Kraft, E., Bidlingmaier, W., Alamgit, M.: Ressourcen begrenzt – Bewertung gesucht: Fallbeispiel Khulna/Bangladesch; Müll und Abfall 7/2008, S. 340 – 344
- [Hagelüken/Schluep 2009] Hagelüken, C., Schluep, M. : Recycling strategischer Metalle aus Elektronikschrott vor dem Hintergrund globaler Materialströme ; Vortrag Tagung 'Re-Source 2009 ; Berlin 2009
- [Helftewes et al. 2008] Helftewes, M., Flamme, S., Nelles, M.: Die Entwicklung europäischer Abfallexporte in den asiatischen Raum, Tagungsband 11. Dialog Abfallwirtschaft MV, Rostock 2008
- [Hiebel/Pflaum 2009] Hiebel, H., Pflaum, H.: Recycling für den Klimaschutz – CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verwertung von Sekundärrohstoffen im Vergleich zur Nutzung von Primärrohstoffen; in: Müll und Abfall 1/2009, S. 207 – 212, S. 4 - 7
- [Hogg 2002] Hogg, D.: Costs for Municipal Waste Management in the EU; Final Report to Directorate General Environment, European Commission; Eunomia Research & Consulting 2002
- [Hoorweg/Bhada-Tata 2012] Hoorweg, D., Bhada-Tata, P. What a Waste - a Global Review of Solid Waste Management, World Bank, Urban Development Series, No. 15, Washington 2012
- [Hoorweg et al. 1999] Hoorweg, D., Thomas, L., Otten, L.: Composting and its Applicability in Developing Countries; World Bank Working Paper Series 8, Washington 1999
- [Hoorweg/Thomas 1999] Hoorweg, D., Thomas, L.: What a waste: Solid waste management in Asia, International Bank for Reconstruction/World Bank, Washington 1999
- [Hunger et al 2005] Hunger, G., Spies, S., Wehenpohl, G.: Die andere Seite der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern; in: Müll und Abfall 4/2005, S. 207 - 212
- [IAD 2003] Inter-American Development Bank: The Environment Division Sustainable Development Department and The Inter-American Development Bank: Economic Instruments for Solid Waste Management: Global Review and Applications for Latin America and the Caribbean, August 2003
- [IETC 2004] International Environmental Technology Centre: Waste Management Planning – an environmentally sound Approach for sustainable Urban Waste management ; United Nations Environment Program (Hrsg.), No. 6/2004
- [IFEU 2005] Institut für Energie- und Umweltplanung: Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland, Teilbericht Siedlungsabfälle; UFO-Plan-Vorhaben, FKZ 203 92 309 des Umweltbundesamtes, Heidelberg, April 2005

- [IGES 2010] Institute for Global Environmental Strategies: Towards CDM reform. Report of the IGES CDM Capacity Building Kyoto General Meeting; [http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/2798/attach/towards\\_cdm\\_reform.pdf](http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/2798/attach/towards_cdm_reform.pdf)
- [ILO 2011] International Labour Organization: Background Note to Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. UNEP, 2011; [http://www.ilo.org/employment/Whatwedo/Publications/lang--en/WCMS\\_152065/index.htm](http://www.ilo.org/employment/Whatwedo/Publications/lang--en/WCMS_152065/index.htm)
- [IMPEL 1999] European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law: IMPEL Reference Book for Environmental Inspection; <http://europa.eu.int/comm/environment/impel>
- [IMPEL 2003] European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law: Management Reference Book for Environmental Inspectorates; <http://europa.eu.int/comm/environment/impel>
- [IMPEL 2005a] European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law: Waste-related Conditions in Environmental Permits, Final Report 31.1.2005; <http://europa.eu.int/comm/environment/impel>
- [IMPEL 2005b] European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law: Benchmarking on Quality Parameters for Environmental Inspectorates; workshop Copenhagen 8/9 September 2005; <http://europa.eu.int/comm/environment/impel>
- [IMPEL 2007] European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law: IMPEL input for the further development of the Recommendation on minimum criteria for environmental inspections (RMCEI), Draft Final Report October 2007; <http://europa.eu.int/comm/environment/impel>
- [IPSRM 2009] International Panel for Sustainable Resource Management: Introducing the Resource Panel - Rationale and Work Programme A brief overview, January 2009; [http://www.unep.fr/shared/uploads/events/docs/545\\_01.pdf](http://www.unep.fr/shared/uploads/events/docs/545_01.pdf)
- [IPCC 2007a] Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change Synthesis Report 2007, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland 2007
- [IPCC 2007b] Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., XXX pp
- [IPCC 2006] Intergovernmental Panel on Climate Change / Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe (Eds.): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Genf 2006; <http://www.ipcc.ch/ipccreports/special-reports.htm>
- [IPCC 2001] Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2001: Synthesis Report, and: A Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; edited by Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds.), Cambridge, United Kingdom 2001 <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>
- [IPCC 2000a] J. Penman, D. Kruger, I. Galbally, T. Hiraishi, B. Nyenzi, S. Emmanul, L. Buendia, R. Hoppaus, T. Martinsen, J. Meijer, K. Miwa and K. Tanabe (Eds.): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories; published for the IPCC by the Institute for Global Environmental Strategies, Japan <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- [IPCC 2000b] Intergovernmental Panel on Climate Change / Bert Metz, Ogunlade Davidson, Jan-Willem Martens, Sascha Van Rooijen and Laura Van Wie Mcgrory (Eds.): Methodological and Technological Issues in Technology Transfer; Genf 2000 <http://www.ipcc.ch/ipccreports/special-reports.htm>
- [IPCC 1996] Intergovernmental Panel on Climate Change: Revised 1996 IPCC Guidelines for Nati-

- onal Greenhouse Gas Inventories; <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- [ISWA 1998] International Solid Waste Association: "Guide for Landfilling Waste in Economically Developing Countries." CalRecovery, Inc., The International Solid Waste Association, United States Environmental Protection Agency, April 1998.
- [IWD 2009] Institut der deutschen Wirtschaft : Recycling – ein Schritt zu mehr Unabhängigkeit, Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft Nr. 3, 15. Januar 2009, Köln,
- [IWD 2008a] Institut der deutschen Wirtschaft : Politik verursacht Engpässe, Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft Nr. 35, 28. August 2008, Köln,
- [IWD 2008b] Institut der deutschen Wirtschaft : Chance für Hightech, Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft Nr. 28, 2008, Köln
- [Janssen et al. 2009] Janssen, J., Fernández, L.R.C., Chinchilla, O.C., Wang, Evaluacion del Potencial de reducción de GEI y producción de energía a partir de rellenos y vertederos de Costa Rica CEPAL, MINAET, San José / Costa Rica Juni 2009
- [Jaron/Karavezyris 2008]: Jaron, A., Karavezyris, V.: Beiträge der deutschen Abfallwirtschaftspolitik zur internationalen Abfallwirtschaft: Eine Sachstandsanalyse, Müll und Abfall 1/2008, S. 19 - 24
- [JICA 2005]: Japan International Cooperation Agency: Supporting Capacity Development in Solid Waste Management in Developing Countries: Towards Improving Solid waste management Capacity of Entire Society; Tokyo, Institute for International Cooperation 2005; <http://www.jica.go.jp/English/resources/publications/study/waste/index.html>
- [Johannesen/ Boyer 1999] Johannesen, L.-M., Boyer, G.: Observations of Solid Waste Landfills in Developing Countries: Africa, Asia and Latin America; World bank (Hrsg.) Washington D.C. 1999 (zitiert in Nassour 2005) – Situation der AW in EL
- [Jotzo 2012] Jotzo, F.: Ein anspruchsvoller Neuzugang – Australien als Käufer auf den internationalen Kohlenstoff-Märkten; JIKO Info 2/21; hrsg. Vom Wuppertal Institut, Wuppertal 2012; [www.jiko-bmu.de](http://www.jiko-bmu.de)
- [Karavezyris/ Jaron 2008] Karavezyris, V., Jaron, A.: Exportinitiative Recycling- und Effizienztechnik; in Müll und Abfall 4/2008, S. 170 - 174
- [Karcher 2012] Karcher, S.: Der Kohlenstoffmarkt nach Durban: Rahmenbedingungen verbessert, Nachfrageklemme bleibt bestehen; in JIKO-Info 1/12, hrsg. Vom Wuppertal Institut, Wuppertal 2012; [www.jiko-bmu.de](http://www.jiko-bmu.de)
- [Kehres 2010] Kehres, B.: Klimarelevante Gase bei der Bioabfallverwertung; *H&K aktuell*, S.1-3; <http://www.kompost.de>
- [Kern et al. 2010] Kern, M.; Raussen, T.; Funda, K.; Lootsma, A.; Hofmann, H.: Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz; Umweltbundesamt (Hrsg.) Texte 43/2010; Dessau August 2010
- [Kern et al. 2008] Kern, M., Raussen, T., Lootsma, A., Funda, K.: Stoffliche oder energetische Verwertung von Biomasse; in: Fricke, Bergs, Kosak, Wallmann: Energie aus Abfall – Biomasse- und Ersatzbrennstoffgewinnung, 69. Symposium des ANS, Göttingen 2008
- [KfW o.J.] KfW Entwicklungsbank: Projektunterlagen zu Vorhaben im Rahmen der Deutschen Finanziellen Zusammenarbeit (unveröffentlicht)
- [Klundert / Anschütz 2001] Van de Klundert, A., Anschütz, J.: Integrated Sustainable Waste Management – the Concept, Tools for Decision-makers, Experiences from the Urban Waste Expertise Programme (1995 –2001), WASTE, Gouda/Netherlands 2001, [www.waste.nl](http://www.waste.nl)
- [Klundert/ Lardinois 1995] van de Klundert, A., Lardinois I. : Community And Private (Formal and Informal) Sector Involvement in Municipal Solid Waste Management In Developing Countries, Background paper for the UMP workshop in Ittingen 10 -12 April 1995, May 1995
- [KMK 2002] Ständige Konferenz der Kultusminister und -senatoren der Länder (KMK): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Fachkraft für Kreislauf- und Abfallwirtschaft (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 14.05.2002) <http://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/FKAbfallKreislauf.pdf>

- [Knappe et al. 2007] Knappe, F., Böß, A., Fehrenbach, H., Giegrich, J., Vogt, R., Dehoust, G., Schüler, D., Wiegmann, K., Fritsche, U.: Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. Berlin Umweltbundesamt (Hrsg.). UBA-Texte 04/07.
- [Knappe/ Blazejczak 2007] Knappe, F., Blazejczak, J.: Potentialanalyse der deutschen Entsorgungswirtschaft; Reihe Texte 44 des Umweltbundesamtes, UFO-Plan Vorhaben, FKZ 206 31 303, Heidelberg 2007
- [Kölsch et al. 2010] Kölsch, F., Ginter, M., Fricke, K.: German GHG Mitigation Lighthouse Project MBT Plant Gaobeidang (PR China), Vortrag und Paper ISWA World Congress 2010, Hamburg 2010; <http://www.iswa.org>
- [Kranert/Hafner 2008] Beurteilung neuer strategischer Ansätze zur Hausabfallentsorgung unter den Aspekten Ressourceneffizienz und Klimarelevanz; Müll und Abfall 3/2008, S. 128 - 131
- [Knecht 2008] Knecht, M.: Müllabfuhr unter Todesdrohungen, Welt-Sichten Heft 4-2008, S. 33 - 34
- [Kühle-Weidemeier et al. 2011] Kühle-Weidemeier, M.; Deegener, D.; Cuhls, C.: Ermittlung der besten verfügbaren Techniken bei Abfallbehandlungsanlagen im Rahmen des Sevilla Prozesses zur Novelisierung des BVT-Merkblattes Abfallbehandlungsanlagen, Behandlung von organischen Abfällen aus getrennter Sammlung (Kompostierung und Vergärung); Bonn / Langenhagen, Dezember 2011
- [Kumar 2005] Kumar, J.: Municipal Solid Waste Management in India: Present Practises and Future Challenge, <http://www.adb.org/documents/events/2005/sanitation-wastewater-management/paper-kumar.pdf>
- [Lacoste/Chalmin 2009] Lacoste, E., Chalmin, P.: From Waste to Resource: An Abstract of '2009 World Waste Survey'; Economica, Paris 2009
- [Lechtenberg 2008] Lechtenberg, D.: Tunisia – Waste management and the cement industry; Global Cement Magazine April 2008, S. 10 - 12
- [Leible et al. 2006] Leible, L., Kälber, S., Kappler, K., Nieke, E., Fürniß, B.: Energiebereitstellung aus Biogenen Reststoffen und Abfällen in Deutschland – Eine Perspektive? Müllhandbuch Erich Schmidt Verlag, Berlin 2006, KZ 7590
- [Leitgöb et al. 2001] Leutgöb, Müller, Ragossnig: Oberer und unterer Heizwert von Abfallfraktionen, Studienarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2001
- [Lottmann 2008] Lottmann, J.H.: The Potential and the Possibilities of Producing Biocarburants in Tunisia, Studie im Auftrag der GTZ (unveröffentlicht) , Eschborn 2008
- [Lucas 2007] Lucas, Rainer: Von der Daseinsvorsorge zur Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft; in: Schug, H., Krück, C., Ploetz, Ch., Zweck, A. (Hrsg.) Nachhaltigkeit, Kooperationen und die Zukünfte der Abfallwirtschaft, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf 2007
- [Manfredi et al. 2009] Manfredi, S., D. Tonini, T.H. Christensen, and H. Scharff (2009): Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research: 2009: 27: 825-836.
- [McKinsey 2009a] McKinsey & Company: Pathways to a low-carbon economy - Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve; McKinsey 2009
- [McKinsey 2009b] McKinsey & Company (2009): Helping the UNFCCC secretariat improve its support to the Clean Development Mechanism and Joint Implementation; [http://cdm.unfccc.int/workshops/cop15/COP15\\_SE\\_091208\\_SDM\\_imp\\_TechRev.pdf](http://cdm.unfccc.int/workshops/cop15/COP15_SE_091208_SDM_imp_TechRev.pdf)
- [Meadows et al. 1972] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W.: The Limits to Growth, A report on the Club of Rome's project for the predicament of mankind, London 1972
- [Medina 2008] Medina, M.: The informal recycling sector in developing countries, GRID LINES No. 44, October 2008, PPIAF / The World Bank
- [Medina 2000] Medina, Martin: Scavenger Cooperatives in Asia and Latin America, January 15, 2003 <http://www.gdnet.org/pdf/medina.pdf>

- [Medina 1997] Medina, Martin: 1997, Informal Recycling and Collection of Solid Wastes in Developing Countries: Issues and Opportunities, UNU/IAS Working Paper No. 24, Tokyo, United Nations University/Institute of Advanced Studies, July 1997
- [MEDD 2010] Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, République Tunisienne: Tunisian "Nationally Appropriate Mitigation Action" NAMAs. Preliminary Proposals. Draft for Discussion; Workshop Proceedings 13 October 2010, Tunis; [http://www.jiko-bmu.de/files/basisinformationen/application/pdf/nama\\_proposals\\_tunisia.pdf](http://www.jiko-bmu.de/files/basisinformationen/application/pdf/nama_proposals_tunisia.pdf)
- [Monni et al. 2006] Monni, S., Pipatti, R., Lehtilla, A., Savolainen, I. and Syri, S.: Global climate change mitigation scenarios for solid waste management. Technical Research Centre of Finland. VTT Publications, Espoo/Finland 2006.
- [MURL 2005] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen; 2. Auflage, Düsseldorf 2005
- [Müller 2012] Müller, W.: Persönliche Mitteilung zur Abschätzung des Abbaus des regenerativen Kohlenstoffs, Innsbruck/Frankfurt 2012
- [Mutz 2012] Mutz, D.: Persönliche Mitteilung 2012 (Dieter Mutz ist für die GIZ im Rahmen eines Abfallberatungsprogramms für die indische Regierung tätig)
- [Mutz 2011] Mutz, D.: Public Waste and Private Health - Gesundheitsrisiken durch informelles Recycling; Erfahrungen aus dem deutsch-indischen Umweltprogramm mit Recycling von Elektronikschrott; Präsentation auf den Berliner Südasiengesprächen, Berlin 2011
- [Nassour 2005] Nassour, A.: Ansätze zur Reform der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern, Habilitationsschrift, Universität Rostock, 2005
- [Nassour et al. 2008] Nassour, A., Majanny, A., Nelles, M.: Reformierung der Abfallwirtschaft in den arabischen Ländern; Müll und Abfall 4/2008, S. 188 - 196
- [Nelles et al. 2007] Nelles, M., Degener, P., Morschek, G., Wu, K. : MBA-Technologie aus Deutschland – Ein Beitrag zur nachhaltigen Abfallwirtschaft in der VR China ; Müll und Abfall 12/2007, S. 605 - 610
- [Nelles et al. 2006]: Nelles, M., Knöpfle, M., Cai, J. und Wu, K.: Umwelttechnologie- und Know-how-Transfer mit China – eine Analyse; in: Müll und Abfall 8/2006, S. 396 - 402
- [Nelles et al. 1998] Nelles, M.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K. E.; Raninger, B. (1998): Mechanisch-biologische; Restabfallbehandlung zur Umsetzung der Deponieverordnung. IED Schau; Schriftenreihe Abfall – Umwelt. Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben 1998.
- [Nels 2005] Nels, C.: Globale Armutsbekämpfung setzt wirksamen Umweltschutz voraus – Der Beitrag der Abfallwirtschaft; in: K. Fricke, C.-H. Bergs, G. Kosak, R. Wallmann, H. Vogtmann (Hrsg.): Von der Entsorgungswirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, Tagungsband Leipzig 31. Mai bis 2. Juni 2005
- [Neubauer/Lampert 2012] Neubauer, C., Lampert, C.: Klimarelevanz der Abluftreinigung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA), Projekt KAMBA; Umweltbundesamt AT (Hrsg.), Wien 2012
- [Neufeld 2011] Neufeld, C.: Der Markt für PoAs reift - aber Hilfe ist weiter nötig; in: JIKO 2/11, S. 8 – 10;
- [Nussbaumer 2004] Nussbaumer, T.: Dioxin- und PAK-Emissionen der privaten Abfallverbrennung, Literaturstudie und Situationsanalyse, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.), Bern, 2004
- [Obeng/Wright 1987] Obeng, L.A. and Wright, F.W.: The Co-composting of Domestic and Human wastes; World Bank Technical Paper No 57, World Bank, Washington, DC, USA 1987
- [OECD 2011] Organisation for Economic Co-operation and Development / Development Co-operation Directorate (DCD-DAC): DAC List of ODA Recipients, [http://www.oecd.org/document/45/0,3746,en\\_2649\\_34447\\_2093101\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/45/0,3746,en_2649_34447_2093101_1_1_1_1,00.html)
- [OECD 2009a] Organisation for Economic Co-operation and Development: Exploring Capacity Issues "On the Road to Seoul": Quality Training for Capacity Development; Discussion Note –

- August 2009; [www.oecd.org/dac/governance](http://www.oecd.org/dac/governance)
- [OECD 2009b] Organisation for Economic Co-operation and Development: From good Principles to better Practice: An OECD-DAC Perspective on better Capacity Development; Issues Brief 3 July 2009, [www.oecd.org/dac/governance](http://www.oecd.org/dac/governance)
- [OECD/EEA 2009] OECD/EEA database on instruments used for environmental policy and natural resources management, last update 29.06.2009; <http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/index.htm>
- [OECD 2007] Organisation for Economic Co-operation and Development: Guidance Manual for the Implementation of the OECD Recommendation C(2004)100 on Environmentally Sound Management (ESM) of Waste; 30. Okt. 2007, [www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf)
- [OECD 2006] Organisation for Economic Co-operation and Development: The Challenge of Capacity Development: Working towards good Practice; [www.oecd.org/dac/governance](http://www.oecd.org/dac/governance)
- [OECD 2005/2008] The Paris Declaration on Aid Effectiveness and the Accra Agenda for Action, <http://www.oecd.org/dataoecd/11/41/34428351.pdf>
- [Oeltzschner/Mutz 1996] Oeltzschner, H. and Mutz, D. "Guidelines for an Appropriate Management of Sanitary Landfill Sites." Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Division 414, Water, Waste Management and Protection of Natural Resources, Munich, June 1996
- [Okubu et al. 2011] Okubo, Y., Hayashi, D. and Michaelowa, A.: NAMA crediting: how to assess offsets from and additionality of policy-based mitigation actions in developing countries; Greenhouse Gas Measurement & Management 1 | 2011 | 37–46; [www.earthscan.co.uk/journals/ghgmm](http://www.earthscan.co.uk/journals/ghgmm)
- [Ott 2008] Ott, C.: Potentiale des Klimawandels für die Umwelttechnologie, in: Klimawandel – Markt für Strategien und Technologien, 84. Darmstädter Seminar Abfalltechnik und Umwelt- und Raumplanung, S. 89 – 96, Darmstadt 2008
- [Ott et al. 2009] Ott, H., Mersmann, F., Sterk, W., Watanabe, R., Wegmann, B., Curtius, H. / Wuppertal Institut (Hrsg.): Internationale Finanzmittel für den Klimaschutz, Wuppertal Papers Nr.181, Juni 2009,
- [PAHO/WHO 1995] Pan American Health Organisation / World Health Organisation: Methodological Guidelines for Sectoral Analysis in Solid Waste, Preliminary Version Technical Report Series No. 4; Washington March 1995
- [PC-IGER 2011] PC-Institute for Global Environment Research (PC-iGER) Feasibility Study for NAMA in Waste and Wastewater Management Sector in Thailand – Summary; [http://www.gec.jp/gec/en/Activities/fs\\_newmex/2010/2010newmex01PCKK\\_eThailand\\_rep.pdf](http://www.gec.jp/gec/en/Activities/fs_newmex/2010/2010newmex01PCKK_eThailand_rep.pdf)
- [Pfaff-Simoneit 2012] Pfaff-Simoneit, W., Nassour, A., Nelles, M.: Fortschrittliche Abfallwirtschaftskonzepte in Entwicklungsländern - Finanzierbar? Umsetzbar? Nachhaltig? 15. DIALOG Abfallwirtschaft MV, Tagungsband, Rostock 2012, S. 75 - 96
- [Pfaff-Simoneit 2010a] Pfaff-Simoneit, W.: Sectoral Approaches in Solid Waste management to link development and climate change mitigation; ISWA World Congress 2010; <http://www.iswa.org>
- [Pfaff-Simoneit et al. 2010b] Pfaff-Simoneit, W., Vogt, R., Giegrich, J., Wehenpohl, G., Spies, S.: Der Klimarechner Abfallwirtschaft, in: Müll und Abfall 6/2010, S. 272 - 277
- [Pfaff-Simoneit et al. 2009] Pfaff-Simoneit, W.; Nassour, A.; Nelles, M.; Kölsch, F.: Klimaschutz und Abfallwirtschaft in Schwellen- und Entwicklungsländern – Welche Chancen ergeben sich aus dem Know-how- und Technologietransfer? In: KA Korrespondenz Abwasser/Abfall 2009 (56) Nr. 10, S. 1047 - 1053
- [Pfaff-Simoneit 2008a] Pfaff-Simoneit, W.: Vortrag 'Abfallwirtschaft und Klimaschutz - Erfahrungen der FZ'; GTZ Fachtagung (FATA) 'Klima und Biodiversität', Themenwerkstatt 'Abfallwirtschaft und Klima', Bonn 2008 <http://www.gtz.de/de/themen/umwelt-infrastruktur/14822.htm>
- [Pfaff-Simoneit 2008b] Pfaff-Simoneit, W.: Erfolgsfaktoren Tunesien, Präsentation RETech Berlin, Oktober 2008; [http://www.retech-Germany.net/themen/exportinitiative\\_retech\\_veranstaltungsdokumentationen/dok/158.php](http://www.retech-Germany.net/themen/exportinitiative_retech_veranstaltungsdokumentationen/dok/158.php)

- [Pfaff-Simoneit 2006] Pfaff-Simoneit, W.: Emissionshandel – Chance für eine nachhaltige Abfallwirtschaft in Entwicklungs- und Schwellenländern, in Müll und Abfall 3/2006, S. 149 - 155
- [Pfaff-Simoneit 2000] Pfaff-Simoneit, W.: Sektorstrategiekonzept Abfallwirtschaft Türkei – Vorstellung der Ergebnisse der Sektoranalyse und Empfehlungen; in: Abfallwirtschaft 2000 – Die Türkei auf dem Weg zu einer nachhaltigen Abfallentsorgung; Dokumentation des Workshops 27./28. Januar 2000; Hrsg. vom Premierministerium der Türkei, Umweltministerium der Türkei und BMZ
- [Pfammatter/Schertenleib 1996] Pfammatter, R., Schertenleib, R.: Non-Governmental Refuse Collection in Low-Income Urban Areas. Lessons Learned from Selected Schemes in Asia, Africa and Latin America., SANDEC Report No. 1/96, Water and Sanitation in Developing Countries EAWAG/Sandec.
- [Postel et al. 2009] Postel, J.; Jung, U.; Fischer, E.; Scholwin, F.: Stand der Technik beim Bau und Betrieb von Biogasanlagen - Bestandsaufnahme 2008; Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau 2009, [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysq\\_l\\_medien.php](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysq_l_medien.php)
- [Prochaska et al. 2004] Prochaska, M., Raber, G., Lorber, K.E.: Heizwertreiche Abfallfraktionen aus der mechanischen Abfallbehandlung (MA) und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA); Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE) Montanuniversität Leoben; Leoben 2002
- [Prognos et al. 2008] Prognos/INFU/IFEU: Resource savings and CO<sub>2</sub> reduction potentials in waste management in Europe and possible contribution to the CO<sub>2</sub> reduction target in 2020, Gutachten Berlin 2008
- [Rahmeyer 2005] Rahmeyer, F.: Nachhaltigkeitskosten und Nachhaltigkeitsnutzen in der Abfallwirtschaft; in: Schug, H., Krück, C., Ploetz, Ch., Zweck, A. (Hrsg.) Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf 2005
- [Rettenberger 2011] Rettenberger, G.: Der Beitrag der Siedlungsabfalldeponien zu den Treibhausgasemissionen, Müll und Abfall 1/2011, S. 4 - 10
- [Rettenberger/Schneider 2005] Rettenberger, G., Schneider, R.: ZAK-Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallaufbereitung, in: wlb 7-8/2005, S. 52 - 55
- [Richter et al. 2000] von Richter W., Seel, H., Stahr H.: Rolle der Hochschulen als Schlüssel für eine nachhaltige Entwicklung; GTZ, Arbeitsfeld 4316: Bildung, Wissenschaft, Jugend; <http://www.gtz.de/de/dokumente/de-hochschule-nachhaltige-entwicklung-2000.pdf>
- [Rothenberger et al. 2006] Rothenberger, S., Zurbrügg, C., Enayetullah, I., Sinha, M.: Decentralised Composting for Cities of Low and Middle-income Countries - A User's Manual; Sandec, Switzerland, Waste Concern, Bangladesh 2006; [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch)
- [Rosenberg/Furedy 1996] Rosenberg, L. and C. Furedy. (Eds.): International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Waste Management. Compiled by IETC in collaboration with the Harvard Institute of International Development. Osaka: International Environmental Technology Centre, United Nations Environment Program, 1996
- [Rouse 2006] Rouse, J.: Embracing not displacing: Involving the Informal Sector in improved Solid waste management; Collaborative Working Group on Solid Waste Management in Low- and Middle-Income Countries CWG (Hrsg.), WASH Workshop on Solid Waste, Health and the Millenium Development Goals 2006, Kalkutta 2006
- [Sachs et al. 2002] Sachs, W., Acselrad, H., Akhter, F., Amon, A., Berhan, T., Egziabher, G., French, H., Haavisto, P., Hawken, P., Henderson, H., Khosla, A., Larraín, S., Loske, R., Roddick, A., Taylor, V., von Weizsäcker, C., Zabelin, S., Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.): Das Jo'burg Memo - Memorandum zum Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung; Berlin 2002
- [Sanwal 2011] Sanwal, M.: Vision for Rio + 20: Transition to a low carbon economy and society : Climate change, eradication of poverty and sustainable development ;
- [Schneider/Cames 2009] Schneider, L. und Cames, M.: A framework for a sectoral crediting mechanism in a post-2012 climate regime; Öko-Institut, Berlin 2009
- [Schneider 2007] Schneider, L.: Is the CDM fulfilling its environmental and sustainable development objective? An evaluation of the CDM and options for improvement; Öko-Institut, Berlin

2007

- [Schröder 2010] Schröder, M.: CDM reform – essential and possible; Internes Diskussionspapier (unveröffentlicht) November 2010, KfW Carbon Fund
- [Schübeler et al. 1996] Schübeler, P., Wehrle, K., Christen, J.: Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in Low-Income Countries; UNDP/UNCHS (Habitat)/World Bank/SDC Collaborative Programme on Municipal Solid Waste management in Low-Income Countries, published by SKAT, St. Gallen 1996
- [Schüler et al. 2004] Schüler, D., Buchert, M., Jenseit, W., Dehoust, G., Hermann, A., Schulze, F.: Literatur- und Datenrecherche zur Schaffung von Grundlagen für eine Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaftspolitik zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik; Öko-Institut, Darmstadt 2004
- [Schütz et al. 2003] Schütz, H., Bringezu, S., Moll, S.: Globalisierung und die Verlagerung von Umweltbelastungen. Die Stoffströme des Handels der Europäischen Union. Wuppertal Paper. No. 134. Wuppertal Institute, Wuppertal 2003  
[www.wupperinst.org/globalisierung/pdf\\_global/umweltbelastungen.pdf](http://www.wupperinst.org/globalisierung/pdf_global/umweltbelastungen.pdf)
- Schug, Hartmut (2007): Integration von Nachhaltigkeit in die Abfallwirtschaftspraxis; in: Schug, H., Krück, C., Ploetz, Ch., Zweck, A. (Hrsg.) Nachhaltigkeit, Kooperationen und die Zukünfte der Abfallwirtschaft, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf 2007
- [Seemann et al. 2008] Seemann, A., Schreiber, H., Krishna, R.: E-Waste Recycling in Indien; Müll und Abfall 6/2008, S. 306 - 310
- [Seemann/Kurian 2008] Seemann, A., Kurian, J.: Entwicklungspotentiale und Handlungsfelder der Abfallwirtschaft in Indien; Müll und Abfall 4/2008
- [Seemann/ Ravindra 2008] Seemann, A., Ravindra, A.: Abfallwirtschaft in Indien: Entsorgung von Haushaltsabfällen im Umbruch; Müll und Abfall 12/2008, S. 621 - 625
- [Smith et al. 2001] Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K., Bates, J.: Waste Management Options and Climate Change, Final Report to the European Commission, July 2001;
- [Spangenberg/ Verheyen 2006] Spangenberg, J.; Verheyen, R.: Von der Abfallwirtschaft zum Stoffstrom-Management. Gutachten im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn, 2006
- [Springer 2010] Springer, C.: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Kompostierung unter Einbezug des Substitutionspotentials des Komposts; Müll und Abfall 8/2010, S. 386 - 396
- [SRU 2008] Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2008 – Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels, Juni 2008, [www.umweltrat.de](http://www.umweltrat.de)
- [SRU 2005] Sachverständigenrat für Umweltfragen: Auf dem Weg zur Europäischen Ressourcenstrategie: Orientierung durch ein Konzept für eine stoffbezogene Umweltpolitik, Stellungnahme November 2005, [www.umweltrat.de](http://www.umweltrat.de)
- [Statistisches Bundesamt 2011] Statistisches Bundesamt Deutschland: Daten zur Energiepreisentwicklung - Lange Reihen; Wiesbaden, Oktober 2011  
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Preise/Energiepreise/Energiepreisentwicklung>
- [Sterk 2010] Sterk, W.: Nationally Appropriate Mitigation Actions: Definitions, Issues and Options; JIKO Policy Paper 02/2010, Wuppertal Institut, Juni 2010
- [Sterk 2008] Sterk, W.: From Clean Development Mechanism to Sectoral Crediting Approaches – Way Forward or Wrong Turn? JIKO Policy Paper 1/2008, Wuppertal Institut, Mai 2008
- [Sterk/Arens 2008] Sterk, W., Arens, C.: Die projektbasierten Mechanismen CDM & JI, Einführung und praktische Beispiele; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 3. überarbeitete Auflage, Berlin 2008
- [Stern 2006] Stern, N.: The Economics of Climate Change, Executive Summary, 2006,  
[http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview\\_index.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm); (dort auch Langfassung und Kurzfassungen in deutscher und anderen Sprachen verfügbar)
- [Syakila/Kroeze] Syakila, A.; Kroeze, C.: The global nitrous oxide budget revisited; Greenhouse Gas

- 2011] Measurement & Management 1 | 2011 | 17–26; [www.earthscan.co.uk/journals/ghgmm](http://www.earthscan.co.uk/journals/ghgmm)
- [Sychla 2008] Sychla, M.: Erfassung und Behandlung von Bioabfall in Gaobeidian, Provinz Hebei (VR China); Studienarbeit (unveröffentlicht) TU Braunschweig, 2008
- [Thamrin 2011] Thamrin, S. : Indonesia's National Mitigation Actions: Paving the Way towards NAMAs; CCXG/Global Forum on Environment Seminar on MRV and Carbon Markets2; 28-29 March 2011, Paris; <http://www.oecd.org/dataoecd/52/45/48304156.pdf>
- [Thamrin 2010] Thamrin, S.: Developing Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in Indonesia; Cancun, 30th December2010  
[http://www.kyomecha.org/document/pdf/COP16SE\\_1b\\_Thamrin\\_BAPPENAS.pdf](http://www.kyomecha.org/document/pdf/COP16SE_1b_Thamrin_BAPPENAS.pdf)
- [Economist 2006] The Economist: More of Everything: Does the world have enough resources to meet the growing needs of the emerging countries? Volume 380, Number 9895, 16. September 2006
- [TMNLU 2002] Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt: Broschüre Kosten und Gebühren in der Abfallwirtschaft; Erfurt 2002, <http://www.thueringen.de/tmnlun>
- [Troge 2007] Troge, A.: Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz, in Müll und Abfall 5/2007, S. 208 - 213
- [UBA 2009] Umweltbundesamt: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2007; Berlin 2009
- [UBA 2007] Umweltbundesamt (Hrsg.), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Statistisches Bundesamt (Destatis): Umweltdaten Deutschland – Nachhaltig wirtschaften, natürliche Rohstoffe und Umwelt schonen, Ausgabe 2007; Berlin 2007
- [UBA 1989] Umweltbundesamt - Anlaufstelle des Basler Übereinkommens: Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung vom 22. März 1989;  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/basler\\_uebereinkommen\\_pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/basler_uebereinkommen_pdf)
- [UBA-DEHSt 2009] Umweltbundesamt Deutsche Emissionshandelsstelle (Hrsg.): Deutsche CDM-Handbuch – Leitfaden für Antragsteller; Berlin 2009
- [UNEP 2012] United Nations Environment Programme: UNEP Risoe CDM/JI Pipeline Analysis and Database; Monatlich aktualisierte Liste der CDM- und JI-Projekte; Zugriff 07.04.2012  
<http://www.cdmpipeline.org/index.htm>
- [UNEP 2011a] United Nations Environmental Programme; Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, [www.unep.org/greeneconomy/](http://www.unep.org/greeneconomy/); Chapter Waste: [http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger\\_final\\_dec\\_2011/8.0-WAS-Waste.pdf](http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger_final_dec_2011/8.0-WAS-Waste.pdf)
- [UNEP 2011b] United Nations Environmental Programme / Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre: International Source Book on Environmentally Sound Technologies (ESTs) for Municipal Solid Waste Management (MSWM)"; Zugriff 01.10.2011 <http://www.unep.or.jp/ietc/estdir/pub/msw/index.asp>
- [UNEP 2010a] United Nations Environmental Programme / Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre: Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework; Osaka/Shiga / Japan 2010;  
[www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/Waste&ClimateChange](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/Waste&ClimateChange)
- [UNEP 2010b] United Nations Environmental Programme / CD4CDM: A Primer on CDM Programme of Activities; Unep Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy; Roskilde, Denmark  
[www.unep.or.jp/ietc/Publications](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications)
- [UNEP 2010c] United Nations Environmental Programme (Hrsg.) Hertwich, E.; van der Voet, E.; Suh, S.; Tukker, A; Huijbregts M.; Kazmierczyk, P.; Lenzen, M.; McNeely, J.; Moriguchi, Y.: Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management;

- [http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1262xPA-PriorityProductsAndMaterials\\_Report.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1262xPA-PriorityProductsAndMaterials_Report.pdf)
- [UNEP 2009] United Nations Environment Programme: Introducing the Resource Panel Rationale and Work Programme; International Panel for Sustainable Resource Management January 2009
- [UNEP 2005] Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L. / UNEP – United Nations Environmental Programme (Hrsg.): Solid Waste Management (Volume I), Nairobi/ Kenia 2005
- [UNEP 2004] United Nations Environment Programme: Waste Management Planning – An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Waste management, An Introductory Guide for Decision-makers; Integrative Management Series No. 6; International Environmental Technology Centre, 2004
- [UNEP 1992] Agenda 21 - Environment and development Agenda;  
<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=52>  
Deutsche Übersetzung z.B. unter <http://www.agenda21-treffpunkt.de/archiv/ag21dok/>
- [UNEP/FAO 2008] United Nations Environment Programme Food and Agriculture Organization of the United Nations: Bali Declaration on Waste Management for Human Health and Livelihood; UNEP/FAO/RC/COP.4/INF/14;2008  
<http://www.basel.int/meetings/cop/cop9/docs/i02e.pdf>
- [UN 2010] United Nations, Economic and Social Council: Policy options and actions for expediting progress in implementation: Waste Management; Commission on Sustainable Development Nineteenth session 2-13 May 2011;  
[http://www.un.org/esa/dsd/csd/csd\\_pdfs/csd-19/sg-reports/CSD-19-SG-report-waste-management-final-single-spaced.pdf](http://www.un.org/esa/dsd/csd/csd_pdfs/csd-19/sg-reports/CSD-19-SG-report-waste-management-final-single-spaced.pdf)
- [UN 1998] United Nations: Kyoto-Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998,  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [UN 1992] United Nations: United Nations Framework Convention on Climate Change / Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen, New York 1992,  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>
- [UNFCCC 2012] United Nations Framework Convention on Climate Change: Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session; 15 March 2012;  
<http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf>
- [UNFCCC 2011a] United Nations Framework Convention on Climate Change: Practitioners Workshop on CDM Standards, Bonn 8 - 10 June 2011;  
[http://cdm.unfccc.int/methodologies/Workshops/cdm\\_standards/index.html](http://cdm.unfccc.int/methodologies/Workshops/cdm_standards/index.html)
- [UNFCCC 2011b] United Nations Framework Convention on Climate Change / Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention: Compilation of information on nationally appropriate mitigation actions to be implemented by Parties not included in Annex I to the Convention; FCCC/AWGLCA/2011/INF.1; 18 March 2011; <http://unfccc.int/resource/docs/2011/awglca14/eng/inf01.pdf>
- [UNFCCC 2010a] United Nations Framework Convention on Climate Change / CDM Executive Board: AMS-III.AJ.: Recovery and recycling of materials from solid wastes; Version 1.0 Initial adoption EB 53, Annex 15; 26 March 2010; Version 2.0 EB 59, Annex 3, 18 February 2011; Version 3.0 EB 62, Annex 10, 15 July 2011  
<http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/i09S4G8NFK11QYSD4O9FTGM18K9NYK>
- [UNFCCC 2010b] United Nations Framework Convention on Climate Change: The Cancun Agreements: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention;  
<http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>
- [UNFCCC 2009] Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention: Fulfillment of the Bali Action Plan and components of the agreed outcome; FCCC/AWGLCA/2009/4 (Part I), 17 March 2009

- [UNFCCC 2008a] Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention: Report on the workshop on cooperative sectoral approaches and sector-specific actions, in order to enhance implementation of Article 4, paragraph 1 (c), of the Convention; Third session Accra, 21-27 August 2008, FCCC/AWGLCA/2008/CRP.4 25.8.2008
- [UNFCCC 2008] United Nations Framework Convention on Climate Change: CDM Validation and Verification Manual, Draft, EB 39, Mai 2008
- [UNFCCC 2007] United Nations Framework Convention on Climate Change: Aktionsplan von Bali, Beschluss -/CP 13 (vorläufige, nicht amtliche Übersetzung); [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bali\\_aktionsplan.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bali_aktionsplan.pdf)
- [UNFCCC 1992] Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaveränderungen – Klimarahmenkonvention; Ney York 1992; <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>
- [UNHCS 1994]- United Nations Centre for Human Settlements: Promotion of Solid Waste Recycling and Reuse in Developing Countries of Asia, Training Manual, Bangkok, ENSIC 1994
- [US EPA 2006] United States Environmental Protection Agency: Solid Waste Management and Greenhouse Gase, A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3<sup>rd</sup> Edition; September 2006; <http://www.epa.gov/climatechange/wyacd/waste/downloads/fullreport.pdf>
- [US EPA 2005] United States Environmental Protection Agency: The Inventory of Sources and Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the United States: The Year 2000 Update (External Review Draft, March 2005; EPA/600/p-03/002A), <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/2k-update/>
- [VHE 2011] Verbände der Humus- und Erdenwirtschaft: Wert des Komposts - Entwicklung des Kompostwertes von 06/2005-03/2011; <http://www.vhe.de/aktuelles/kompostwert-der-kompostpreis/> Zugriff 8.5. 2011
- [VN 2002] Vereinte Nationen: Bericht des Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung, Johannesburg (Südafrika) 26. August – 4. September 2002 (auszugsweise Übersetzung), [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/johannesburg\\_declaration.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/johannesburg_declaration.pdf)
- [Waldmann et al. 2006] Entwicklungspolitik als Instrument deutscher Außenpolitik? Seminar: Grundzüge der deutschen Außenpolitik; Westfälische-Wilhelms-Universität Münster, Institut für Politikwissenschaft Sommersemester 2006; Dozent: Dr. Waldmann, Referenten: Stefanie Röttger, Uli Neumann, Veith Lemmen
- [Wallmann et al. 2008] Wallmann, R., Fricke, K., Hake, J.: Energieeffizienz bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung; Müll und Abfall 7/2008, S. 332 - 339
- [Wang-Helmreich et al. 2011] Wang-Helmreich, H., Sterk, W., Wehnert, T. und Arens, C.: Current developments in Pilot Nationally Appropriate Mitigation Actions of Developing Countries (NAMAs); JIKO Policy Paper 01/2011; Wuppertal Institut August 2011
- [Wasmuth 2004] Wasmuth, W.: Die strategische Bedeutung von Hochschule und Wissenschaft im Rahmen der Internationalen Zusammenarbeit aus Sicht der GTZ; <http://www.gtz.de/de/themen/soziale-entwicklung/bildung/12545.htm>
- [Wehenpohl 2009] Wehenpohl, G.: Persönliche Mitteilungen / Wehenpohl hat mehrere Jahre ein Beratungsprojekt im Bundesstaat Mexico geleitet
- [Wehenpohl 2008] Wehenpohl, G.: Im Müll liegen die Rohstoffe der Zukunft; Gespräch mit Günther Wehenpohl; in: Welt-Sichten Heft 4-2008
- [Wehenpohl 1987] Wehenpohl, G.: Selbsthilfe und Partizipation bei siedlungswasserwirtschaftlichen Maßnahmen in Entwicklungsländern – Grenzen und Möglichkeiten in städtischen Gebieten unterer Einkommensschichten, Dissertationsschrift, FB 13 TH Darmstadt, Schriftenreihe WAR Bd. 30, Darmstadt 1987
- [Weißbach o.J.] Weißbach-Stiftung: Lexikon der Nachhaltigkeit; <http://www.nachhaltigkeit.info>
- [Wiemer et al. 2009] Wiemer, K., Bartsch, B., Schmeisky, H.: Deponien als Rohstofflagerstätten von morgen – Ergebnisse einer hessenweiten Untersuchung; Bio- und Sekundärrohstoffverwertung IV, Kassel 2009
- [Wikipedia o.J. a] Entwicklungsland; Zugriff 17.09.2011; <http://de.wikipedia.org/wiki/Entwicklungsland>

- [Wikipedia o.J. b] Rohstoffe; Zugriff 30.5.09, <http://de.wikipedia.org/wiki/Rohstoffe>
- [Wikipedia o.J. c] Treibhauseffekt; Zugriff 30.5.09, <http://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>
- [Wilson et al. 2001] Wilson, David; Whiteman, Andrew; Tormin, Angela: Strategic Planning Guide for Municipal Solid Waste Management, March 2001; The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank (Hrsg.), <http://www.worldbank.org/urban/solidwm/erm/Edited%20Word%20Files/matrix%20page1.PDF>
- [WHO 1992] World Health Organization (Hrsg.): Rapid Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution, Genf, WHO 1992
- [WRI 1996] World Resources Institute, United Nations Environment Programme, United Nations Development Programme, World Bank: World Resources, A Guide to the Global Environment 1996-97. The Urban Environment. New York: Oxford University Press, 1996.
- [World Bank 2008] World Bank: Solid Waste Management Holistic Decision Modelling;; submitted by Nippon Koei Co., Ltd. Final Report JUNE 2008
- [World Bank 2005] World Bank: Waste Management in China: Issues and Recommendations, May 2005; Urban Development Working Papers, East Asia Infrastructure Department World bank; Working Paper No. 9; <http://www.siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTO-PURBDEV/China-Waste-Management1.pdf>
- [World Bank o.J.] Urban Solid waste Management; Webseite der Weltbank <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTURBANDEVELOPMENT/EXTUSWM/0,,menuPK:463847~pagePK:149018~piPK:149093~theSitePK:463841,00.html>; Projektarchiv, verfügbar unter <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/PROJECTS>,
- [WBGU 2009] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen: Kas- sensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz, Sondergutachten, Berlin 2009
- [WBGU 2008] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung; Jahresgutachten, Berlin 2008
- [WBGU 2007] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Sicherheitsrisiko Klimawandel, Jahresgutachten 2007, Berlin 2008
- [WBGU 1996] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel – Herausforderung für die deutsche Wissenschaft, Jahresgutachten 1996, Berlin 1996
- [WCED 1987] World Commission on Environment and Development: Our Common Future – Report of the World Commission on Environment and Development, 20 March 1987, verfügbar auf: <http://www.worldinbalance.net/agreements/1987-brundtland.php>
- [Wermelskirchen 2008] Wermelskirchen, A.: Da hilft nur ein Deponiefreak, Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 16. Juni 2008]
- [Zhu et al. 2008] Da Zhu, P., Asnani, U., Zurbrügg, C., Anapolsky, S., Mani, S.: Improving Municipal Solid Waste Management in India - A Sourcebook for Policy Makers and Practitioners; The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington D.C. 2008
- [Zurbrügg 2003] Zurbrügg, C.: Solid Waste management in Developing Countries; EAWAG – Sandec, 2003; <http://www.sandec.ch>
- [Zurbrügg/Scher- tenleib 1998] Zurbrügg, C., Schertenleib, R.: Main Problems and Issues of Municipal Solid Waste management in Developing Countries with Emphasis on Problems related to Disposal by Landfill; Third Swedish Landfill Research Symposia, Oktober 1998

# Thesen

## **1 ZIELSETZUNG DER ARBEIT**

### **1.1 Stand der Wissenschaft und Erkenntnis zu Beginn der Arbeit**

Die Entwicklung fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme bietet theoretisch große Potentiale, um zum Erreichen grundlegender entwicklungspolitischer Ziele beizutragen und Fortschritte in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht zu erzielen. Doch trotz aller bisherigen Unterstützung durch die internationale Entwicklungszusammenarbeit (EZ) über mehr als 40 Jahre ist es jedoch bisher in kaum einem Entwicklungs- (EL) oder Schwellenland (SL) und auch in den meisten Transformationsländern (TL) nicht gelungen, einen leistungsfähigen 'Abfallwirtschaftssektor' zu etablieren, der in der Lage ist, eine zuverlässige Abfallwirtschaft und eigenständige Weiterentwicklung des Sektors zu gewährleisten. Zahlreiche Veröffentlichungen berichten von Hemmnissen, Unzulänglichkeiten, gescheiterten Vorhaben u.ä.m.

Die bisherigen Ansätze der EZ im Abfallsektor umfassen i.W. die Förderung von Einzelprojekten einerseits und die Beratung auf Regierungsebene zur Schaffung von Rahmenbedingungen und zur Personalqualifizierung andererseits. Dabei werden jedoch die Maßnahmen meist nur wenig aufeinander abgestimmt. Die Zusammenarbeit findet eher zufällig und ad-hoc statt. Parallel dazu arbeiten EZ- und Nicht-Regierungs-Organisationen (NRO) unabhängig von den geförderten Projekten oder Maßnahmen zum Kapazitätsaufbau und zur Schaffung von Rahmenbedingungen meist nach jeweils eigenen Programmen und Zielen. Eine umfassende, langfristig und strategisch angelegte und koordinierte Unterstützung der EL/SL/TL durch die Geber erfolgt bislang nicht.

Zwar sind die Einzelvorhaben der EZ beispielgebend und wecken das Interesse und Bewusstsein bei Entscheidungsträgern und in der Öffentlichkeit. Durch die Maßnahmen entsteht jedoch allenfalls nur sehr langsam ein Umfeld oder eine ausreichend große ‚kritische Masse‘, damit der Sektor in einem Land eine Eigendynamik bekommen und sich eigenständig weiterentwickeln kann. Die nachhaltige Implementierung fortschrittlicher, d.h. ressourcenschonender, umwelt- und klimafreundlicher abfallwirtschaftlicher Strategien und Verfahren erscheint unter diesen Voraussetzungen nicht möglich.

### **1.2 Problemfixierung**

Die Voraussetzungen und Möglichkeiten der EL/SL/TL zum Aufbau einer geordneten Abfallwirtschaft sind unstrittig ungünstiger als in entwickelten Ländern. Aber es bestehen auch Zweifel an der Ernsthaftigkeit der Verantwortlichen zur Lösung der durch ungeordnete Abfallwirtschaft entstehenden Probleme. Es mangelt v.a. an qualifiziertem Personal, einer durchgängigen, zuverlässigen Finanzierung der Abfallwirtschaftsinfrastruktur und Entsorgungsdienstleistungen, an qualifizierten Institutionen und Trägern sowie insgesamt an förderlichen Rahmenbedingungen. Die für die Abfallwirtschaft zuständigen Akteure können aufgrund der finanziellen Restriktionen und des fehlenden politischen Willens kein Vertrauen und realistische Perspektiven entwickeln, dass der Aufbau der erforderlichen Strukturen und der Entsorgungsinfrastruktur in ihrem Land systematisch verfolgt wird.

Im Unterschied zu anderen Sektoren der öffentlichen Daseinsvorsorge, insbesondere etwa der Energie- oder Wasserversorgung oder des Straßenbaus, verfügt die Abfallwirtschaft in den meisten EL/SL/TL allenfalls ansatzweise über Strukturen, auf denen entwicklungspolitische Maßnahmen aufgesetzt werden können. Aus Sicht der Entscheidungsträger ist Abfallwirtschaft vermeintlich eine rein kommunale Aufgabe. Maßnahmen auf staatlicher Ebene in EL/SL/TL umfassen daher allenfalls die Verabschiedung von – überwiegend unzulänglichen und/oder wenig sachgerechten - rechtlichen Regelungen und das Delegieren von Zuständigkeiten und Aufgaben an die Kommunen. Die Kommunen sind jedoch nicht nur mit den operativen Aufgaben bereits überfordert, sie haben auch weder das Mandat noch die Möglichkeiten zum Aufbau der sektoralen Rahmenbedingungen. Diese an das ‚Henne-und-Ei-Problem‘ erinnernde Situation behindert die sektorale Entwicklung in vielen Ländern.

Zugleich sind die Herausforderungen so vielfältig, dass die Probleme der Abfallwirtschaft das Stigma der Unlösbarkeit haben und daher ein wenig interessantes Politikfeld darstellen. Dem Sektor mangelt es zudem an gesellschaftlicher und politischer Anerkennung und Wahrneh-

mung als wichtiges umweltpolitisches Handlungsfeld. Dass Abfallwirtschaft sowohl der Umwelt- und Gesundheitsvorsorge dient als auch Potentiale bietet, durch Nutzung der Abfälle als Sekundärrohstoff oder Energieträger und Schaffung von Arbeitsplätzen zur wirtschaftlichen Entwicklung des Landes beizutragen, wird eher als Widerspruch denn als Chance verstanden.

Auf Seiten der Geberländer muss das weitgehend unkoordinierte, isolierte Agieren verschiedenster EZ- und sonstiger engagierter Organisationen sowie die für einen nachhaltigen Aufbau fehlende langfristige Unterstützung ins Zentrum der Kritik gestellt werden.

### 1.3 Zielsetzung

Zielsetzung der Arbeit war, ausgehend von einer Analyse der bisher verfolgten Strategien der Entwicklungszusammenarbeit einen Ansatz zu entwickeln, der dazu beiträgt, in EL/SL/TL solide Strukturen aufzubauen, damit diese Länder fortschrittliche Abfallwirtschaftskonzeptionen (AWK) einführen, nachhaltig betreiben und selbständig weiterentwickeln können. Es sollte eine Handlungshilfe für den systematischen und strukturierten Aufbau des Abfallsektors in EL, SL und TL entwickelt und dieser Prozess operationalisiert werden.

Darüber hinaus sollte die Umsetzbarkeit insbesondere unter Kostenaspekten analysiert werden um zu prüfen, ob fortschrittliche AWK in EL/SL/TL finanziell nachhaltig implementiert werden können. Es galt zu prüfen, ob dies eine dauerhafte Unterstützung der EL/SL/TL erfordert und der Ansatz möglicherweise allein aus finanziellen Gründen zu verwerfen ist.

Folgende Fragen haben die Untersuchung geleitet:

- Welche Rahmenbedingungen sind für den systematischen Aufbau eines Abfallsektors erforderlich und wie können sie geschaffen werden?
- Ist ein Überspringen von Entwicklungsstufen in der Abfallwirtschaft und die Einführung fortschrittlicher Verfahren und Strategien in EL/SL/TL möglich und sinnvoll?
- Welche Kostendeckungsbeiträge können Recycling, energetische Nutzung und Kohlenstoffmärkte resp. Vergütungen der Industrieländer (IL) für Treibhausgas(THG)-Minderungsmaßnahmen der EL/SL/TL leisten? Welche finanziellen Eigenbeiträge der EL/SL/TL sind leist- und zumutbar? Welche Unterstützung müsste die internationale Gebergemeinschaft dauerhaft leisten?
- Wie können Strategien und Instrumente der EZ weiter entwickelt werden? Welche Rolle können / sollten andere Institutionen übernehmen?

Dem Autor ist bewusst, dass Abfallwirtschaft eine Querschnittsaufgabe ist, die Querbezüge zu zahlreichen anderen Sektoren hat. Gleichwohl werden diese Querbezüge in dieser Arbeit ausgeblendet, um die Übersichtlichkeit zu bewahren.

### 1.4 Methoden

Auf Basis einer Literaturanalyse und Evaluierung vorliegender Erfahrungen mit abfallwirtschaftlichen Projekten in EL/SL/TL im Rahmen der EZ wurden Hemmnisse und Defizite für den Aufbau fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme identifiziert. Mit Hilfe einer Systemanalyse wurde ermittelt, welche zentralen Elemente den Abfallsektor bestimmen, welche Funktion und Wirkbeziehungen sie im System haben und welche Interdependenzen zwischen ihnen bestehen. Daraus wurde abgeleitet, welche Voraussetzungen und Rahmenbedingungen im Sinne eines Sollzustands geschaffen werden müssen, damit fortschrittliche Abfallwirtschaftskonzeptionen in EL/SL/TL eingeführt, nachhaltig betrieben werden und die Länder den Sektor selbständig weiterentwickeln können. Es wurde eine Diskussion und Beurteilung von abfallwirtschaftlichen Strategien und Verfahren vorgenommen, die eine möglichst weitgehende Nutzung der Verwertungs- und Klimaschutzpotentiale erlauben. Dazu wurden 16 unterschiedliche Abfallwirtschaftskonzeptionen konfiguriert und für acht typisierte Abfallsammensetzungen eine Stoff-, Energie- und Treibhausgas-Bilanzierung durchgeführt. Die Beurteilung erfolgte anhand von Kriterien, die sowohl die globalen Herausforderungen wie die entwicklungspolitischen Ziele adressieren. In Modellrechnungen wurden die Kosten fortschrittlicher AWK unter den in EL/SL/TL bestehenden Rahmenbedingungen ermittelt und

potentielle Erlöse aus der Verwertung von Abfällen sowie aus Vergütungen die THG-Minderungen abgeschätzt.

## 2 Hauptaussagen der Arbeit

Die zentralen Erkenntnisse und Aussagen der Arbeit sind:

- Die Grundsätze einer globalen Kooperation in den Bereichen, Umwelt, Klima und Entwicklung sind seit der Konferenz von Rio 1992 sowie in der Folge in zahlreichen internationalen Abkommen zwischen entwickelten Ländern und EL/SL/TL im Prinzip vereinbart. Darin haben die Industrieländer den Entwicklungsländern grundsätzlich Unterstützung durch den Transfer von Technologie, die Bereitstellung von Know-how sowie Unterstützung beim Aufbau von Kapazitäten völkerrechtsverbindlich zugesichert. In der Klimarahmenkonvention von 1992 verpflichten sich die in Annex 1 genannten Staaten, zusätzliche Finanzmittel zur Deckung der vereinbarten vollen Kosten bereitzustellen, die den EL/SL/TL bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen zur THG-Minderung entstehen.
- EL/SL/TL könnten durch die Einführung fortschrittlicher Strategien und Verfahren, d.h. Aufbau einer Kreislaufwirtschaft und Anwendung von Verfahren der Methanvermeidung, signifikant – nach Modellrechnungen für die Länder Mexiko, Türkei und Tunesien zwischen 10 – 15% [Dehoust et. al 2010] - zur Reduzierung ihrer nationalen THG-Bilanz beitragen. Zugleich leisten sie damit einen erheblichen Beitrag zum Gesundheits- und Umweltschutz und zur nachhaltigen Entwicklung in ihren Ländern.
- Kosten der Abfallentsorgung sind zum überwiegenden Teil laufende Kosten. Es bedarf daher zuverlässiger regelmäßiger Einnahmen, um den ordnungsgemäßen Betrieb der Entsorgungssysteme aufrechtzuerhalten. Der in Industrieländern üblichen Deckung der Kosten der Abfallwirtschaft vorwiegend über Nutzergebühren sind in EL/SL/TL aufgrund der begrenzten Zahlungsfähigkeit der Bewohner enge Grenzen gesetzt.
- Die stoffliche und energetische Verwertung könnte – je nach Abfallzusammensetzung und Erlösszenario - einen Deckungsbeitrag von bis zu 30% der Gesamtkosten der Abfallwirtschaft leisten. Vergütungen für die Klimaschutzleistungen der Abfallwirtschaft könnten potentiell - je nach Abfallwirtschaftskonzeption und Vergütung für die Minderung von THG- – etwa 30% bis fast 50% der Gesamtkosten decken. Unter Einbeziehung eines zumutbaren Eigenbeitrages in Höhe von 0,3 – 0,5% des nationalen Brutto-Inland-Produkts (BIP) wären Länder mit einem BIP ab etwa EUR 2.000 pro Einwohner und Jahr in der Lage, die Kosten des Aufbaus und des Betriebs fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme aus eigenen Mitteln zu decken, sofern die durch die Abfallwirtschaft bewirkten direkten und indirekten, d.h. durch Recycling induzierten THG-Minderungswirkungen angemessen vergütet werden.
- Die Gewährung von Vergütungen für die Klimaschutzleistungen der Abfallwirtschaft entpuppt sich damit als Gretchenfrage für die Sicherstellung der finanziellen Nachhaltigkeit fortschrittlicher Abfallwirtschaftskonzepte in EL/SL/TL. In dem Maße, in dem die entwickelten Länder ihre in der Klimarahmenkonvention und in internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz eingegangenen Verpflichtungen einlösen, bestehen gute Voraussetzungen für den Aufbau fortschrittlicher Abfallwirtschaftssysteme in diesen Ländern. Dabei haben solche AWK deutliche Kostenvorteile, die eine getrennte Erfassung von Wertstoffen und Bioabfällen bzw. differenziertes Stoffstrommanagement anwenden. Rein technologiebasierte Lösungen haben im Hinblick auf die THG-Minderung keinen Mehrnutzen und sind erst für EL mit höherem BIP finanziell tragbar.
- Der Aufbau von beschäftigungsintensiven Sammel- und Recyclingsystemen ist sehr geeignet, abfallwirtschaftliche, umwelt-, ressourcen- und klimapolitische sowie soziale resp. beschäftigungspolitische Ziele in Einklang zu bringen. Auch wenig qualifizierte Personen und selbst Analphabeten können sinnvoll beschäftigt werden.
- Abfallwirtschaftssysteme erfordern neben sachgerechten Entsorgungstechnologien und Strategien qualifizierte Träger, klare Rahmenbedingungen, ein funktionierendes Umfeld aus Fachbehörden, Aus- und Fortbildung von Fachkräften, Forschung und Entwicklung, einen qualifizierten und leistungsfähigen Privatsektor (Consulting, Bauwirtschaft, Betrei-

ber, Entsorgungsunternehmen), eine informierte Öffentlichkeit und Beteiligungsmöglichkeiten für die Zivilgesellschaft. Sollen die Abfallwirtschaftssysteme nachhaltig sein, müssen diese Elemente des Abfallwirtschaftssystems systematisch und koordiniert in einem holistischen Ansatz aufgebaut werden. Insgesamt wurden 12 Elemente bzw. Handlungsfelder für EZ-Maßnahmen identifiziert, die entscheidend für die Sicherung der Nachhaltigkeit eines Abfallwirtschaftssystems sind.

- Aus eigener Kraft wird voraussichtlich kein EL/SL/TL, ggf. mit Ausnahme leistungsfähigerer Länder wie China, Russland oder Brasilien, in der Lage sein, den Abfallsektor so aufzubauen, dass sie fortschrittliche, ressourcenschonende und klimafreundliche AWK umsetzen und nachhaltig betreiben können. Um dies zu erreichen, müssen die Geberländer bereit sein, die EL/SL/TL auf Basis einer langfristigen Gesamtstrategie über lange Zeiträume die finanziellen Mittel bereitzustellen und personelle Unterstützung für den systematischen Aufbau der Abfallwirtschaft und den Kapazitätsaufbau zu leisten.

### 3 Wissenschaftliche Wertung der Ergebnisse

Bisherige Arbeiten, die sich mit dem Aufbau der Abfallwirtschaft in EL/SL/TL befassen, behandeln mehr oder weniger isoliert voneinander einzelne Elemente des Sektors, insbesondere technische und organisatorische Fragen sowie den Aufbau von Kapazitäten, d.h. institutioneller Aufbau und Personalqualifizierung. Neben einer Darstellung und Analyse der bestehenden Defizite behandeln die meisten Arbeiten Strategien und die technischen und organisatorischen Lösungsmöglichkeiten für die Abfallwirtschaft. Andere Arbeiten befassen sich mit institutionellen Fragen, der Darstellung und Diskussion von Akteuren und Beteiligten, mit Finanzierungsinstrumenten, der Privatsektorbeteiligung u.a.m. Die Publikationen behandeln zwar durchaus das ‚Was‘, ‚Wie‘, ‚Wer‘ und ‚Womit‘ der Abfallwirtschaft, jedoch ohne strategisch-konstruktive Betrachtung oder Hilfestellung. Symptomatisch für diesen Befund ist das Standardwerk für die Abfallwirtschaft in EL ‚Solid Waste Management‘ [Diaz et al. 2005]. Darin werden zwar nahezu sämtliche Grundlagen vermittelt und auch die nicht-technischen Komponenten der Regulierung, Finanzierung, Privatsektorbeteiligung u.a.m. behandelt. Die Nutzer werden aber allein gelassen mit der Aufgabe, dies in ein Handlungskonzept umzusetzen. Der ebenfalls von der UNEP herausgegebene ‚Guide for Decision-makers Waste Management Planning‘ [UNEP 2009] etwa stellt zwar die Komponenten eines Abfallwirtschaftssystems einigermaßen vollständig dar, liefert aber keine Handlungshilfe und Orientierung für den systematischen Aufbau des Gesamtsystems. Die meisten Leitfäden, Training Packs etc. beschränken sich auf die technisch-organisatorischen Fragen.

Abhandlungen über den Prozess der systematischen Entwicklung des Sektors und der erforderlichen Umfeldbedingungen („enabling environment“) liegen in dieser umfassenden Form bislang nicht vor. Keine der bisherigen Arbeiten befasst sich mit dem systematischen Aufbau der Strukturen und den Abhängigkeiten zwischen den Komponenten des Sektors. Diese Lücke wird mit der vorliegenden Arbeit geschlossen.

Der in dieser Arbeit entwickelte ‚Sektorale Ansatz‘ stellt eine logische Weiterentwicklung der bisherigen Ansätze der EZ dar. Er führt die verschiedenen Denkschulen und Ansätze, d.h. den ‚Kapital-basierenden Ansatz‘ der 60er und 70er Jahre, den ‚Capacity-Building-Ansatz‘ der 80er und 90er Jahre oder den aktuellen ‚Integrierten Ansatz‘ zusammen. Während der integrierte Ansatz sich auf der Projektebene bewegt, bezieht der sektorale Ansatz alle Komponenten zum Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems in einem Land in einem holistischen Entwicklungsmodell ein, d.h. sowohl die staatlich-regulierende und steuernde Ebene genauso wie die – meist kommunale – operative Ebene.

Der Ansatz erscheint geeignet, die strukturbildende Wirkung entwicklungspolitischer Maßnahmen zu verstärken, indem die zu deren Entfaltung erforderlichen komplementären Maßnahmen offengelegt und damit Handlungsorientierung für andere Geber geliefert werden. Akteuren, Beteiligten und Entscheidungsträgern wird ein breiteres Sektorverständnis vermittelt, indem Zusammenhänge veranschaulicht, Entwicklungsschritte und Zwischenziele definiert und Handlungsfelder inhaltlich und zeitlich strukturiert werden.

Die Grundidee des ‚Sektoralen Ansatzes‘ erscheint auch auf andere Sektoren übertragbar,

zumindest für Systeme der öffentlichen Daseinsvorsorge. Die vorliegende Arbeit liefert hierfür die theoretische Grundlage. Der sektorale Ansatz kann damit als Grundlage für Vereinbarungen zwischen Geber- und Nehmerland dienen.

Die angewandten Methoden erscheinen angesichts des Standes der Wissenschaft und der vorliegenden Erfahrungen sachgerecht. Zwar handelt es sich um einen theoretischen Ansatz. Die vorausschauende Strukturierung der anspruchsvollen und komplexen Aufgabenstellung ‚Aufbau eines Abfallwirtschaftssystems in einem Land‘ ermöglicht es jedoch, die Chancen und Voraussetzungen für den Einsatz fortschrittlicher Strategien und Technologien in EL/SL/TL zu identifizieren. Sie liefert Entscheidungshilfen und Handlungsorientierung zur Weiterentwicklung der Instrumente und Formen der EZ in diesem und ggf. auch anderen Sektoren. Die Systemanalyse erscheint in Verbindung mit der Evaluierung vorliegender Erfahrungen als Methode für diese Aufgabenstellung sehr geeignet. Die Material-, Energie- und Treibhausgasbilanzierung sowie die Kostensimulationen dienen der Abschätzung der Erfolgsaussichten eines solchen Ansatzes. Die Diskussion und Beurteilung der AWK liefert Hinweise über voraussichtlich geeignetere Strategien und Verfahren in EL/SL/TL und die empirisch zu untersuchenden bzw. zu entwickelnden Systemkomponenten.

#### **4 Allgemeine Bedeutung der Ergebnisse**

Der Ansatz lässt sich nicht ohne weiteres direkt umsetzen, da er viele Akteure oder ‚Mitreiter‘ erfordert, die ihn sich zu eigen machen und ihre entwicklungspolitische Arbeit danach ausrichten müssen. Dazu bedarf es der Verbreitung und Überzeugung bei den entsprechenden Akteuren. Dies erfolgt bereits seit etwa einem Jahr durch Vorträge und Publikationen. Entscheidend für eine Anwendung in der Praxis wird letztlich sein, ob sich die relevanten Geberinstitutionen, in Deutschland v.a. das BMZ, den Ansatz zu eigen machen und bereit und in der Lage sind, die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Weiterentwicklung der entwicklungspolitischen Instrumente umzusetzen. Dies bedeutet v.a., Zusagen an Nehmerländer breiter und langfristiger zu gewähren sowie eine stärkere Koordinierungs- und Steuerungsfunktion für die Beiträge der jeweiligen Durchführungsorganisationen vorzusehen.

Parallel dazu gilt es zu prüfen, inwieweit Nehmerländer bereit und in der Lage sind, sich auf einen solch umfassenden und langfristig angelegten Ansatz einzulassen. Die ungeordnete Abfallentsorgung verursacht zwar große Umweltprobleme, steht aber möglicherweise dennoch nicht ausreichend weit oben auf der politischen Agenda der Entscheidungsträger in EL/SL/TL, dass sie bereit sind, die erforderliche Kraftanstrengung zum Aufbau eines ganzen Sektors aufzubringen. V.a. die Verpflichtung, die erforderlichen finanziellen Eigenbeiträge zu leisten und einen festen Anteil des BIP für Zwecke der Abfallwirtschaft zu reservieren, sowie der Aufbau von Institutionen und Ausbildungsstätten, die dauerhaft entsprechende Personalkapazitäten und Budgets erfordern, könnten auf Zurückhaltung stoßen.

Über allem steht als Voraussetzung für die Umsetzung des ‚Sektoralen Ansatzes‘ die Sicherstellung der Vergütung der THG-Minderungsleistungen der EL/SL/TL. Ohne diese zusätzlichen Einnahmen können die laufenden Kosten fortschrittlicher Abfallwirtschaftskonzepte in diesen Ländern nicht zuverlässig gedeckt werden. Die vorliegende Arbeit greift die in den internationalen Verträgen getroffenen Regelungen zur Unterstützung von Klimaschutzleistungen der EL/SL/TL auf, operationalisiert sie für den Abfallwirtschaftssektor und liefert damit eine konzeptionelle Grundlage für Vereinbarungen zwischen Geber- und Nehmerländern.

Der vorgeschlagene sektorale Ansatz erscheint insofern auch geeignet als konzeptionelle Grundlage für die Entwicklung von NAMA im Abfallsektor und im Rahmen eines neuen Mechanismus für die Kohlenstoffmärkte. In welcher Weise und für welche abfallwirtschaftlichen Maßnahmen den EL/SL/TL Vergütungen für die dadurch bewirkte THG-Minderung zugestanden werden, bedarf des politischen Diskurses auf Ebene des UNFCCC. Dazu müssen Vereinbarungen und Konventionen zur praxisgerechten Berechnung der THG-Minderung sowie Regeln für die Zurechnung des Beitrages der an der Entsorgungskette beteiligten Akteure getroffen werden. Hierfür werden in der Arbeit Empfehlungen gegeben bzw. der Forschungsbedarf aufgezeigt.

# Anlagen

# **Anlage 1**

Strategien und Verfahren  
der Abfallwirtschaft und  
Kennwerte für die Bilanzierung

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ÜBERBLICK ÜBER DIE BETRACHTETEN VERFAHREN UND STRATEGIEN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STOFFLICHE VERWERTUNG / MATERIALRÜCKGEWINNUNG AUS ABFÄLLEN</b>	<b>2</b>
2.1	Sammlung einschließlich getrennter Sammlung trockener Wertstoffe	2
2.2	Aussortierung trockener Wertstoffe zur stofflichen Verwertung	5
2.3	Treibhausgasminderungen und Energieeinsparung durch stoffliche Verwertung	6
2.4	Arbeitskräftebedarf	6
2.5	Kosten	6
2.6	Kennwerte der Sortierung trockener Wertstoffe	7
<b>3</b>	<b>BIOLOGISCHE VERWERTUNG</b>	<b>8</b>
3.1	Ziele und Merkmale der Strategie	8
3.2	Getrennte Erfassung von Bioabfällen	8
3.3	Kompostierung	9
3.3.1	Verfahrensübersicht	9
3.3.2	Energiebedarf	10
3.3.3	Treibhausgasemissionen	11
3.3.4	Arbeitskräftebedarf	12
3.3.5	Kosten	12
3.3.6	Kennwerte der Kompostierung	13
3.4	Vergärung getrennt erfasster Bioabfälle	13
3.4.1	Energiebedarf und -erzeugung	15
3.4.2	Treibhausgasemissionen	16
3.4.3	Arbeitskräftebedarf	17
3.4.4	Kosten	17
3.4.5	Kennwerte der Vergärung	18
<b>4</b>	<b>ENERGETISCHE VERWERTUNG</b>	<b>19</b>
4.1	Ziele und Merkmale der Strategie	19
4.2	Ersatzbrennstoff zur energetischen Verwertung in industriellen Prozessen	19
4.2.1	Aussortierung heizwertreicher Fraktionen	20
4.2.2	Mechanisch-biologische und mechanisch-physikalische Stabilisierung	21
4.2.3	Erzeugung von Biogas aus gemischten Abfällen	21
4.2.4	Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk	23
4.2.5	Deponiegasverwertung	23
4.2.6	Treibhausgasemissionen	24
4.2.7	Kennwerte der energetischen Verwertung	24

---

<b>5</b>	<b>RESTABFALLBEHANDLUNG UND -ABLAGERUNG</b>	<b>26</b>
5.1	Geordnete Deponie	26
5.1.1	Treibhausgasemissionen	26
5.1.2	Arbeitskräftebedarf	29
5.1.3	Kosten	29
5.2	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	29
5.2.1	Energiebedarf und –erzeugung	31
5.2.2	Treibhausgasemissionen	32
5.2.3	Arbeitskräftebedarf	32
5.2.4	Kosten	32
5.3	Thermische Abfallbehandlung	33
5.3.1	Energiebedarf und –erzeugung	35
5.3.2	Treibhausgasemissionen	35
5.3.3	Arbeitskräftebedarf	35
5.3.4	Kosten	35
5.4	Kennwerte der Restabfallbehandlung und –ablagerung	36
<b>6</b>	<b>KOSTEN UND KOSTENSTRUKTUREN</b>	<b>38</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. A1 - 1:	Prinzip eines personalintensiven Sammelsystems	3
Abb. A1 - 2:	Systemübersicht Kompostierungsverfahren	9
Abb. A1 - 3:	Energiebedarf zur Kompostherstellung nach Anlagentypen	11
Abb. A1 - 4:	THG-Emissionen von Verfahren der Bioabfallbehandlung	12
Abb. A1 - 5:	Übersicht über Vergärungsverfahren	14
Abb. A1 - 6:	Biogaserträge von Verfahren der Bioabfallvergärung	15
Abb. A1 - 7:	Nettoertrag Wärme von Verfahren der Bioabfallvergärung	16
Abb. A1 - 8:	Nettostromertrag von Verfahren der Bioabfallvergärung	16
Abb. A1 - 9:	Spezifische Investitionskosten von Verfahren der Bioabfallvergärung	18

**Tabellenverzeichnis**

Tab. A1 - 1:	Kategorisierung abfallwirtschaftlicher Verfahren nach ihrem Zweck	1
Tab. A1 - 2:	Sammelleistungen der Primärsammlung in Abhängigkeit des Abfallaufkommens / BIP	3
Tab. A1 - 3:	Annahmen zur Kalkulation der Kosten der Sekundärsammlung	4
Tab. A1 - 4:	Kosten von Sammlung und Transport in Abhängigkeit des BIP	4
Tab. A1 - 5:	Personalbedarf der Abfallsammlung in Abhängigkeit des BIP	5
Tab. A1 - 6:	THG-Minderung durch Recycling	6
Tab. A1 - 7:	Kennwerte der Sortierung trockener Wertstoffe	7
Tab. A1 - 8:	Kennwerte der Kompostierung	13
Tab. A1 - 9:	NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O und CH <sub>4</sub> Emissionen aus der Vergärung	17
Tab. A1 - 10:	Kennwerte der Bioabfallvergärung	18
Tab. A1 - 11:	Verfahren der energetischen Verwertung und deren Produkte	19
Tab. A1 - 12:	Kennwerte der energetischen Verwertung	25
Tab. A1 - 13:	Angenommene Abbaugrade für regenerativen Kohlenstoff C <sub>reg</sub> im Deponiekörper	28
Tab. A1 - 14:	Errechnete Abbaugrade für organischen Kohlenstoff in einer geordneten Deponie	28
Tab. A1 - 15:	Energieaufwand und –ertrag verschiedener MBA-Verfahren	31
Tab. A1 - 16:	Kennwerte der Restabfallbehandlung und –ablagerung	37
Tab. A1 - 17:	Investitionskosten und Kostenstruktur für Verfahren der Abfallwirtschaft in Industrieländern	38
Tab. A1 - 18:	Spezifische Vollkosten und Kostenstruktur für Verfahren der Abfallwirtschaft in Industrieländern	38
Tab. A1 - 19:	Spezifische Vollkosten und Kostenstruktur für Verfahren der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern in Abhängigkeit des BIP	39

## 1 ÜBERBLICK ÜBER DIE BETRACHTETEN VERFAHREN UND STRATEGIEN

Nachfolgend werden die im Rahmen der Arbeit betrachteten Verfahren beschrieben, die für die Bilanzierung relevanten Kennwerte diskutiert und Kostenschätzungen vorgenommen. Die Strukturierung der Verfahren erfolgt nach den grundsätzlich unterscheidbaren Strategien

- stoffliche Verwertung / Materialrückgewinnung aus Abfällen
- biologische Verwertung von Abfällen
- energetische Verwertung von Abfällen
- umweltverträgliche Behandlung und Ablagerung

Abfallwirtschaftliche Verfahren dienen meist mehreren Zwecken. Tabelle A1 - 1 zeigt die Klassifizierung der Verfahren nach ihrem Haupt- und Nebenzweck.

**Tabelle A1 - 1: Kategorisierung abfallwirtschaftlicher Verfahren nach ihrem Zweck**

Verfahren	Strategie			
	Stoffliche Verwertung	Biologische Verwertung	Energetische Verwertung	Behandlung / Ablagerung
Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe	XXX			
Aussortierung trockener Wertstoffe	XXX		X	
Kompostierung von getrennt erfassten Bioabfällen		XXX		
Vergärung von getrennt erfassten Bioabfällen		XXX	XXX	
<i>Kompostierung von gemischten Siedlungsabfällen</i>	X	XXX	X	XX
<i>Vergärung von gemischten Siedlungsabfällen</i>	X	XX	XXX	XX
Aussortierung heizwertreicher Fraktionen	X		XXX	
Mechanisch – Biologische Stabilisierung (MBS)	X		XXX	XX
Mechanisch – Physikalische Stabilisierung (MPS)	X		XXX	XX
Einfache MBA + Ablagerung	X			XXX
MBA aerob: Stoffstromtrennung + Endrotte	X	X	X	XXX
MBA anaerob: Stoffstromtrennung + Vergärung	X		XXX	XXX
Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk	X		XXX	XX
Thermische Abfallbehandlung	X		XX	XXX
Deponierung / Direkte Ablagerung			X	XXX

**Legende:** XXX – Hauptzweck des Verfahrens  
 XX – Nebenzweck des Verfahrens mit nennenswerten Wirkungen  
 X – Zweck von untergeordneter Bedeutung / Anwendung mit geringem Potential

Die Kompostierung und die Vergärung von gemischten Abfällen sind kursiv dargestellt, da sie sich verfahrenstechnisch nicht von den mechanisch-biologischen Behandlungsverfahren ‚MBA aerob‘ bzw. ‚MBA anaerob‘ unterscheiden. Die Differenzen liegen in den Zielen bzw. im Hauptzweck der Verfahren. Aufgrund der eher schlechten Qualität von Kompost, der aus gemischten Siedlungsabfällen erzeugt wird, werden die Kompostierung und Vergärung von gemischten Abfällen im Rahmen der Arbeit nicht betrachtet.

Auch die Verfahren ‚Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk (EBS-HKW)‘ und ‚Thermische Abfallbehandlung (TAB)‘ sind technologisch identisch, lediglich die Inputmaterialien und die dementsprechende Auslegung der Anlagen unterscheiden sich. Im Rahmen der Arbeit wird angenommen, dass aufgrund der hohen Kosten der thermischen Abfallbehandlung Anlagen in EL nur dann zum Einsatz kommen können, wenn sie einen hohen Energienutzungsgrad haben.

## 2 STOFFLICHE VERWERTUNG / MATERIALRÜCKGEWINNUNG AUS ABFÄLLEN

In Produktionsprozessen als sog. 'Sekundärrohstoff' nutzbare Fraktionen wie Papier, Pappe, Glas, Eisen- und NE-Metalle, Kunststoffe, Textilien und Verpackungsverbunde werden aus dem Abfall separiert, um sie für die Herstellung von neuen Produkten einzusetzen. Ziel ist die Gewinnung möglichst sortenreiner Materialien, durch die Primärrohstoffe substituiert werden. Abfälle im Allgemeinen und Siedlungsabfälle im Besonderen sind jedoch durch eine hohe Stoff- und Materialvielfalt gekennzeichnet, die die Rückgewinnung erschwert. Der Eintrag von Verunreinigungen und Stoffen, die das Recycling behindern, muss daher soweit möglich vermieden bzw. diese müssen in den Rückgewinnungs- und Aufbereitungsprozessen entfernt werden. Hierfür stehen verschiedene Strategien und Verfahren zur Verfügung. Die Separierung der verwertbaren Fraktionen erfolgt entweder bereits direkt am Ort ihrer Entstehung, d.h. beim Abfallerzeuger, wo sie separat von den übrigen Abfällen und anderen Fraktionen bereitgestellt (Getrennte Sammlung) werden. Oder die Wertstoffe werden durch manuelle und maschinelle Aussortierung aus dem Abfallgemisch gewonnen. Je näher an der Quelle und je sorgfältiger die Separierung der Wertstoffe erfolgt, desto besser sind grundsätzlich die erzielbaren Materialqualitäten. Die getrennte Erfassung hat diesbezüglich Vorteile gegenüber der Aussortierung von Wertstoffen aus gemischten Abfällen. Dennoch ist eine weitergehende Aufbereitung auch separat erfasster Sekundärrohstoffe erforderlich, um Störstoffe und Verunreinigungen zu entfernen und die Materialspezifikationen der Verwertungsbetriebe<sup>195</sup> zu erfüllen.

### 2.1 Sammlung einschließlich getrennter Sammlung trockener Wertstoffe

Nachfolgend wird ein technisch einfaches Sammelsystem mit hohem Servicegrad nach dem Prinzip der Haus-zu-Haus-Sammlung beschrieben. Es basiert auf dem Einsatz einfacher, manuell oder durch Tierkraft bewegter Sammel- und Transporttechniken. Die Sammler sortieren die übergebenen Abfälle direkt an der Haustüre oder am Karren vor, der dafür mit einer entsprechenden Anzahl Behälter ausgestattet ist<sup>196</sup>. Für die Sammlung in mehrgeschossigen Wohnungsbauten sind Eimer einzusetzen. Auch spezielle Rucksackkonstruktionen könnten entwickelt werden. Durch den persönlichen Kontakt mit den Abfallerzeugern können die Abfall- und Wertstoffsammler u.U. mit der Zeit darauf hinwirken, dass die Abfallerzeuger zumindest die verschmutzungsempfindlichen Fraktionen, v.a. Papier und Pappe, separat übergeben. Eine Vorsortierung nach nassen und trockenen Fraktionen würde die Materialqualitäten deutlich verbessern. Perspektivisch könnte auch eine Separierung von Problemabfällen<sup>197</sup> vorgesehen werden. Die Abfälle und Wertstoffe werden zum nächsten Sammel- bzw. Umschlagplatz transportiert. Dieser sollte – je nach Besiedlungsdichte - nicht weiter als etwa 500 m entfernt liegen. Dort erfolgt die Umladung der Abfälle in größere genormte Behälter, die dann mit Müllpressfahrzeugen entleert werden. Die Sammel- und Umschlagplätze liegen an verkehrsgünstig gelegenen Standorten, die von den Müllpressfahrzeugen gut erreicht werden können. Sie bilden die Schnittstelle zwischen manueller, personalintensiver Sammlung mit technischem Sammel- und Transportgerät und moderner Sammel- und Transporttechnik. Abbildung A1 - 1 zeigt das Prinzip dieses Systems.

UNEP [2005] gibt an, dass ein Sammler 200 – 300 Wohnungen pro Tag bedienen kann. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Belegung von 4 Personen und einem Abfallaufkommen von 0,6 kg / Person / Tag könnte ein Sammler somit rd. 500 – 700 kg Abfälle pro Tag sammeln. An anderer Stelle wird in der gleichen Veröffentlichung die Sammelleistung mit 300 – 400 kg pro Sammler angegeben.

Die Sammelleistung wird vom Abfallaufkommen beeinflusst. Daher sind die spezifischen Sammelmengen in Abhängigkeit des BIP zu variieren. In Anlage 7 wurde ein Kalkulationsschema entwickelt, um für verschiedene Bebauungsstrukturen und Abfallaufkommen die

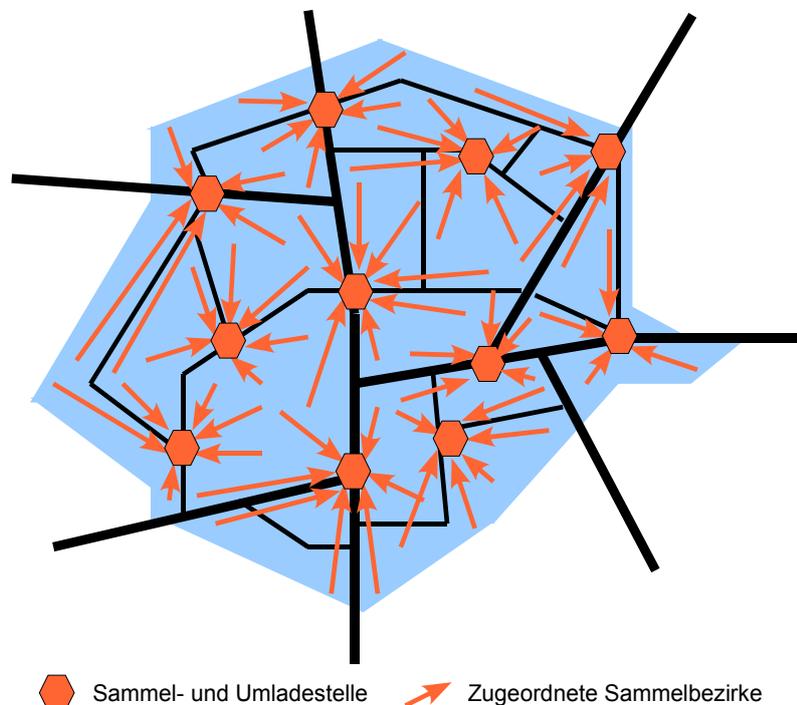
---

195 z.B. Trennung nach Kunststoff- oder Papiersorten, farbliche Separierung von Glas etc.

196 Besonders geeignet im Hinblick auf die Umladung in moderne Müllsammelfahrzeuge erscheinen Handkarren, die mit MGB-Behältern ausgestattet sind.

197 V.a. Batterien, Leuchtstoffröhren, Altöl sind in Abfällen in EL häufig enthalten

Sammelleistungen zu kalkulieren. Dazu wurden Schätzungen vorgenommen, die jedoch der empirischen Überprüfung bedürfen. Danach kann eine Person etwa 550 kg gemischte Abfälle pro Tag in Ländern der Gruppe A – BIP < 2.000 EUR, etwa 600 kg in Länder der Gruppe B – BIP zwischen 2.000 und 4.000 EUR – sowie 650 kg in Ländern der Gruppe C – BIP zwischen 4.000 und 6.0000 EUR sammeln. Bei Trennung von Wertstoffen und Bioabfällen wird die Sammelleistung wegen des höheren Handlingaufwandes in den Kostenrechnungen um jeweils 10% gemindert.



**Abbildung A1 - 1: Prinzip eines personalintensiven Sammelsystems** [Grafik: Pfaff-Simoneit]

Für die Kostenberechnungen werden diese Sammelmengen zugrundegelegt. Tabelle A1 - 2 zeigt die mit diesen Annahmen errechneten Sammelleistungen.

**Tabelle A1 - 2: Sammelleistungen der Primärsammlung in Abhängigkeit des Abfallaufkommens / BIP**

BIP	[€/ Einw.]	1.000 €	2.000 €	3.000 €	4.000 €	5.000 €	6.000 €
<b>Gruppe I und AWK IVa: Einsammlung vermischter Abfälle</b>							
Sammelleistung	[Mg/d*Pers.]	0,5	0,55	0,6	0,6	0,65	0,65
<b>Gruppe II und AWK IVb: Getrennte Sammlung von Wertstoffen und Restabfällen</b>							
Sammelleistung gesamt	[Mg/d*Pers.]	0,45	0,5	0,55	0,55	0,6	0,6
<b>Gruppe III, AWK IVc, IVd: Getrennte Sammlung von Wertstoffen, Bioabfällen und Restabfällen</b>							
Sammelleistung gesamt	[Mg/d*Pers.]	0,4	0,45	0,5	0,5	0,55	0,55

Zusätzlich zum Sammelpersonal werden Fahrer benötigt, die an den zentralen Sammelstellen die in MGB bereit gestellten Abfälle mit Müllpressfahrzeugen abholen, sowie Personal zur Betreuung der Sammelstellen. Die Gefäße für den Umschlag sind in Abhängigkeit der Platz- und Zugangsverhältnisse sowie Rangiermöglichkeiten für LKW auszuwählen. Zur Erleichterung der überwiegend manuell vorzunehmenden Umleerung sind Container mit niedriger Ladekante zu bevorzugen. 1,1 m<sup>3</sup> sind wegen der hohen Ladekante diesbezüglich weniger vorteilhaft, haben jedoch den Vorteil, auf Rollen zu stehen und manuell bewegt werden zu können. Absetz- oder Abrollcontainer sind dagegen standfester, so dass die zu entleerenden Behälter an der Kante angelehnt werden können. Einen guten Kompromiss stellen ggf. rollbare U5-MGB dar, die beide Vorteile vereinen.

Für die Ermittlung der Kosten der Sekundärsammlung wurde eine überschlägige Kostenkalkulation durchgeführt. Dabei wurden die in Tabelle A1 - 3 dargestellten Annahmen getroffen.

**Tabelle A1 - 3: Annahmen zur Kalkulation der Kosten der Sekundärsammlung**

Müllfahrzeug		Müllgefäß		Sammlung und Transport	
Nutzlast	16 Mg	Volumen	MGB 1.100 l	Ladezeit	60 s/Behälter
Einsatzzeit	12 h/d	Ausnutzung	90%	Zwischenfahrzeit	60 s/Standort
Kosten	400 EUR/d	Dichte im Behälter	0,3 kg/l	Transportzeit	2 h/Tour

Mit diesen Werten errechnen sich Kosten für die Sekundärsammlung zwischen etwa 6 – 8 EUR/Mg. Unter Einbeziehung der Behälterkosten, Personalkosten für Fahrer, Personal an den Umladestellen und Reservehaltung für das Fahrzeug können die Kosten der Sekundärsammlung überschlägig mit 10 EUR/Mg kalkuliert werden.

Die Kosten der Primärsammlung werden in hohem Maße von den Lohnkosten und vom Sammelrhythmus beeinflusst. In Tabelle A1 - 4 sind Orientierungswerte gegeben. Sie gelten für eine tägliche Sammlung und bei einer Entlohnung, die 50% des BIP entspricht. Dies liegt deutlich über den üblichen Löhnen für Arbeiter in EL. Ziel ist, durch eine überdurchschnittliche Entlohnung die Tätigkeit attraktiv zu machen und die soziale Anerkennung zu fördern. Meist entspricht der Lohn einfacher Arbeiter nur etwa 20 – 30% des BIP [KfW o.J.].

**Tabelle A1 - 4: Kosten von Sammlung und Transport in Abhängigkeit des BIP**

BIP	[€/ Einw.]	1.000 €	2.000 €	3.000 €	4.000 €	5.000 €	6.000 €
<b>Gruppe I und AWK IVa: Einsammlung vermischter Abfälle</b>							
Kosten pro Mg	[€ / Mg]	13 €	16 €	18 €	21 €	23 €	25 €
<b>Gruppe II und AWK IVb: Getrennte Sammlung von Wertstoffen und Restabfällen</b>							
Kosten pro Mg Restabfall	[€ / Mg]	14 €	17 €	19 €	22 €	24 €	27 €
Kosten pro Mg Wertstoffe	[€ / Mg]	17 €	22 €	23 €	26 €	27 €	30 €
<b>Gruppe III, AWK IVc, IVd: Getrennte Sammlung von Wertstoffen, Bioabfällen und Restabfällen</b>							
Kosten pro Mg Restabfall	[€ / Mg]	14 €	17 €	20 €	23 €	25 €	28 €
Kosten pro Mg Wertstoffe	[€ / Mg]	17 €	22 €	23 €	26 €	27 €	30 €
Kosten pro Mg Bioabfall	[€ / Mg]	14 €	18 €	21 €	25 €	28 €	32 €

Die Netto-Sammelzeit wurde mit etwa 7 Stunden pro Tag angenommen, da auch Arbeitszeit für An- und Abmarsch, Reinigung der Gefäße und Karren und sonstige Nebenarbeiten berücksichtigt werden müssen. Mit diesen Annahmen ergeben sich die in Tabelle A1 - 4 dargestellten Kosten für Sammlung und Transport. Bei längerer täglicher Arbeits- und Sammelzeit sowie bei der Ausdehnung des Sammelrhythmus auf zwei Tage verringern sich die Sammelkosten und der Personalbedarf.

Tabelle A1 - 5 zeigt den Personalbedarf der Abfallsammlung einschließlich getrennter Sammlung von Wertstoffen und Bioabfällen. Im Hinblick auf die Generierung von Beschäftigung hat die Konzeption des Sammelrhythmus die mit Abstand höchste Bedeutung.

**Tabelle A1 - 5: Personalbedarf der Abfallsammlung in Abhängigkeit des BIP**

BIP [€/ Einw.]	< 2.000 €	2.000 €- 4.000 €	4.000 €- 6.000 €
<b>Gruppe I und AWK IVa: Einsammlung vermischter Abfälle [Pers./1.000 jato]</b>			
Primärsammlung	6 - 8	5 - 7	5 - 6
Sekundärsammlung + Transport	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4
Betreuung Sammelplätze	1 - 2	1 - 2	1 - 2
<b>Gesamt</b>	<b>8 - 11</b>	<b>7 - 10</b>	<b>7 - 9</b>
<b>Gruppe II und AWK IVb: Getrennte Sammlung von Wertstoffen und Restabfällen</b>			
Primärsammlung	7 - 9	6 - 8	6 - 7
Sekundärsammlung + Transport	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5
Betreuung Sammelplätze	1 - 2	1 - 2	1 - 2
<b>Gesamt</b>	<b>9 - 12</b>	<b>8 - 11</b>	<b>8 - 10</b>
<b>Gruppe III, AWK IVc, IVd: Getrennte Sammlung von Wertstoffen, Bio- und Restabfällen</b>			
Primärsammlung	8 - 10	7 - 9	7 - 8
Sekundärsammlung + Transport	0,4 - 0,6	0,4 - 0,6	0,4 - 0,6
Betreuung Sammelplätze	2 - 3	2 - 3	2 - 3
<b>Gesamt</b>	<b>11 - 14</b>	<b>10 - 13</b>	<b>10 - 12</b>

## 2.2 Aussortierung trockener Wertstoffe zur stofflichen Verwertung

Die Aussortierung verwertbarer Stoffe aus dem Abfallgemisch ist die in EL weltweit verbreitete Standardmethode der informellen Müllsammler. Sie lesen die Wertstoffe aus den zur Abfuhr bereitgestellten und den auf den Müllkippen angelieferten Abfallgemischen heraus. Sowohl die Ausbringungsmengen als auch die Qualitäten sind aufgrund der angewandten ineffizienten Methoden und der Vermischung mit verunreinigenden Stoffen nicht optimal.

Aufgrund mangelnden Vertrauens der Projektträger in die Mitwirkungsbereitschaft der Abfallerzeuger wird in Abfallwirtschaftsprojekten in EL überwiegend die Installierung von Sortier- und Aufbereitungsanlagen für gemischte Abfälle als Maßnahme der Wertstoffrückgewinnung einer getrennten Sammlung vorgezogen. Hierfür kommen sowohl manuelle als auch technische Sortier- und Aufbereitungsverfahren zur Anwendung. Die Aufbereitungstiefe hängt von der angestrebten bzw. vom Abnehmer und den Marktbedingungen<sup>198</sup> gestellten Anforderungen sowie den Erlöserwartungen ab. Die Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich Sortierreinheit, Menge und Qualität der ausgebrachten Wertstoffe, Organisationsaufwand und Kosten. Es können folgende Verfahrenskonfigurationen unterschieden werden [Bilitewski et al. 2009]:

- Einfache Verfahrenskonfigurationen: geringer Automatisierungsgrad mit wenigen technischen Hilfsmitteln, hoher Personaleinsatz mit hohem Beschäftigungspotential
- Fortgeschrittene Konfigurationen: höherer Automatisierungsgrad und maschinelle Ausstattung, dadurch geringerer Personalaufwand
- Hochtechnisierte Konfigurationen: Prozesse und Techniken, die speziell mit dem Ziel einer weitestgehend automatisierten Aufbereitung entwickelt wurden. Häufig handelt es sich dabei um speziell an lokale Erfordernisse angepasste Lösungen, welche nicht ohne Weiteres auf andere Einsatzgebiete übertragen werden können

Die Ausbringungsmengen der manuellen Auslese werden durch die technische Unterstüt-

198 Nachfrage, Qualität / Spezifikationen, Mengen, Preise / Erlöse

zung erhöht, jedoch ist die Qualität der Stoffe, die aus gemischten Abfällen separiert werden, insbesondere der biologisch abbaubaren (Papier, Pappe), grundsätzlich geringer als bei der sortenreinen, getrennten Erfassung. Sie sind für eine hochwertige Verwertung weniger geeignet. Glas und Metalle sind gegen organische Verunreinigungen weitgehend unempfindlich, Kunststoffe müssen sorgfältig gereinigt werden als Voraussetzung für eine stoffliche Verwertung. Dennoch ist der Beitrag der Aussortierung und Aufbereitung von Wertstoffen aus Abfallgemischen zum Ressourcenschutz hoch.

### 2.3 Treibhausgasminderungen und Energieeinsparung durch stoffliche Verwertung

Die durch Recycling bewirkten Energie- und THG-Einsparungen schwanken in weiten Grenzen, je nach Produkt und Spezifikation, Rohstoffbasis und -aufbereitung, Energiemix und Transportaufwand. Tabelle A1 - 6 zeigt die THG-Wirkungen des Recycling für Nordeuropa, Australien und die USA [ISWA 2009, RMIT 2009, US EPA 2006 – zit. in Bifa 2012] sowie auf der Grundlage einer EU-weiten Erhebung [Prognos et al 2008 sowie Dehoust et al. 2010].

**Tabelle A1 - 6: THG-Minderung durch Recycling**

Fraktion	THG-Minderung [kg CO <sub>2</sub> -äqu. / Mg recycelten Materials]			
	Nordeuropa	Australien	USA	EU
Bioabfälle	k.A.	25 - 32	k.A.	8
PPK	600 – 2.500	600 – 1.040	838 - 937	820
Glas	500	560 - 620	88	180
FE-Metalle	2.000	400 - 440	540	1000
NE-Metalle / Aluminium	10.000	15-850 - 17.720	4.079	10000
Kunststoffe	0 – 1.000	1.530 – 1.590	0 - 507	1600
Verbundverpackungen	k.A.	k.A.	k.A.	900
Textilien	k.A.	k.A.	k.A.	2800
Holz	k.A.	k.A.	k.A.	920

Die durch Substitution von Primärrohstoffen bewirkten Energieeinsparungen werden in Anlehnung an Fricke et al. [2009] angenommen. Diese bewegen sich zwischen 10 MJ/kg Material für Textilien, Glas und Stahl über 25 MJ/kg für PPK, Holz und Verpackungsverbunde, 40 MJ/kg für Kunststoffe und 100 MJ/kg für NE-Metalle. Die Energieeinsparung durch Recycling beträgt somit ein Mehrfaches der Heizwerte der energetisch nutzbaren Stoffe.

### 2.4 Arbeitskräftebedarf

Nach der Einsammlung der Abfälle bietet die Sortierung und Aufbereitung von Abfällen das höchste Beschäftigungspotential auch für weniger qualifizierte Personen. Selbst Analphabeten können für einfache Tätigkeiten angelernt werden. Der Personalbedarf ist abhängig vom Durchsatz, dem Mechanisierungsgrad, der Zahl der Arbeitsschichten und der Art der aussortierten Materialien. Die Beschäftigungswirkung ist bei den einfachen und mit Abstrichen bei den fortschrittlichen Verfahrensprinzipien groß, bei den hochtechnisierten Verfahren gering. Der Arbeitskräftebedarf kann auf Grundlage der Angaben von [Bilitewski et al. 2009] für einfache Sortieranlagen für Altpapier und Leichtverpackungen mit 4 – 6 Personen pro 1.000 Mg/a Durchsatz abgeschätzt werden. Bei fortschrittlichen Konfigurationen beträgt er 2 – 4 Personen, bei hochtechnisierten Verfahrenskonfigurationen sind keine Angaben verfügbar, sie dürften jedoch etwa 0,5 – 1 Person pro 1.000 Mg/a Durchsatz betragen. Zugleich gilt: Je höher automatisiert die Verfahren, desto höher qualifizierte Arbeitskräfte sind erforderlich.

### 2.5 Kosten

Die Kosten der Sortierung trockener Wertstoffe werden in hohem Maße von der Art und Menge der aussortierten Wertstoffe bestimmt. Darüber hinaus haben der Grad der Automatisierung und die Personalkosten Einfluss. Die Gesamtmüllsortierung wird in Deutschland

nicht mehr praktiziert, daher sind allgemeine Kostenangaben weder möglich noch sinnvoll.

Für den Einsatz in EL sind in erster Linie einfache oder allenfalls fortschrittliche Konfigurationen vorteilhafter, da sie geringere Investitionskosten haben und mehr Beschäftigung generieren. Der Kostenfaktor 'Personal' hat weitaus geringere Bedeutung als in IL. Mangels geeigneter Grundlagendaten wurde in Anlage 7 eine überschlägige Kalkulation der Kosten der Sortierung bei einfacher Anlagenkonfiguration vorgenommen.

Im Unterschied zur Aussortierung von Materialien zur stofflichen Verwertung trockener Wertstoffe ist bei der Separierung heizwertreicher Materialien die Problematik der Verunreinigung weniger bedeutsam. Die Materialausbeute ist daher höher, der Arbeitskräftebedarf geringer als für die Sortierung von Materialien für eine stoffliche Verwertung. Jedoch sind die Potentiale auch niedriger, so dass die Kosten nur etwas geringer ausfallen.

## 2.6 Kennwerte der Sortierung trockener Wertstoffe

Tabelle A1 - 7 zeigt die für die Bilanzierung und Beurteilung relevanten Kennwerte der Sortierung trockener Wertstoffe.

**Tabelle A1 - 7: Kennwerte der Sortierung trockener Wertstoffe**

<b>Sortierung trockener Wertstoffe</b>			
Systeme	Einfache Verfahrens- konfigurationen	Fortgeschrittene Verfah- renskonfigurationen	Hochtechnisierte Verfah- renskonfigurationen
Energiebedarf	gering / vernachlässigbar	gering / vernachlässigbar	erhöht
Treibhausgasemissionen	s. Tabelle A1 - 6		
Beschäftigungswirkung	4 – 6 Personen/1.000 jato	2 – 4 Personen/1.000 jato	0,5 – 1 Person/1.000 jato (Schätzung)
Investitionen Sortierkosten: Stoffliche Verwertung: Energetische Verwertung	100 – 150 EUR/jato  22 – 30 EUR/Mg 18 – 25 EUR/Mg	k.A.	k.A.

### 3 BIOLOGISCHE VERWERTUNG

#### 3.1 Ziele und Merkmale der Strategie

Die biologische Verwertung hat die Erzeugung von Humus und Bodensubstraten zum Ziel. Dazu werden aerobe - sog. 'Rotteverfahren' - und anaerobe - 'Fermentation' - Verfahren eingesetzt. Die anaerobe Behandlung dient zugleich der Erzeugung von Biogas. Kompost und Substrate sind in der Landwirtschaft, im Garten- und Landschaftsbau, in Sonderkulturen<sup>199</sup>, Erdenwerken und Kleingärten einsetzbar und können andere Bodenverbesserungsmittel wie Torf und Mineraldünger ganz oder teilweise substituieren. Humus hat positive Auswirkungen auf den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und ist besonders für Regionen empfehlenswert, in denen landwirtschaftliche Böden ausgezehrt und übernutzt sind. Die regelmäßige Gabe versorgt die Böden mit Nährstoffen (Düngeeffekt), verbessert die Bodenstruktur und erhöht die Wasserspeicherfähigkeiten. Die Siebreste sind als Deponieabdeckung und Biofilter nutzbar.

Voraussetzung für die biologische Verwertung ist ein gesicherter, dauerhafter Absatz, was nur mit hochwertigen, d.h. schad- und störstoffarmen<sup>200</sup> sowie nährstoffreichen Komposten und Substraten möglich ist. Strategien der Aussortierung bzw. maschinellen Sortierung und Siebung von organischen Bestandteilen aus gemischten Siedlungsabfällen sind weniger empfehlenswert, da damit nur minderwertige Produkte erzeugt werden, die lediglich für untergeordnete Einsatzzwecke<sup>201</sup> nutzbar sind. Die Einhaltung der erforderlichen Güte und Umweltsicherheit sollte durch Entwicklung von Qualitätsstandards und die Einführung eines Überwachungs- und Zertifizierungssystems unterstützt werden.

Die biologische Behandlung gemischter Abfälle wird bei den Behandlungsverfahren diskutiert.

#### 3.2 Getrennte Erfassung von Bioabfällen

Für die Gewährleistung einer hohen Qualität der Produkte der biologischen Verwertung ist die möglichst sortenreine Erfassung der biologischen Abfälle anzustreben. Die in Europa praktizierte Bereitstellung separater Behälter für Bioabfälle ist für EL i.d.R. allerdings weniger geeignet. Das Prinzip der den Haushalten oder Grundstücken individuell zugeordneten Abfallbehälter ist in EL weitgehend unbekannt. Dementsprechend liegen mit der separaten Sammlung von Bioabfällen in eigens dafür bereitgestellten Behältern kaum Erfahrungen vor. Ein Modellversuch in Béja/Tunesien hat gezeigt, dass die Behälter zweckentfremdet werden und diese Form der getrennten Sammlung hohe Kosten verursacht. Die getrennte Bioabfallsammlung erfordert die Mitwirkung der Abfallerzeuger. Dafür müssen auf beiden Seiten - Kommunalverwaltungen und Bürger – die Kenntnisse über die Verwertbarkeit der Bioabfälle und die Bereitschaft, diese im Haushalt zu trennen, entwickelt werden. Ein solches System passt zumindest nicht zu Beginn des Aufbaus eines Abfallwirtschaftssystems in die Lebenswirklichkeit der Menschen in EL und erscheint nur auf längere Sicht oder in Ausnahmefällen von Beginn an realisierbar.

Hingegen zeigen die Erfahrungen der informellen Müllsammler in Kairo, dass durch einen arbeits- und personalintensiven Sammelservice (vgl. Kap. 2.1) hohe Rückführungsquoten auch für organische Abfälle erreicht werden können. Selbst wenn die Art der Verwertung – Verfütterung an Schweine - als hygienisch bedenklich bewertet werden muss, zeigt dieses Beispiel, dass mit angepassten Sammelsystemen und hohem Personaleinsatz auch unter städtebaulich schwierigen Bedingungen selbst bei Bioabfällen hohe Erfassungsquoten und Qualitäten erreicht werden können<sup>202</sup>. Allerdings liegen kaum Erfahrungen vor, inwieweit dieser Ansatz auch in anderen Kulturkreisen umgesetzt werden kann.

---

199 z.B. Obst-, Wein-, Spargel-, Olivenanbau

200 Störstoffe beeinträchtigen nicht die bodenverbessernden Eigenschaften, jedoch die Verarbeitung und Ausbringung (v.a. Steine, Glas- und Tonscherben) oder mindern optisch die Qualität (v.a. Glassplitter, Kunststoffteile, Ohrstäbchen etc.)

201 Rekultivierung und Abdeckung von Deponien und Müllkippen, Rehabilitierung von Minen, Steinbrüchen etc.

202 Die sog. 'Zabaleen' nutzen die Essensreste für die Fütterung ihrer Schweine und nicht für die Erzeugung von Kompost. Der Verkauf der Schweine stellt die wesentliche Einkommensquelle dar. Im Sommer 2009 wurden allerdings auf Anordnung der ägyptischen Gesundheitsbehörde unter dem Vorwand der Vorbeugung gegen die Schweinegrippe die Schweine der Zabaleen getötet und damit dem bislang gut funktionierenden Verwertungssystem, mit dem Recyclingquoten von 80% und mehr erreicht wurden, die Grundlage entzogen [Drabinski 2009].

Kölsch [2010] berichtet von einem Versuch in China, wo durch den Ankauf von organischen Abfällen hohe Sammelquoten erreicht werden konnten. Bereits ab einem Betrag von umgerechnet etwa 6 EUR/t waren informelle Müllsammler bereit, organische Abfälle sortenrein zu erfassen und zur geplanten Kompostierungsanlage zu transportieren. Die - aus Sicht des Anlagenbetreibers bzw. der Kommunalverwaltung – quasi ‚Sammelkosten‘ lagen damit weit aus niedriger, als ein Sammelsystem mit getrennten Behältern kosten würde.

Ein relativ einfach zu organisierender Einstieg in die sortenreine Erfassung und Verwertung von Bioabfällen kann in der gezielten Auswahl der Anfallstellen und Sammelgebiete liegen, z.B. Abfälle von Obst- und Gemüsemärkten, aus Parks und Grünanlagen, Lebensmittelverarbeitungsbetrieben etc., wo Bioabfälle das Gros der Abfälle bilden. Die noch enthaltenen Stör- und evt. Schadstoffe können auf einfache Weise im ersten Aufbereitungsschritt entfernt werden. Dazu muss keine aufwändige getrennte Bioabfallsammlung implementiert werden. Auch Sammelverfahren für Siedlungsabfälle können geeignet sein, da vielfach Anlieferungen mit hohen Organikanteilen bis hin zu reinen Monochargen angeliefert werden. Durch Qualitätskontrollen bereits bei der Anlieferung in Form einer gezielten Auswahl der Sammelfahrzeuge mit hohen Anteilen organischer Abfälle oder Organisation entsprechender Sammel Touren kann ein erheblicher Beitrag zur Qualitätssicherung erreicht werden. Auf diese Weise kann die Verwertung von Bioabfällen zunächst auch ohne getrennte Erfassung eingeführt werden. Entscheidungsträger und Bevölkerung können am konkreten Beispiel über die positiven Eigenschaften von Kompost und Substraten informiert und die Verfahren veranschaulicht und bekannt gemacht werden. Die getrennte Bioabfallsammlung lässt sich dann zu einem späteren Zeitpunkt leichter einführen.

### 3.3 Kompostierung

#### 3.3.1 Verfahrensübersicht

Bei der Kompostierung werden biologisch abbaubare Abfälle, v.a. Küchen-, Garten-, Grün- und Marktabfälle, Reste aus der Lebensmittelherstellung etc., unter aeroben Bedingungen durch mikrobiologische Prozesse zu CO<sub>2</sub>, Wasser und Humusverbindungen umgesetzt. Abbildung A1 - 2 gibt eine Übersicht über die verfahrenstechnischen Merkmale der Verfahren.

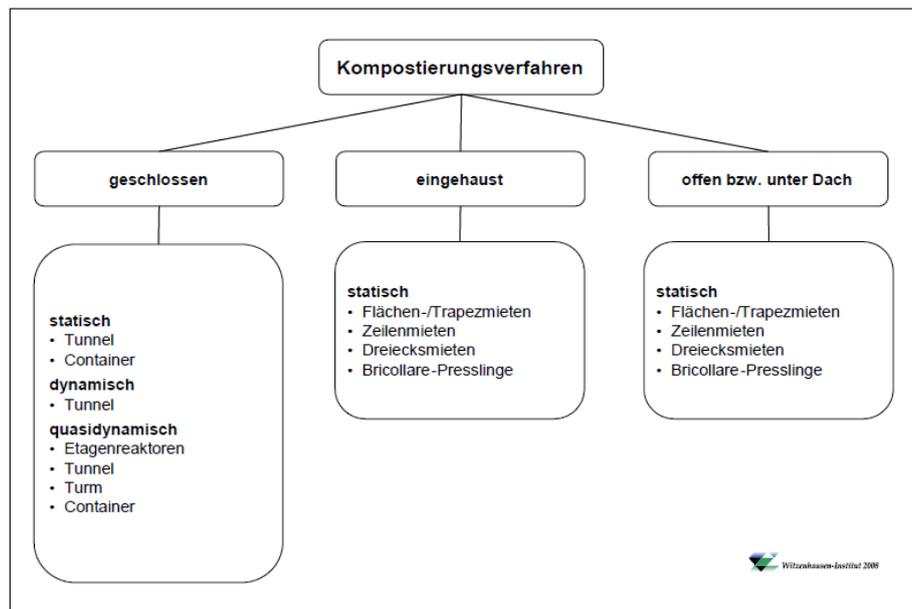


Abbildung A1 - 2: Systemübersicht Kompostierungsverfahren [Kern et al. 2010]

Die Bandbreite der Kompostierungsverfahren reicht von einfachen Prozesskonfigurationen mit geringem Automatisierungsgrad und wenigen technischen Hilfsmitteln (offene Mietenkompostierung) bis hin zu weitgehend automatisierten, geschlossenen Systemen. Verfahrenstechnisch können unterschieden werden:

- offene oder geschlossene Verfahren

- natürliche (passive) oder aktive Belüftung
- statische oder dynamische Verfahren

Offene Systeme zeichnen sich durch geringe Investitions- und Betriebskosten aus. Sie werden sowohl mit natürlicher (passiver) wie mit aktiver Belüftung betrieben. Gegen Witterungseinflüsse werden sie entweder überdacht oder durch semi-permeable Folien geschützt. Offene Verfahren haben eher Probleme mit Geruchsemissionen, längeren Rottezeiten und sind witterungsabhängig, was die Einstellung günstiger Rottebedingungen erschwert. Offene Systeme sind grundsätzlich statische Systeme.

Bei geschlossenen Systemen erfolgt der Abbau unter kontrollierten Bedingungen in geschlossenen Räumen oder Behältern. Der Prozess ist steuerbar, wodurch sich die Rottezeiten verkürzen. Emissionen können gefasst und behandelt werden. Die Produktqualitäten sind i.d.R. besser. Es kommen sowohl statische (Container, Rotteboxen) als auch dynamische Systeme (Tafelmieten, Rottetrommeln) zum Einsatz.

Die aerobe Behandlung kann auch als biologische Stufe bei der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von gemischten Abfällen vor der Ablagerung eingesetzt werden (s. Kap. A 5.2). Das Verfahrensziel besteht dabei im Unterschied zur Kompostierung darin, die Ablagerungseigenschaften der Abfälle zu verbessern und das Emissionspotential durch einen möglichst weitgehenden Abbau unter kontrollierten Bedingungen zu reduzieren. Zwar können auch bei diesem Prozess durch Absiebung der Feianteile kulturfähige Substrate gewonnen werden. Diese verfügen allerdings nur über eine minderwertige Qualität. Die Nachhaltigkeit dieser Strategie der Bodensubstratgewinnung ist aufgrund des ungesicherten Absatzes nicht gewährleistet.

### 3.3.2 Energiebedarf

Der Betrieb von Kompostierungsanlagen erfordert die Zufuhr von externer Energie für folgende Prozessschritte [Kühle-Weidemeier et al. 2011]:

- mechanische Behandlung vor und nach dem Kompostierungsprozess
- Zwangsbelüftung sowie Erfassung und Behandlung von Abluft
- Umsetzung und Ausbringung des Komposts

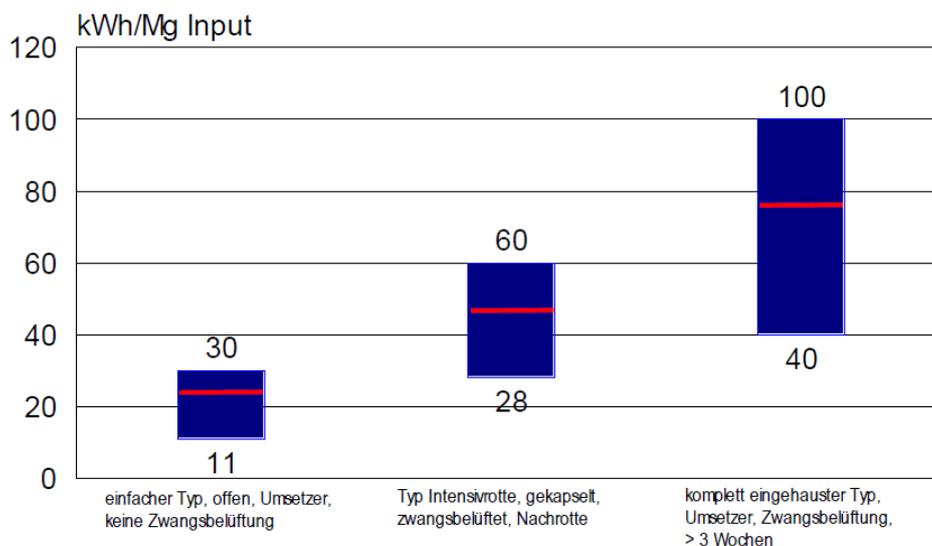
Die Anlagenkonfiguration und das Rotteverfahren (offen oder geschlossen) sowie vor allem die Lüftungstechnik (Druck- oder Saugbelüftung, Hallenlüftung sowie Abluftreinigung) haben entscheidenden Einfluss auf den Energiebedarf von Kompostierungsanlagen. Daneben bestimmen der angestrebte Rottegrad über die Rottedauer entscheidend den Energieverbrauch. Bedeutsam sind ferner die Art und Anzahl der eingesetzten Aufbereitungsaggregate (Grobaufbereitung, Konfektionierung). Mit zunehmender Komplexität der Anlagenkonfiguration steigt zwangsläufig auch der Energiebedarf.

Kern et al. [2010] haben eine Aufteilung nach folgenden Typen vorgenommen und die spezifischen Energieverbräuche von Kompostierungsanlagen ermittelt.

- Typ A: einfache Anlagen wie z. B. offene Mietenkompostierungen mit Aggregaten (z. B. Shredder und Siebmaschine) sowie selbstfahrendem Umsetzer und Radlader: Energiebedarf ca. 10 – 30 kWh/Mg
- Typ B: komplexere, teilgekapselte Anlagen mit gekapselter Intensivrotte (1 – 3 Wochen), offener Nachrotte und Lüftungstechnik im Intensivrotteprozess. Dazu zählen z. B. Boxen-/Tunnelkompostierungsverfahren oder Verfahren unter Plane mit Druck- oder Saugbelüftung und Biofilter: Energiebedarf ca. 30 – 60 kWh/Mg
- Typ C: sehr komplexe Anlagen: vollständig eingehaust, z. B. Tafelmieten, mit vollständiger Aufbereitungstechnik sowie umfangreichen technischen Einrichtungen zur Luftreinigung bzw. -reinigung (Absaugung, Lüfter, Biofilter), gekapselter Intensivrotte, vollständig eingehauster Nachrotte, Druck- oder Saugbelüftung mit Biofilter (2 – 6 Wochen): Energiebedarf ca. 40 – 100 kWh/Mg

Abbildung A1 - 3 zeigt die Spannbreiten des Energiebedarfs für die verschiedenen Typen von Kompostierungsanlagen. Nutzbare Energie kann i.d.R. nicht gewonnen werden. Allen-

falls in Sondersituationen kann die Abwärme der Kompostmieten für minderwertige Anwendungen<sup>203</sup> genutzt werden.



**Abbildung A1 - 3: Energiebedarf zur Kompostherstellung nach Anlagentypen** [Kern et al. 2010]

Die benötigte Energie wird in Form von Strom und Diesel zugeführt. Strom wird v.a. für die Belüftung und Abluftbehandlung sowie stationäre mechanische Aggregate benötigt, Diesel für den Betrieb der mobilen Geräte, v.a. für Umsetzung und anlageninterne Transporte. Dementsprechend überwiegt bei natürlich belüfteten Verfahren der Anteil des Diesels, bei zwangsbelüfteten und eingehausten Anlagen dominiert der Stromverbrauch.

Die Anwendung von Kompost trägt indirekt zur Energieeinsparung bei. Springer [2010] quantifiziert die Primärenergieeinsparung durch die Anwendung von Kompost, bezogen auf die Verwertungsstruktur in Deutschland, auf ca. 500 MJ/Mg entsprechend 0,5 MJ/kg Bioabfall. Dieser Wert ergibt sich durch die Substitution von Mineraldünger, wodurch eine Einsparung von 680 – 796 MJ/Mg TM für Fertig- und Frischkompost erreicht wird. Dieser im Vergleich zur Energieeinsparung bei der Substitution von Primärrohstoffen (vgl. Kap. 2.3) geringe Wert bleibt daher in der Bilanzierung unberücksichtigt.

Weitere potentielle Möglichkeiten zur Energieeinsparung, die durch Kompostanwendung ermöglicht werden, liegen in der energetischen Nutzung des Getreidestrohs, da es nicht mehr zur Humusreproduktion auf den Ackerflächen verbleiben muss. Kern et al. [2010] geben an, dass pro t Kompost-Trockenmasse etwa 1,5 Mg Stroh entnommen und für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehen könnten. Das theoretische Energieeinsparpotential durch Nutzung des nicht mehr benötigten Getreidestrohs beziffert Springer [2010] mit 12.000 – 14.200 MJ/Mg TM entsprechend etwa 4.000 MJ/Mg bzw. 4 MJ/kg Bioabfall. Dieser Effekt bleibt jedoch im Rahmen der in dieser Arbeit vorgenommenen Bilanzierung unberücksichtigt, da hierfür weitere Maßnahmen umgesetzt werden müssten, die nicht Bestandteil der untersuchten Abfallwirtschaftskonzeptionen sind.

### 3.3.3 Treibhausgasemissionen

Durch den mikrobiellen Abbau der organischen Substanz entstehen klimawirksame Gase. Bedeutsam sind vor allem Stickstoffverbindungen in Form von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie die Kohlenstoffverbindung Methan (CH<sub>4</sub>). Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Produkt der biologischen Abbauprozesse wird als klimaneutral betrachtet, da es zuvor bei der Bildung der Biomasse assimiliert wurde.

Abbildung A1 - 4 zeigt die spezifischen THG-Emissionen verschiedener Kompostierungsverfahren sowie der Vergärung und die Quellen innerhalb der Prozesse in CO<sub>2</sub>-äqu. Daraus ist ersichtlich, dass geschlossene Verfahren geringere Emissionen aufweisen als offene. Für

203 z.B. Beheizung von Gewächshäusern

Anlagen in EL werden die höheren Werte in den gezeigten Spannbreiten zugrundegelegt, da davon ausgegangen wird, dass die bei Anlagen in Deutschland realisierten Minderungspotentiale in EL aufgrund der geringeren Erfahrungen des Anlagenpersonals nicht ausgeschöpft werden.

Ferner sind die aus dem Energieverbrauch für den Anlagenbetrieb resultierenden THG-Emissionen zu berücksichtigen. Sie werden von der Art der eingesetzten Aggregate und deren Energiequelle (Strom, Diesel) sowie dem Strommix beeinflusst.

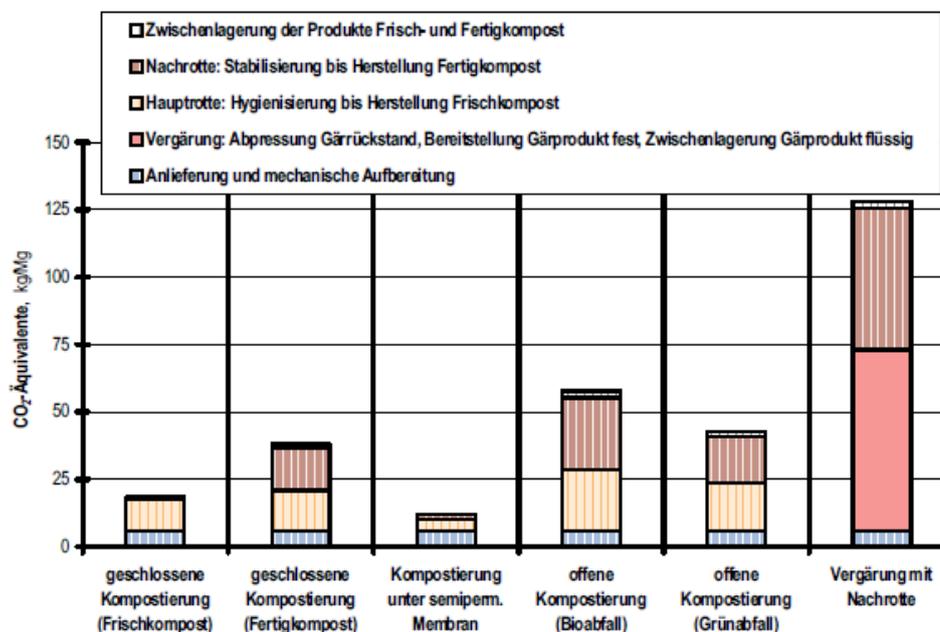


Abbildung A1 - 4: THG-Emissionen unterschiedlicher Verfahren der Biobfallbehandlung [Cuhls et al. 2011]

### 3.3.4 Arbeitskräftebedarf

Der Personalbedarf der Kompostierungsanlagen hängt in hohem Maße von der Größe und dem Maschinisierungsgrad ab. Bei kleinen Anlagen bis etwa 20.000 jato Durchsatz beträgt er etwa 10 – 15 Personen, wobei überwiegend qualifizierte, für die Leitung der Anlage sogar nur gut qualifizierte Kräfte eingesetzt werden können. Bei größeren Anlagen bis etwa 50.000 jato Durchsatz werden etwa 15 – 20 Personen benötigt, bei sehr großen Anlagen mit etwa 100.000 jato Durchsatz etwa 30 – 35 Personen. Die Beschäftigungswirkung der Kompostierungsanlagen liegt somit zwischen etwa 0,3 – 1 Person pro 1.000 jato.

Für die Leitung der Anlagen wird ein Betriebsleiter, bei größeren Anlagen auch ein kaufmännischer Leiter benötigt, bei den Arbeitern sind ein Maschinenschlosser und Elektriker als Fachpersonal erforderlich. Bei Intensivrotteanlagen ist der Bedarf an Facharbeitern höher. Der Anteil des Führungspersonals liegt somit bei 10 – 15% des Personals.

### 3.3.5 Kosten

Die Behandlungskosten (Vollkosten) liegen in Deutschland je nach Art und Qualität der Ausgangsprodukte (Grün- oder Bioabfall, Anteile Strukturmaterial) und dem erforderlichen verfahrenstechnischen Aufwand (v.a. für Zerkleinerung, Störstoffseparierung, Belüftung) bei etwa 20 – 40 EUR/t bei einfachen, kleineren Anlagen, die überwiegend Grünabfälle verarbeiten, bis zu 100 EUR/t bei großtechnischen Anlagen, die überwiegend strukturarme Abfälle verarbeiten und einen hohen Belüftungsaufwand haben.

Geschlossene Systeme sind - je nach Automatisierungsgrad und verfahrenstechnischem Aufwand - sowohl hinsichtlich Investitions- als auch Betriebskosten erheblich teurer als einfache offene Verfahren. Die spezifischen Investitionskosten bewegen sich zwischen etwa 100 und 150 EUR/Mg Jahreskapazität für einfache Anlagen und bis zu 250 – 350 EUR/Mg

bei komplexen Anlagen. Die spezifischen Behandlungskosten der Bioabfallkompostierung liegen bei 30 – 50 EUR/Mg in einfachen Anlagen und 50 – 100 EUR/Mg in komplexen Anlagen [Bilitewski et al. 2009; Hogg et al. 2001].

### 3.3.6 Kennwerte der Kompostierung

Tabelle A1 - 8 zeigt die für die Bilanzierung und Beurteilung relevanten Kennwerte der Kompostierungsverfahren.

**Tabelle A1 - 8: Kennwerte der Kompostierung**

<b>Kompostierung Bioabfall</b>			
Systeme	Einfache Systeme / Mietenkompostierung aktive Belüftung	Teilgekapselte Anlagen mit Zwangsbelüftung	Vollständig eingehauste Systeme/ Intensivrotte
Energiebedarf (eigene Zusammenstellung nach [Kern et al. 2010] [Kühle-Weidemeier et al. 2011])	Gesamt: 10 – 30 kWh/Mg Strom: 5 – 10 kWh/Mg Diesel: 5 – 20 kWh/Mg (v.a. für Zerkleinerung und Umsetzung)	Gesamt: 30 – 60 kWh/Mg Strom: 15 – 25 kWh/Mg Diesel: 10 – 30 kWh/Mg	Gesamt: 40 – 80 kWh/Mg Strom: 30 – 45 kWh/Mg Diesel: 10 – 35 kWh/Mg
Treibhausgasmissionen aus Prozess [Cuhls et al. 2008]  aus Energieverbrauch	120 – 270 g N <sub>2</sub> O/Mg 1,6 – 2,1 kg CH <sub>4</sub> /Mg 0,55 – 1,4 kg NH <sub>3</sub> /Mg 80 – 140 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 4 – 12 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg	49 - 120 g N <sub>2</sub> O/Mg 0,12 – 1,5 kg CH <sub>4</sub> /Mg 15 – 110 g NH <sub>3</sub> /Mg 18 – 75 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 15 – 30 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg	49 - 120 g N <sub>2</sub> O/Mg 0,12 – 1,5 kg CH <sub>4</sub> /Mg 15 – 110 g NH <sub>3</sub> /Mg 18 – 75 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 20 – 40 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg
Beschäftigungswirkung	0,7 – 1 Person/1.000 jato	0,3 – 1 Person/1.000 jato	0,3 – 0,5 Person/1.000 jato
Investitionen Behandlungskosten	100 – 150 EUR/jato 20 – 40 EUR / Mg	180 – 250 EUR/jato 50 – 70 EUR/Mg	250 – 350 EUR/jato 70 – 100 EUR/Mg

### 3.4 Vergärung getrennt erfasster Bioabfälle

Die Vergärung von getrennt erfassten organischen Abfällen dient gleichermaßen der biologischen Verwertung wie der Erzeugung von Biogas zur energetischen Nutzung. Die Verwertung des Biogases wird unter der Strategie ‚Energetische Nutzung‘ (Kap. 4.2.3) diskutiert. Geeignet sind fast alle biologisch abbaubaren Abfälle, v.a. Küchen-, Grün- und Markt-Abfälle, Reste aus der Lebensmittelverarbeitung, Lebensmittelabfälle aus Gaststätten, Hotels und Kantinen, Fettabscheiderabfälle, Abfälle aus der Landwirtschaft wie Gülle und Mist, Schlachtabfälle, Klärschlamm etc.. Die anaerobe Behandlung steht damit für eine breitere Palette von Abfällen offen als die aeroben Verfahren. Im Unterschied zur Kompostierung sind auch strukturarme Abfälle, selbst Schlämme und flüssige Abfälle sehr gut durch Vergärung verwertbar. Allerdings sind Lignin- (Holz) und Zellulose- / Hemizellulose-haltige Stoffe kaum anaerob abbaubar<sup>204</sup>, die jedoch in EL seltener im Abfall enthalten sind. Hingegen zeichnen sich Siedlungsabfälle in EL überwiegend durch hohe Wassergehalte und geringe Anteile strukturarmer Abfälle aus, so dass aus verfahrenstechnischer Sicht die Vergärung grundsätzlich Vorteile gegenüber der Kompostierung aufweist. Sie liegen v.a. in

- der Erzeugung von Biogas als zusätzlichem Produkt,
- den breiteren Einsatz-/Nutzungsmöglichkeiten für feuchte, strukturarme Abfallarten,
- der besseren und einfacheren Emissionskontrolle.

Die Nachteile gegenüber der Kompostierung sind vergleichsweise komplexe Verfahrenstechniken und Prozessabläufe, die spezielles Know-how und eine hohe Sorgfalt des Anlagenpersonals erfordern, sowie die höheren Kosten, die nur bei günstigen Rahmenbedingun-

204 In zahlreichen Forschungsvorhaben werden unterschiedliche Verfahren untersucht und entwickelt, die einen (schnelleren) Aufschluss der Zellen für einen biologischen Abbau zum Ziel haben, damit auch die im Abfall enthaltenen Zellulose-/ Hemizellulose-haltigen Bestandteile für die Biogaserzeugung effizienter genutzt werden können [Universität Rostock 2011, DGAW 2011 Dokumentation Wissenschaftskongress].

gen durch höhere Erlöse kompensiert werden können.

Die fermentierten Substrate können in flüssiger oder fester Form verwertet werden, sofern die Qualitätsanforderungen hinsichtlich Schad- und Störstoffe eingehalten werden. Dies setzt, ebenso wie bei der Kompostierung, eine möglichst sortenreine Erfassung der einzusetzenden Materialien und Schadstoffarmut voraus. Aus diesem Grund ist im Einzelfall sorgfältig abzuwägen, ob insbesondere Klärschlämme mitverwertet werden können. Der feste Gärrest muss zur Gewährleistung der Pflanzenverträglichkeit aerob nachbehandelt werden, das flüssige Gärsubstrat kann als Flüssigdünger verwendet werden. Besteht diese Möglichkeit nicht oder ist dies nicht zulässig, muss es abwassertechnisch gereinigt werden, was die Kosten erhöht.

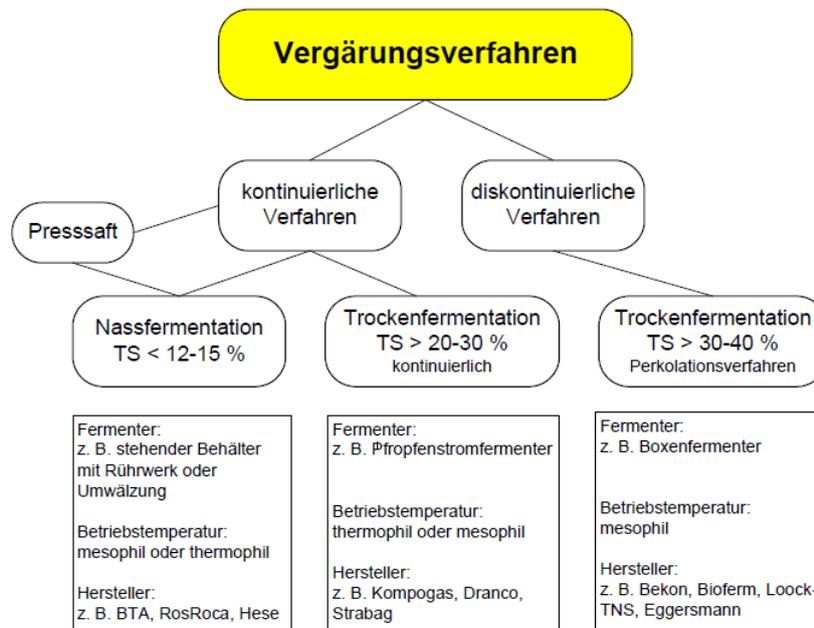


Abbildung A1 - 5: Übersicht über Vergärungsverfahren [Kern et al. 2010]

Die Bandbreite der Vergärungsverfahren und deren spezifischen Kennwerte sind sehr groß. Je nach Art der Stoffaufbereitung werden unterschieden

- Nassvergärungsverfahren (5 – 15% TS)
- Trockenvergärungsverfahren (20 – 40% TS)
- Perkolationsverfahren

Trockene und nasse Verfahren unterscheiden sich durch den Gehalt an Trockenmasse des Materials im Gärreaktor. Der niedrige TS-Gehalt bei Nassverfahren wird durch Zugabe von Flüssigkeit zum Substrat erreicht und so eingestellt, dass es pump- und rührfähig ist. Neben Presswasser aus der Gärrestaufbereitung sind je nach Verfahren und Feuchte des Ausgangsmaterials etwa 50 – 200 l Wasser pro Tonne Abfall hinzuzufügen. Für Standorte mit extremer Wasserknappheit sind Nassvergärungsverfahren somit weniger empfehlenswert.

Unterschieden wird ferner zwischen Vollstrom- und Teilstromvergärung. Bei der Teilstromvergärung wird nur eine flüssige Phase fermentiert. Dabei handelt es sich entweder um die im Bioabfall enthaltene abgepresste Flüssigkeit oder um eine über Perkolation gewonnene flüssige Phase, bei der die Organik ausgelaugt wird. Der feste Teilstrom des Abfalls wird entweder kompostiert oder zu Brennstoff aufbereitet.<sup>205</sup>

Die Verfahren können ferner unterschieden werden nach

- Zahl der Prozessstufen: einstufig – mehrstufig
- Verfahrensprinzip: kontinuierlich – diskontinuierlich – stationär (Batchbetrieb)
- Betriebstemperaturniveau: mesophil (25 – 40°C) - thermophil (50 - 65°C)

205 wie z.B. beim ZAK-Verfahren [Rettenberger/Schneider 2005]

Bei einstufigen Verfahren finden die verschiedenen Abbau- und Umsetzungsphasen<sup>206</sup> der Vergärung in einem Reaktor statt. Sie zeichnen sich durch eine relativ einfache Verfahrenstechnik aus und können mesophil oder auch thermophil betrieben werden. Da die Mikroorganismen in den verschiedenen Phasen unterschiedliche Milieuanprüche haben, stellt die Vergärung in einem Reaktor einen Kompromiss dar [Kern et al. 2010]. Die im Vergleich zu mehrstufigen Systemen damit einhergehende geringere Abbauleistung und Gasausbeute wird durch längere Aufenthaltszeiten von 2 bis 4 Wochen im Reaktor ausgeglichen.

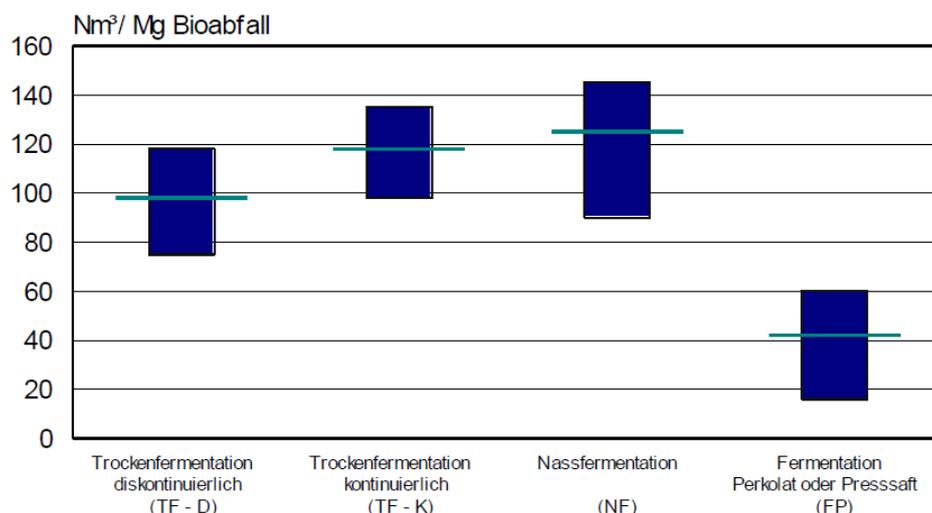
Bei zweistufigen Prozessen finden Hydrolyse und Säurebildung einerseits sowie Methanisierung andererseits in eigenen Reaktoren statt. Das hat den Vorteil, dass in jeder Stufe die biochemischen Bedingungen optimal auf die Mikroorganismen abgestimmt sind. V.a. die methanogenen Bakterien der zweiten Stufe können nicht durch starke Säurebildung gehemmt werden. Die zweistufigen Verfahren haben höhere Abbauleistungen und kürzere Verweilzeiten als einstufige Verfahren, sind jedoch verfahrenstechnisch aufwändiger und anfälliger für Störungen [Bilitewski et al. 2009].

Verfahren mit diskontinuierlicher Betriebsweise haben aufgrund ihrer technisch einfachen Reaktorsysteme Vorteile gegenüber Verfahren mit kontinuierlicher oder quasikontinuierlicher Betriebsweise. Diese wiederum haben höhere spezifische Biogas-Ausbeuten und damit einen geringeren Bedarf an Reaktorvolumen und lassen sich in der Regel auch besser automatisieren [Kern et al. 2010]. Unter den Bedingungen in EL sind diskontinuierliche Verfahren daher tendenziell zu bevorzugen.

Auch die Vergärung kann als biologische Stufe bei der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von gemischten Abfällen vor der Ablagerung eingesetzt werden (s.u.). Dabei gilt ebenso wie bei der aeroben Behandlung, dass die Reststoffe aufgrund ihrer Schad- und Störstoffbelastungen i.d.R. nicht für eine landwirtschaftliche Verwertung geeignet sind und abgelagert werden müssen.

### 3.4.1 Energiebedarf und -erzeugung

Bei der Vergärung von organischen Abfällen entstehen, je nach Ausgangsmaterial und Verfahren, zwischen etwa 40 – 125 m<sup>3</sup> Biogas pro Mg Input, bei einem Methangehalt von 55 – 70%. Bei thermophiler Betriebsweise werden höhere Gasausbeuten und Abbauraten erreicht, die mesophile Betriebsweise zeichnet sich dagegen durch eine höhere Prozessstabilität aus. Abbildung A1 - 6 gibt einen Überblick über die Gaserträge verschiedener Verfahren.



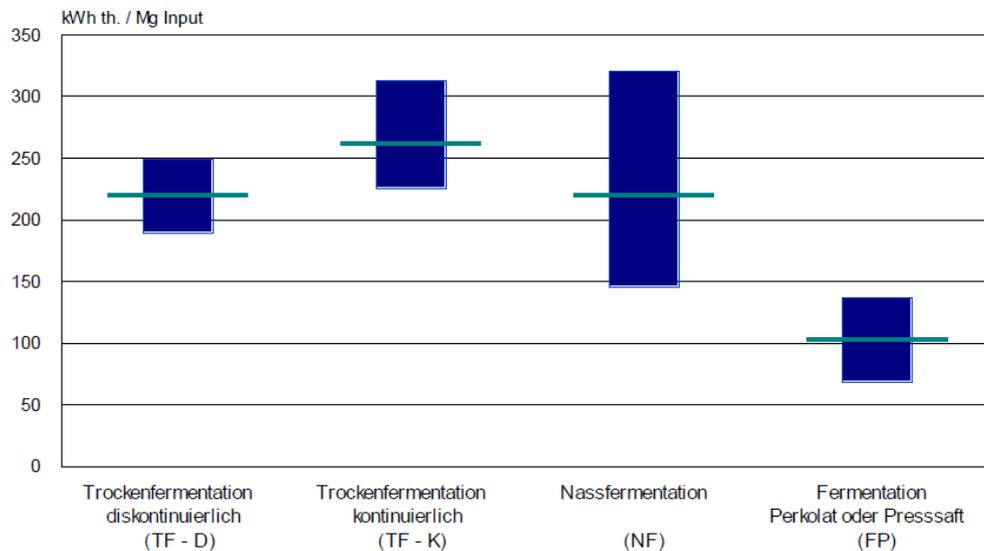
**Abbildung A1 - 6: Biogaserträge von Verfahren der Bioabfallvergärung** [Kern et al. 2010]

Ein Teil der gewonnenen Energie wird in Form von Wärme und Strom für den Anlagenbetrieb benötigt. Die Temperatur im Fermenter wird durch Beheizen eingestellt, dementsprechend haben thermophile Prozesse einen höheren Energiebedarf. Je höher die Betriebstemperatur, desto schneller läuft der Prozess ab. In kalten Klimazonen ist der Eigenverbrauch an Biogas

206 Hydrolyse, Säure-, Essigsäure- und Methanbildung

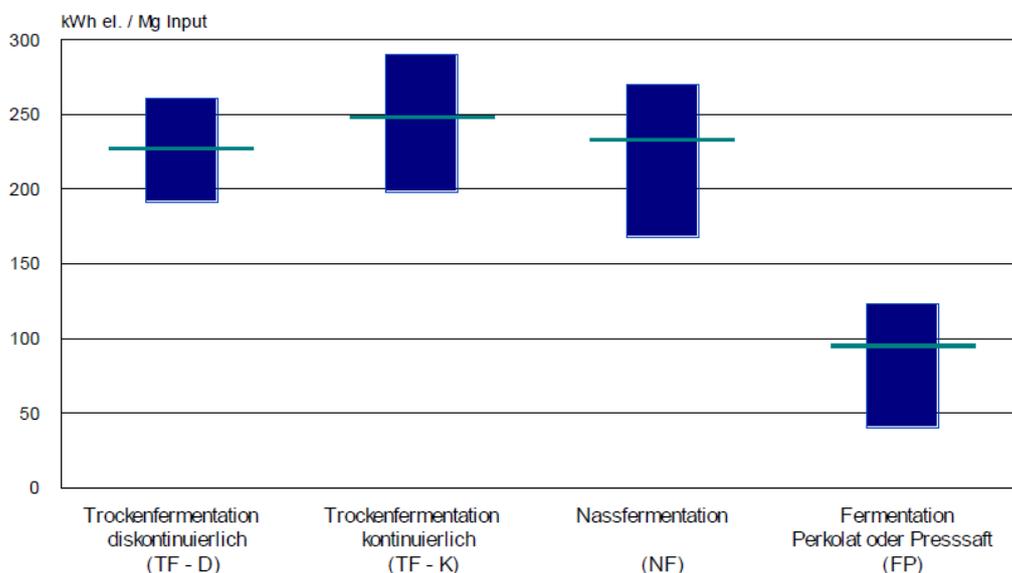
daher signifikant höher, die Prozesse dauern länger als in wärmeren Klimazonen. Sofern keine Möglichkeit der Wärmenutzung am Standort vorhanden ist, ist dies kein Nachteil. Zur Begrenzung des Energieaufwandes sind die Vergärungsreaktoren zu dämmen.

Die Abbildungen A1 - 7 und A1 - 8 zeigen die Nettoenergieerträge an Wärme und Strom für die verschiedenen Verfahren.



**Abbildung A1 - 7: Nettoertrag Wärme von Verfahren der Bioabfallvergärung [Kern et al. 2010]**

Die diskontinuierliche Trockenfermentation (mesophil) hat mit 3% – 10% Eigenstrombedarf und 10% – 20% Prozesswärmebedarf den niedrigsten Eigenbedarf. Die kontinuierliche Trockenfermentation liegt mit dem Eigenverbrauch an Energie in einem mittleren Bereich, weist jedoch je nach Verfahrensgestaltung (meso- oder thermophile Betriebsweise) erhebliche Unterschiede auf. Insgesamt hat die kontinuierliche Trockenfermentation die höchsten Nettoenergieerträge. Für die Bilanzierung werden nur die Netto-Stromerträge berücksichtigt.



**Abbildung A1 - 8: Nettostromertrag von Verfahren der Bioabfallvergärung [Kern et al. 2010]**

Informationen zum Dieserverbrauch der Vergärungsanlagen liegen nicht vor. Diese dürften jedoch in der gleichen Größenordnung wie bei Intensivrottesystemen liegen und werden daher im Rahmen dieser Arbeit entsprechend angesetzt.

### 3.4.2 Treibhausgasemissionen

Im Unterschied zu den Kompostierungsverfahren sind die THG-Emissionen der Vergärung bislang weniger intensiv untersucht worden. Sie sind jedoch deutlich höher als bei Kompos-

tierungsverfahren [Kehres 2010]. Cuhls et al. [2011] [zit. in Kühle-Weidemeier 2011] ermittelten an 16 Vergärungsanlagen die in Tabelle A1 - 9 dargestellten THG-Emissionen.

**Tabelle A1 - 9: NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> Emissionen aus der Vergärung** [Cuhls et al. 2011]

	Vergärung ohne Nachrotte		Vergärung mit offener Nachrotte		Vergärung mit geschlossener Nachrotte	
	Bandbreite	Mittelwert	Bandbreite	Mittelwert	Bandbreite	Mittelwert
NH <sub>3</sub> [g/Mg]	50 - 160	90	110 - 950	310	40 - 600	140
N <sub>2</sub> O [g/Mg]	10 - 40	25	75 - 425	210	25 - 315	215
CH <sub>4</sub> [g/Mg]	2.000 - 3.800	2.500	5.000 - 20.000	15.000	100 - 5.800	3.000

IFEU [2008, zit. in Kern 2010] weisen darauf hin, dass vor allem bei Transportvorgängen, der Lagerung der Substrate, der Einbringung in den Fermenter, der Biogaserzeugung und -nutzung sowie bei der Gärrestlagerung, -behandlung und der Ausbringung der Gärreste relevante Emissionen entstehen. Diese können bei unsachgemäßem Betrieb und mangelnder Abdichtung der Fermenter und Gärrestlager bis zu 15% des produzierten Methans ausmachen [FNR 2005 zit. in Kern et al. 2010]. Die hauptsächlichen THG-Quellen sind die frischen Gärrückstände sowie Emissionen aus der Nachrotte, da die anaeroben, methanbildenden Prozesse nach dem Austrag aus dem Gärreaktor nicht sofort beendet werden, sondern in Teilbereichen des Materials noch eine gewisse Zeit weiterlaufen. Eine offene Nachrotte sollte daher nur bei kleinen Anlagen zulässig sein, bei größeren Anlagen sind diese einzuhausen und die Abluft zu fassen und zu behandeln. Ferner kommt der sorgfältigen Bauausführung und sachgemäßen Betriebsführung eine entscheidende Bedeutung im Hinblick auf die Minimierung von THG-Emissionen zu. Zugleich wird deutlich, dass Vergärungsanlagen ein deutlich höheres Risiko hinsichtlich unbeabsichtigter THG-Emissionen in sich bergen als Kompostierungsanlagen. Ferner sind die aus dem Energieverbrauch für den Anlagenbetrieb resultierenden THG-Emissionen zu berücksichtigen.

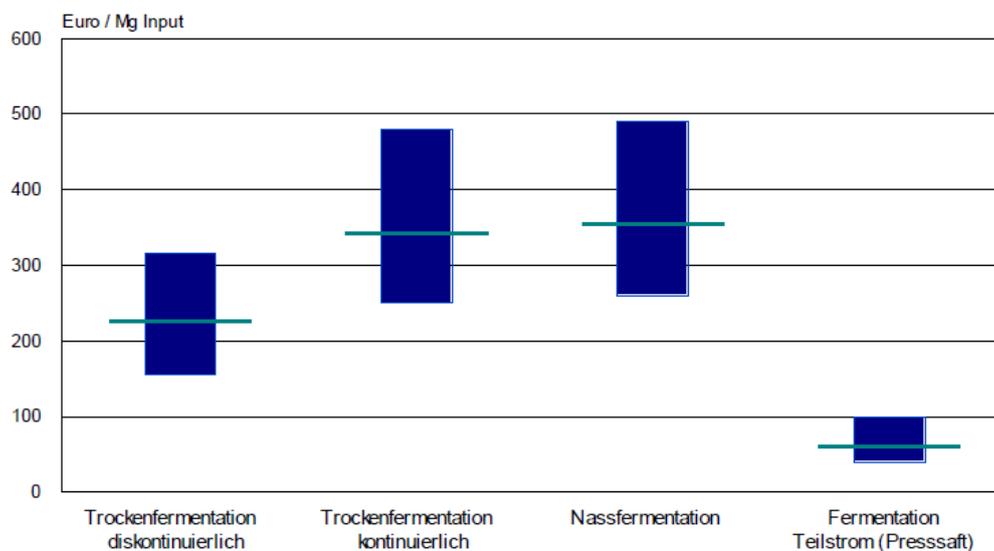
### 3.4.3 Arbeitskräftebedarf

Der Personalbedarf von Vergärungsanlagen ist aufgrund der verfahrensbedingt höheren Mechanisierung etwas geringer als der von Kompostierungsanlagen, wobei die Qualifikationsanforderungen höher sind, v.a. für Monitoring und Steuerung der biologischen Prozesse sowie für Wartung und Unterhaltung der Aggregate. Der Bedarf hängt von der Größe der Anlagen und der Art der Abfälle ab. Bei kleineren Anlagen bis etwa 20.000 t/jato Durchsatz beträgt er etwa 6 – 12 Personen, wobei überwiegend qualifizierte, für die Leitung der Anlage und Prozessüberwachung sogar nur sehr gut qualifizierte Kräfte eingesetzt werden können. Bei größeren Anlagen bis etwa 100.000 t/jato Durchsatz werden etwa 20 – 40 Personen benötigt. Die Beschäftigungswirkung der Vergärungsanlagen liegt somit zwischen etwa 0,3 – 0,6 Personen pro 1.000 t/jato und ist damit im Vergleich zur Sammlung vernachlässigbar.

### 3.4.4 Kosten

Die Bau- und Betriebskosten der Vergärungsverfahren differieren stark und können abhängig von der Art der Anlage hoch sein. Sie werden von der Kapazitätsauslegung und der Anlagentechnik beeinflusst. Abbildung A1 - 9 zeigt die spezifischen Investitionskosten verschiedener Verfahren der Bioabfallvergärung in Deutschland.

Diskontinuierlich betriebene Anlagen erfordern geringere Investitionen als kontinuierliche Nass- oder Trockenvergärungsanlagen, erzielen aber andererseits niedrigere Gaserträge. Die spezifischen Investitionskosten – ohne Erschließung und Infrastruktur sowie Gärrestbehandlung – bewegen sich in Deutschland zwischen etwa 180 – 300 EUR/Mg Jahreskapazität für diskontinuierliche Verfahren und 280 – 480 EUR/Mg bei kontinuierlichen Verfahren.



**Abbildung A1 - 9: Spezifische Investitionskosten von Verfahren der Bioabfallvergärung**  
[Kern et al. 2010]

Die spezifischen Vollkosten liegen bei großen Anlagen mit weniger komplexer Prozesstechnik (z.B. einstufige Trockenvergärung) bei etwa 45 – 60 EUR/t, bei kleineren und komplexeren Anlagen betragen die spezifischen Kosten 60 - 85 EUR/t ohne Berücksichtigung der Erlöse [Kern et al. 2010]. Die spezifischen Kosten der kontinuierlichen Verfahren können mit 70 – 100 EUR/Mg angegeben werden.

### 3.4.5 Kennwerte der Vergärung

Tabelle A1 - 10 zeigt die für die Bilanzierung und Beurteilung relevanten Kennwerte der Bioabfall-Vergärungsverfahren.

**Tabelle A1 - 10: Kennwerte der Bioabfallvergärung**

Vergärung Bioabfall			
Systeme	Diskontinuierliche Trockenfermentation	Kontinuierliche Trockenfermentation	Nassfermentation
Biogaserzeugung	80 – 120 m <sup>3</sup> /Mg Input	100 – 135 m <sup>3</sup> /Mg Input	100 – 145 m <sup>3</sup> /Mg Input
Energiegehalt (60% CH <sub>4</sub> )	480 – 720 kWh/Mg	600 – 800 kWh/Mg	600 – 850 kWh/Mg
Stromerzeugung (η 38%)	180 – 280 kWh/Mg	230 – 300 kWh/Mg	230 – 320 kWh/Mg
Eigenbedarf			
Strom	10 – 20 kWh/Mg	30 – 50 kWh/Mg	50 – 70 kWh/Mg
Diesel	10 – 30 kWh/Mg	10 – 30 kWh/Mg	10 – 30 kWh/Mg
Energieüberschuss:			
Wärme	200 – 250 kWh/Mg	230 – 300 kWh/Mg	150 – 300 kWh/Mg
Strom	200 – 250 kWh/Mg	200 – 280 kWh/Mg	170 – 270 kWh/Mg
[Kern et al. 2010]			
Treibhausgasmissionen aus Prozessemissionen	25–210 g N <sub>2</sub> O/Mg / 2,5–15 kgCH <sub>4</sub> /Mg / 90–310 g NH <sub>3</sub> /Mg [Cuhls et al. 2011]		
aus Energieverbrauch:	12 – 30 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg	25 – 50 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg	35 – 60 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg
Beschäftigungswirkung	0,2 – 0,6 Personen/1.000 jato	0,2 – 0,6 Personen/1.000 jato	0,2 – 0,6 Personen/1.000 jato
Investitionen	180 – 300 EUR/jato	250 – 450 EUR/jato	280 – 480 EUR/jato
Behandlungskosten	45 – 60 EUR/Mg	60 – 85 EUR/Mg	70 – 100 EUR/Mg

## 4 ENERGETISCHE VERWERTUNG

### 4.1 Ziele und Merkmale der Strategie

Für die energetische Verwertung von Abfällen kommen unterschiedlichste Verfahren zum Einsatz, die auf grundlegend verschiedenen Ansätzen basieren<sup>207</sup>. Die Verfahren nutzen unterschiedliche Komponenten der Abfälle und erzeugen verschiedene energetisch nutzbare Produkte. Während für die Gewinnung von Ersatzbrennstoff die heizwertreichen Bestandteile der Abfälle durch Sortierung gewonnen werden, sind es bei der Biogaserzeugung die abbaubaren organischen Fraktionen. Die mechanisch-biologische (MBS) und die mechanisch-physikalische Stabilisierung (MPS) sowie die thermischen Verfahren setzen hingegen alle energetisch nutzbaren Fraktionen in Energie um. Tabelle A1 - 11 gibt einen Überblick.

**Tabelle A1 - 11: Verfahren der energetischen Verwertung und deren Produkte**

Verfahren	Genutzte Fraktion	Produkt
Aussortierung heizwertreicher Fraktionen	Brennbare trockene Materialien	Ersatzbrennstoff
Mechanisch-biologische Stabilisierung (MBS) Mechanisch-physikalische Stabilisierung (MPS)	Heizwertreiche und Organische Fraktionen	Ersatzbrennstoff
Vergärung von Abfällen	Organische Fraktion	Biogas
Ersatzbrennstoff- / Müll-Heiz-Kraftwerk	Ersatzbrennstoffe /Müll	Dampf, Strom
Deponiegasnutzung	Organische Fraktion	Deponiegas

### 4.2 Ersatzbrennstoff zur energetischen Verwertung in industriellen Prozessen

Bei der Verwertung von Abfällen als Ersatzbrennstoff (EBS) oder Brennstoffsubstitut werden Primärenergieträger in der industriellen Energieerzeugung substituiert. EBS können v.a. in Zement- und Kalkwerken, aber auch – bei höheren Anforderungen an die Qualität der Brennstoffe – in Stein- oder Braunkohle-Kraftwerken sowie in Hochöfen und Pyrolyseanlagen verwertet werden [MUNLV 2005]. Die Substitutionsrate in Kraftwerken ist auf einen Bereich von 5 - 25% bezogen auf die Feuerungswärmeleistung begrenzt [Bilitewski et al. 2009]. Demgegenüber können Zementwerke ihren Brennstoffbedarf bis zu 60% und darüber hinaus durch EBS decken. Während EBS bei Zementwerken zunehmend begehrt sind [Lechtenberg 2008], stößt die Mitverbrennung bei Anlagenbetreibern von Kohlekraftwerken auf geringere Akzeptanz. Sie befürchten Einschränkungen der Verfügbarkeit ihrer Anlagen aufgrund von Störungen im Prozessablauf und Korrosionsprobleme, da eine gleichbleibende Brennstoffqualität wie beim Regelbrennstoff 'Kohle' für EBS nur mit Schwierigkeiten gewährleistet werden kann. Darüber hinaus sind Qualitätseinbußen bei den Kraftwerks-Nebenprodukten Aschen, Schlacke und Gips zu befürchten, die eine Verwertung erschweren.

Zur Einhaltung von Emissionsstandards ist bei Kraftwerken und industriellen Feuerungen i.d.R. eine Erweiterung der Rauchgasreinigung und Emissionsmesstechnik erforderlich. Bei Zementwerken sind hingegen aufgrund der hohen Verbrennungstemperaturen und dem alkalischen Milieu i.d.R. keine besonderen Erweiterungen angezeigt. Allerdings sind zur Begrenzung insbesondere der Quecksilberemissionen weitergehende Maßnahmen zur Entstaubung angeraten<sup>208</sup> [IFEU 2007]. Haupteinsatzbereich für EBS sind daher Zementwerke. Auch eine Nutzung in speziell für den Einsatz von EBS konzipierten Verbrennungsanlagen, sog. ‚EBS-Heizkraftwerken‘ ist möglich (s.u.).

Nassour [2005] sieht in der Erzeugung von EBS eine vergleichsweise schnell umsetzbare Möglichkeit zur energetischen Verwertung, da geeignete Industrien zumeist auch in EL vorhanden sind. Die Aufbereitung der Abfälle zu Ersatzbrennstoffen reduziert die zu beseitigen-

207 Andere Ansätze wie die Ent- und Vergasung oder die Erzeugung von Ethanol, anderen Chemieroh- oder Treibstoffen – ‚Biomass to Liquid‘ - aus Abfällen werden hier nicht betrachtet.

208 Quecksilber und andere flüchtige Schwermetalle lagern sich vorwiegend an den feinen Staubpartikeln an.

den Abfallmengen und bietet insbesondere energieintensiven Produktionen einen kostengünstigen Brennstoff. Aufgrund ihres hohen Energiebedarfs können einzelne Zementwerke EBS aus einem großen Einzugsbereich verwerten. Geeignete Abfallarten sind neben Siedlungsabfällen ähnlich zusammengesetzte Gewerbeabfälle, produktionsspezifische Abfälle wie Altreifen, Abfälle aus der Kunststoffverarbeitung, der Papier- und Zellstoffindustrie etc.. Besonders eignen sich auch die in MBA separierten heizwertreichen Fraktionen für eine Aufbereitung zu EBS. Die aus Restmüll gewonnenen Ersatzbrennstoffe stehen im Wettbewerb zu einer Vielzahl anderer Abfallarten wie Altöl, Altholz, Altreifen, Altgummi, Klärschlamm, Raffinerieabfälle und Lösungsmittel sowie Verpackungskunststoffe. Inwieweit sich EBS aus Restabfällen auf dem Markt etablieren können, hängt in erster Linie von ihrer Qualität, der gesicherten Verfügbarkeit und ihren Handlungseigenschaften ab.

Die energetische Nutzung heizwertreicher Fraktionen steht zugleich in Konkurrenz zur stofflichen Verwertung, die im Hinblick auf die Energieeinspareffekte und die Minderung der THG-Emissionen deutliche Vorteile gegenüber der energetischen Verwertung hat. Zur Erfüllung der Anforderungen der Abnehmer der EBS kann es erforderlich sein, das gesamte in den Abfällen enthaltene Potential für diese Form der Verwertung zu nutzen, so dass es für eine stoffliche Verwertung nicht mehr zur Verfügung steht. Darüber hinaus muss gewährleistet werden, dass auch die nicht energetisch verwertbaren ‚Reste‘ umweltverträglich entsorgt werden. Auch sind die Beschäftigungswirkungen der stofflichen Verwertung mit 3 – 6 Personen / 1.000 jato höher als bei der reinen energetischen Verwertung mit 2 – 4 Personen/1.000 jato (s.u.). Die jeweils günstigste Option muss unter Berücksichtigung der Energie-, Umwelt- und THG-Wirkungen, sozialer Aspekte und Gewährleistung der Entsorgungssicherheit im Einzelfall ermittelt werden.

Je nach örtlichen Gegebenheiten kann es angezeigt sein, auch andere Abfallströme und -potentiale, z.B. aus der Landwirtschaft in die Strategie der energetischen Verwertung einzubeziehen, um die Verwertungsoptionen für Siedlungsabfälle auszuweiten. Inwieweit die energetische Verwertung von Abfall-Biomasse aus der Landwirtschaft die günstigste Option ihrer Nutzung darstellt, ist jedoch unter Berücksichtigung von Sekundäreffekten im Einzelfall abzuwägen<sup>209</sup>. Ernterückstände wie Stroh enthalten Nährstoffe und tragen zur Humusreproduktion bei. Wenn zum Ausgleich des Entzugs der Nährstoffdefizite Kunstdünger in höherem Maße eingesetzt werden, ist dies in der Gesamtbilanz zu berücksichtigen. Die erforderliche Mindestmenge an Ernterückständen, die zur Humusreproduktion und Nährstoffversorgung auf den Ackerflächen verbleiben müssen, ist gebietsspezifisch unter Berücksichtigung der Humus- und Nährstoffversorgung durch andere Stoffe und Verfahren zu ermitteln<sup>210</sup>. Sofern die Humusreproduktion durch Kompost gewährleistet werden kann, sind nennenswerte Potentiale an Ernterückständen erschließbar [Springer 2010].

#### **4.2.1 Aussortierung heizwertreicher Fraktionen**

Die Aussortierung heizwertreicher Fraktionen aus gemischten Abfällen stellt die einfachste Form der Erzeugung von EBS dar. Geeignet sind alle brennbaren Stoffe mit hohen Heizwerten, insbesondere Papier, Pappe, Kunststoffe, Verpackungsverbunde, Holz und Textilien. Diese werden per Siebung separiert und für den Einsatz in industriellen Feuerungsanlagen aufbereitet. In EL sind zur Schaffung von Beschäftigungsmöglichkeiten einfache Verfahrenskonfigurationen in Verbindung mit einer manuellen Aussortierung zu bevorzugen.

Die technische Herausforderung besteht darin, die Anforderungen der Verwertungsanlagen

---

209 Nassour [2005] berichtet, dass im Nildelta in Ägypten jährlich allein rd. 16 Mio. Mg Ernterückstände (Reis- und Weizenstroh) als Abfälle ungenutzt auf den Feldern wild verbrannt werden, was zu enormen Luftverschmutzungen führt. Deren energetische Nutzung könnte einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung des Landes leisten. Die thermische Verwertung von Stroh erfordert jedoch aufgrund des niedrigen Ascheerweichungspunktes von Stroh spezielle Verfahrenstechniken, z.B. Pyrolyse, und kann nicht gemeinsam mit Siedlungsabfällen erfolgen. Neben verfahrenstechnischen sind logistische Schwierigkeiten bei der Erfassung ausreichend großer Mengen zu überwinden. Eine Co-Verbrennung von Stroh in Kohlekraftwerken wurde zwar großtechnisch demonstriert und ließe sich vergleichsweise schnell realisieren. Die Stromerzeugung auf der Basis von Stroh ist aufgrund der im Vergleich zu Kohle höheren Brennstoffbereitstellungskosten jedoch wesentlich teurer [Leible et al. 2007].

210 Im Nildelta sind v.a. die regelmäßigen Überschwemmungen von Bedeutung, die die Ackerböden über den abgelagerten Schlamm mit Humus und Nährstoffen versorgen. Hier sind Entnahmen eher möglich.

hinsichtlich physikalischer<sup>211</sup> und chemischer Eigenschaften<sup>212</sup> zu erfüllen. Hierfür kommen je nach Anforderung der Verwertungsanlagen Sortier-, Zerkleinerungs- und Homogenisierungsprozesse zur Anwendung. Stoffe, die zu hohen Schadstoffeinträgen, v.a. Schwermetallen und Halogenen führen, darunter insbesondere PVC und Kunststoffbauteile technischer Artikel, sind weitgehend zu separieren. Dafür sind auf Nahinfrarot-Detektion (NIR) basierende Sortierverfahren entwickelt worden [Fehrenbach et al. 2007a]. In EL erscheinen hierfür durchaus auch manuelle Ausleseverfahren geeignet. Erfahrungen mit waste-pickern zeigen, dass diese hohe Fertigkeiten im Erkennen und effizienten Aussortieren auch spezieller Stoffgruppen entwickeln. Aus prozesstechnischen Gründen sind ferner abrasive Stoffe wie Sand, Steine, Glas- und Keramikpartikel, die zu hohen mechanischen Beanspruchungen in den Verwertungsanlagen führen, auszusondern. Hierfür kommen Klassierungs- und Siebverfahren zum Einsatz.

#### **4.2.2 Mechanisch-biologische und mechanisch-physikalische Stabilisierung**

Die mechanisch-biologische (MBS) und die mechanisch-physikalische Stabilisierung (MPS) zählen zu den Verfahren der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA), deren verfahrenstechnische Merkmale und relevante Kennwerte in Kap. 5.2 beschrieben sind. Die Ausführungen hier dienen der Darstellung der konzeptionellen Ansätze der MBS/MPS im Vergleich zu anderen Strategien der energetischen Abfallverwertung.

Ziel des Verfahrensansatzes MBS/MPS ist es, durch biologische und/oder physikalische Trocknung einen möglichst großen Teil der Abfälle – einschließlich der Organik – zu einem biologisch stabilen Ersatzbrennstoff aufzubereiten [Wallmann et al. 2008]. Dazu wird der Abfall auf ca. 10 - 15 % Restfeuchte getrocknet, wodurch die biologischen Abbauvorgänge weitestgehend unterbunden werden. Der Output ist somit ‚trockenstabil‘. Während beim Verfahrensansatz MBS die beim (Teil-)Abbau der organischen Substanz freiwerdende Wärme zur Trocknung des Materials genutzt wird, muss beim Verfahrensansatz MPS die gesamte Trocknungsenergie von außen zugeführt werden. Jedoch wird auch bei der MBS der weitaus überwiegende Teil der Trocknung auf physikalischem Wege über die Belüftung erreicht. Bei der MPS kann der Mehraufwand an Wärme durch eine Verkürzung der Trocknungszeit und einen deutlich reduzierten Belüftungsaufwand kompensiert werden. Zudem geht bei der rein physikalischen Trocknung keine Organik aufgrund des biologischen Abbaus verloren, so dass der gesamte im Restabfall enthaltene Kohlenstoff zur Energiegewinnung genutzt werden kann [Fehrenbach et al. 2007b].

Die brennbaren Bestandteile werden entsprechend den Anforderungen der Verwerterbetriebe bzw. Feuerungsanlagen konfektioniert. Dies umfasst neben der Einstellung der gewünschten physikalischen Eigenschaften (s.o.) die Entfrachtung insbesondere von chlor- und schwermetallreichen Materialien. Hierfür werden Windsichter und/oder ballistische Sichter eingesetzt. Alternativ oder ergänzend zu diesen mechanischen stehen opto-elektronische Verfahren zur Verfügung, die mit Hilfe von Nahinfrarot-Detektion (NIR) Stoffe selektiv nach ihrer chemischen Zusammensetzung erkennen und ausschleusen bzw. die gewünschten Bestandteile aussortieren<sup>213</sup>. In EL sollte vor der Entscheidung für einen Einsatz dieser sehr kostenintensiven Verfahren sorgfältig geprüft werden, ob diese Aufgabe nicht durch manuelle Sortierung erfüllt werden kann. Erfahrungen hierzu liegen allerdings bislang nicht vor.

#### **4.2.3 Erzeugung von Biogas aus gemischten Abfällen**

Vergärungsverfahren sind für die Behandlung und Verwertung von Abfällen in EL aufgrund der meist hohen Organik- und Wassergehalte verfahrenstechnisch besonders geeignet. Im Unterschied zu getrennt erfassten Bioabfällen müssen gemischte Siedlungsabfälle zunächst in einer der Vergärung vorgelagerten mechanischen Stufe separiert werden, in eine organikreiche Fraktion und in einen Teilstrom, in dem die biologisch nicht abbaubaren Bestandteile angereichert sind. Der biologische Teil der Anlagen unterscheidet sich nicht grundlegend von

---

211 Stückgrößen, Handling-Eigenschaften (Lagerung, Förderung, Dosierung, Zuführung zum Verbrennungsprozess), Heizwerte, Feuchtigkeitsgehalte

212 Begrenzung der Halogengehalte, v.a. von Chlor

213 sog. ‚Positivauslese‘

den Vergärungsverfahren für Bioabfälle (s.o.). Die Gaserträge bezogen auf den Organikinput sind vergleichbar der Vergärung von Bioabfall. Aufgrund der potentiell höheren Anteile an Störstoffen haben für die Vergärung von gemischten Siedlungsabfällen diskontinuierliche Verfahren wie die Trockenvergärung Vorteile.

Der spezifische Biogasertrag bezogen auf den Anlageninput ist abhängig von der Abfallzusammensetzung. Er wurde bei Vollstrom-Vergärungsanlagen im Rahmen einer Befragung von Anlagenbetreibern in Deutschland mit 60 – 65 m<sup>3</sup> pro Mg ermittelt. Bezogen auf die Frischmasse des Inputs in die biologische Stufe beträgt der mittlere Biogasertrag 126 m<sup>3</sup> bei einer Spanne von 83 – 195 m<sup>3</sup> [Wallmann et al. 2008].

Das Biogas kann in einem Blockheizkraftwerk oder einer Kesselanlage zur Erzeugung von Wärme und Strom genutzt oder nach entsprechender Aufbereitung in ein vorhandenes Erdgasnetz eingespeist werden. Auch die Verflüssigung und Einsatz als Antriebsmittel für Kraftfahrzeuge ist möglich. Die häufigste und bei Biogasanlagen nahezu immer mögliche Nutzungsform des Biogases ist die Verbrennung in einem Gasmotor zur Erzeugung von Strom über einen gekoppelten Generator. Der Motorwirkungsgrad liegt bei über 95%, die elektrischen Wirkungsgrade liegen bei etwa 40 - 42% [Postel et al. 2009]. Somit werden etwa 38 – 40% der Biogasenergie in Strom umgewandelt.

Die Energieeffizienz der Biogaserzeugung hängt entscheidend von den Möglichkeiten der Wärmenutzung ab. Bei der Konzipierung von Biogasanlagen sollten daher Standorte gewählt werden, an denen eine möglichst weitgehende, d.h. ganzjährige Nutzung der Abwärme möglich ist. Auch eine räumliche Trennung von Biogasanlage und Blockheizkraftwerk (BHKW) ist möglich, wobei das Gas über eine Leitung zum BHKW transportiert werden muss.

Das Rohbiogas ist nahezu vollständig Wasserdampf-gesättigt und enthält Partikel und Spurengase, v.a. H<sub>2</sub>S. Diese führen aufgrund ihrer abrasiven und korrodierenden Wirkungen zu Verschleiß an den Aggregaten der Gasverwertung. Investitionseinsparungen bei der Gasaufbereitung haben Zusatzkosten etwa durch häufigere Ölwechsel bei den Gasmotoren, häufigere Wartungen und Reparaturen sowie Lebenszeitverkürzung zur Folge. Bei einfachen und kleinen Anlagen ist eine Entfeuchtung durch Abkühlung und Kondensatabscheidung sowie einfache Entschwefelung des Rohbiogases durch Einblasen von Luftsauerstoff in die Gasphase ausreichend. Bei größeren Anlagen kommen im Interesse eines zuverlässigeren Betriebs spezielle Aufbereitungsaggregate wie elektrisch betriebene Gaskühler zur Entfeuchtung, Kolonnen mit Füllkörperpackungen, Sulfidfällung durch Zugabe von Eisen-III-Chlorid in flüssiger Phase, alkalische Gaswäscher oder Aktivkohlefilter zur Entschwefelung zum Einsatz. Je nach Inputmaterial, v.a. bei Abfall-Biomasse und Schweinegülle, muss meist auch eine Ammoniakentfernung vorgesehen werden. Aufwändigere Gasreinigungseinrichtungen werden als Komplettsysteme angeboten, sie entfernen die meisten Schadschubstanzen simultan [vgl. Postel et al. 2009].

Bei großen Anlagen kann die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und Einspeisung in ein Erdgasnetz wirtschaftlich interessant sein<sup>214</sup>. Auf diese Weise wird eine nahezu vollständige Nutzung des Biogases und damit eine sehr hohe Energieeffizienz erreicht. Dies setzt jedoch eine geeignete Einspeisemöglichkeit in wirtschaftlich erreichbarer Entfernung voraus<sup>215</sup>. Der Aufwand für die Gasaufbereitung steigt dabei erheblich. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt ist – je nach Anforderung der Erdgasnetzbetreiber - auf i.d.R. unter 5 Vol.-%, der Feuchtegehalt auf unter 50 mg/Nm<sup>3</sup>, der Schwefelwasserstoffgehalt auf unter 5 ppm zu reduzieren, der Gasdruck ist auf das Niveau des Erdgasnetzes zu erhöhen. Gasaufbereitung und Verdichtung erfordern erhebliche Investitionen, die nur bei großen Anlagen wirtschaftlich sind.

Als Verfahren für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung kommen die Druckwechseladsorption und die Druckwasserwäsche zum Einsatz. Diese nutzen die unterschiedlichen physikalischen Bindungseigenschaften der im Biogas enthaltenen Gase aus. Dabei lagern sich CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S aufgrund ihrer Molekülgrößen entweder an Molekularsieben an oder werden unter Druck ausgewaschen. Bei der Aminwäsche wird das selektive chemische Absorptionsverhalten der

---

214 von etwa 500 bis mehrere 10.000 Nm<sup>3</sup> Biogas pro Stunde

215 Als Orientierungswert können etwa 10 km angegeben werden.

Gasbestandteile ausgenutzt.

Sofern keine Einspeisemöglichkeiten in wirtschaftlich erreichbarer Entfernung vorhanden sind, kann aufbereitetes Biogas als Kraftstoff genutzt werden. Für die Gasaufbereitung eignen sich die oben skizzierten Verfahren. Jedoch ist eine höhere Verdichtung auf 200 bar zur Verflüssigung des Biogases erforderlich. Der Aufwand hierfür darf nicht unterschätzt werden. Dennoch sind wirtschaftliche Lösungen basierend auf der Vergärung von Reststoffen darstellbar, insbesondere wenn der Absatz der Biogaskraftstoffe über Flotten (Nahverkehr, Abfallwirtschaft etc.) gesichert werden kann [Kern et al. 2010].

#### 4.2.4 Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk

Die Verbrennung von Abfällen hat zwei wesentliche Funktionen:

- Behandlung der Abfälle mit dem Ziel der Volumenreduzierung, der Inertisierung organischer Inhaltsstoffe und der Zerstörung oder Immobilisierung von Schadstoffen
- Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie

Je nach Hauptzweck der Anlage handelt es sich um

- Thermische Abfallbehandlung (TAB): Hauptzweck Abfallbehandlung
- EBS (Ersatzbrennstoff) - (Heiz-)Kraftwerk (HKW): Hauptzweck Energieerzeugung

Auch wenn die bei der TAB anfallende überschüssige Energie zur Erzeugung von Dampf, Wärme und/oder Strom genutzt wird, besteht der Hauptzweck der Anlage in der Abfallbehandlung: Müll wird verbrannt, wie er anfällt und entsorgt werden muss. EBS-HKW hingegen sind auf die Nutzung von aus Abfällen aufbereiteten hoch- und mittelkalorischen Ersatz- oder Sekundärbrennstoffen ausgelegte Anlagen. Sie entsprechen verfahrenstechnisch weitestgehend den klassischen thermischen Abfallbehandlungsanlagen – Verbrennung auf dem Rost oder in der Wirbelschicht – und werden wie fossil befeuerte (Heiz-)Kraftwerke betrieben. Die Abfälle müssen durch vorgelagerte Maßnahmen so konditioniert werden, dass sie entsprechend dem Energiebedarf eingesetzt werden können.

EBS-HKW werden an Standorten realisiert, an denen die überschüssige Energie optimal genutzt werden kann<sup>216</sup>. Wenn Prozessdampf und Wärme genutzt werden kann, sind bei Rostfeuerungen hohe Gesamtwirkungsgrade von 80 bis 85% der im Abfall enthaltenen Energie (Brennstoffwärmeleistung) möglich<sup>217</sup>.

#### 4.2.5 Deponiegasverwertung

Die energetische Nutzung von Deponiegas stellt zwar keine Strategie der energetischen Verwertung im engeren Sinne dar, sie wird dennoch hier diskutiert, um sie mit den anderen Formen der energetischen Verwertung zu vergleichen.

Deponiegas entsteht durch die im Deponiekörper ablaufenden biochemischen Abbauprozesse der organischen Bestandteile der abgelagerten Abfälle. Im Ergebnis werden über einen Zeitraum von 20 – 30 Jahren – je nach Abfallzusammensetzung und Milieubedingungen im Deponiekörper - ca. 100 – 200 m<sup>3</sup> Deponiegas mit einem Methangehalt von 50 - 60 Vol. % gebildet. Aus betrieblichen und technischen Gründen können jedoch nicht mehr als etwa 40 – 50% des insgesamt erzeugten Deponiegases erfasst und behandelt bzw. verwertet werden. Darüber hinaus ist die Gasverwertung nicht mehr sinnvoll und wirtschaftlich möglich, wenn die Gasmengen und Methangehalte – je nach Erfassungs- und Verwertungssystem – bestimmte Grenzwerte unterschreiten. Insgesamt sind somit nur etwa 30 – 40% des gebildeten Deponiegases technisch und wirtschaftlich nutzbar.

Für die Aufbereitung und Verwertung kommen grundsätzlich die gleichen Verfahren zum

---

216 Industrieparks mit Prozessdampf- und Fernwärmeversorgung, Grundlastversorgung von Fernwärmenetzen, industrielle Großverbraucher mit ganzjährig hohem Energiebedarf

217 Der Gesamtwirkungsgrad einer Abfallverbrennungsanlage wird als Verhältnis von nutzbarer abgeführter Energie zu der über den Abfall und die Hilfsenergie zugeführten Energie definiert.  
Der Kessel- oder Feuerungswirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis der im Wasser-Dampf-Kreislauf aufgenommenen Energie zur Energie, welche dem Feuerraum zugeführt wird.  
Der elektrische Wirkungsgrad brutto bezeichnet das Verhältnis des produzierten Stromes, der elektrische Wirkungsgrad netto bezeichnet das Verhältnis des ingespeisten Stromes zur Energie, welche dem Feuerraum zugeführt wird.

Einsatz wie bei Biogas. Insgesamt können somit pro Tonne Abfall etwa 80 – 120 kWh Strom und etwa 120 – 180 kWh Wärme abgegeben werden, sofern geeignete Wärmeverbraucher in erreichbarer Nähe sind. Die Energieerträge liegen damit – bezogen auf die gleiche Abfallmenge – in der gleichen Größenordnung wie bei der gezielten Biogaserzeugung in Vergärungsanlagen. Dabei gilt jedoch zu berücksichtigen, dass Deponiegas über einen langen Zeitraum quasi ‚angesammelt‘ werden muss, wohingegen es bei Biogasanlagen bedarfsgerecht an Standorten erzeugt wird, wo es gut genutzt werden kann. Bei Deponien, deren Standorte nach anderen Kriterien ausgewählt werden, scheitert eine energetische Verwertung des Deponiegases häufig an dem nicht vorhandenen bzw. mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht realisierbaren Anschluss an die Energieverteilnetze, i.W. Stromnetze.

#### **4.2.6 Treibhausgasemissionen**

Die THG-Emissionen der energetischen Verwertung heizwertreicher Fraktionen hängen entscheidend vom Anteil fossilen Kohlenstoffs in der gewonnenen heizwertreichen Fraktion und damit von der Abfallzusammensetzung ab. Die prozessbedingten THG-Emissionen, die aus dem Energieaufwand für den Betrieb der Anlagen resultieren, sind demgegenüber vernachlässigbar. Die THG-Bilanz dieser Form der energetischen Verwertung wird entscheidend von der Art der substituierten Energieträger bestimmt. Während bei der Substitution von Kohle eine THG-Entlastung erzielt wird, ist die Bilanz bei der Substitution von Heizöl etwa ausgeglichen, bei der Substitution von Erdgas ist sie negativ. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Kunststoffe zu etwa 50% und mehr zum Heizwert beitragen.

Die THG-Emissionen der Vergärung von Abfällen und der MBS/MPS werden bei den Verfahren zur mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen diskutiert, die THG-Emissionen der Verfahren Ersatzbrennstoff- / Müll-Heiz-Kraftwerk und Deponiegas in den jeweiligen Kapiteln, in denen diese Verfahren beschrieben werden.

Ein direkter Vergleich der THG-Emissionen der Verfahren ist mit den Angaben in Tabelle A1 - A12 nicht möglich, da die verschiedenen Verfahren unterschiedliche Bezugsgrößen haben. Bei der Deponiegasverwertung wird dies besonders offensichtlich: Werden nur die Emissionen aus der Nutzung des Deponiegases betrachtet, scheint dies eine sehr klimaschonende Form der energetischen Abfallverwertung zu sein. Eigentlich müssen jedoch für einen Vergleich etwa mit der Biogaserzeugung durch Vergärung die nicht gefassten Deponiegase einbezogen werden, da sie systembedingt anfallen und nicht vermieden werden können. In diesem Fall stellt die Deponiegasverwertung eine sehr klimabelastende Form der energetischen Verwertung dar.

Auch bei der Bioabfallvergärung müssten demzufolge die Emissionen der nicht erfassten Bioabfälle berücksichtigt werden. Daraus wird deutlich, dass ein aussagekräftiger Vergleich der THG-Emissionen immer nur für ganze Entsorgungssysteme getroffen werden kann, wobei als Bezugsgröße die ‚Abfallmenge insgesamt‘ heranzuziehen ist.

In Tabelle A1 - 12 werden sowohl die spezifischen Emissionen in CO<sub>2</sub>-äqu. pro Mg Brennstoff (heizwertreiche Fraktion, Ersatzbrennstoff stabilisierter bzw. aufbereiteter Abfall) angegeben, die maßgeblich von der Abfallzusammensetzung und der Materialausbeute beeinflusst werden, als auch die spezifischen Emissionen pro kWh thermischer Energie, die wesentlich von der Zusammensetzung der Brennstoffe abhängen. Die Angaben dienen rein der Information und sind für einen direkten Vergleich der Verfahren nicht geeignet.

#### **4.2.7 Kennwerte der energetischen Verwertung**

Die Kennwerte der Verfahren zur energetischen Verwertung werden in den jeweiligen Kapiteln der beschriebenen Verfahren diskutiert. Sie sind in Tabelle A1 - 12 aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit zusammengefasst.

**Tabelle A1 - 12: Kennwerte der energetischen Verwertung**

<b>Energetische Verwertung – Nutzung der Abfälle als Brennstoff</b>			
<b>Verfahren</b>	<b>Aussortierung heizwertreicher Fraktionen</b>	<b>MBS / MPS</b>	<b>EBS-HKW</b>
Energieüberschuss  Wärme Strom (Wirkungsgrad 20%)	Je nach Abfallzusammensetzung, Materialausbeute und Energienutzungsform  200 – 800 kWh/Mg hwF 40 – 160 kWh/Mg Abfall	Je nach Abfallzusammensetzung, Materialausbeute und Energienutzungsform  400– 1.000 kWh/Mg EBS 80 – 200 kWh/Mg Abfall	Je nach Abfallzusammensetzung, Materialausbeute und Energienutzungsform  400– 1.000 kWh/Mg EBS 80 – 200 kWh/Mg Abfall
Treibhausgasemissionen (ohne Gutschriften)	Abhängig von Abfallzusammensetzung und Anteil fossilem Kohlenstoff  80 – 1.100 kg CO <sub>2</sub> /Mg 200 – 250 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>therm</sub>	Abhängig von Abfallzusammensetzung und Anteil fossilem Kohlenstoff  350 – 700 kg CO <sub>2</sub> /Mg 150 – 300 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>therm</sub>	Abhängig von Abfallzusammensetzung und Anteil fossilem Kohlenstoff  150 – 300 kg CO <sub>2</sub> /Mg 150 – 250 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>therm</sub>
Beschäftigungswirkung	2 – 3 Personen/1.000 jato	0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato	0,3 – 0,6 Personen / 1.000 jato
Investitionen Behandlungskosten	100 – 150 EUR/jato 20 – 30 EUR/Mg	250 – 350 EUR/jato 60 – 80 EUR/Mg	600 – 800 EUR/jato 100 – 140 EUR/Mg
<b>Energetische Verwertung – Erzeugung von energetisch nutzbarem Gas</b>			
<b>Systeme</b>	<b>Biogas aus Bioabfall</b>	<b>Biogas aus MBA anaerob</b>	<b>Deponiegas</b>
Energieüberschuss  Gasmenge Wärme Strom	Je nach Erfassungsgrad, Art der Energienutzung  80 – 120 m <sup>3</sup> /Mg Bioabfall 150–300 kWh/Mg Bioabfall 170–280 kWh/Mg Bioabfall	Je nach Abfallzusammensetzung, Art der Energienutzung  40 – 80 m <sup>3</sup> /Mg Abfall 220 – 440 kWh/Mg Abfall 80 – 160 kWh/Mg Abfall	Je nach Abfallzusammensetzung, Deponiemilieu, Art der Energienutzung  40 – 80 m <sup>3</sup> /Mg Abfall 220 – 440 kWh/Mg Abfall 80 – 160 kWh/Mg Abfall
Treibhausgasemissionen (ohne Gutschriften)	Je nach Bioabfalleigenschaften, Vergärungsverfahren  100–500 kg CO <sub>2</sub> /Mg Input 250 – 800 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>	Je nach Abfallzusammensetzung und Vergärungsverfahren  50 - 250 kg CO <sub>2</sub> /Mg Abfall 250 – 600 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>	Je nach Abfallzusammensetzung, Deponiemilieu, Effizienz Gasfassung  400-800 kg CO <sub>2</sub> /Mg Abfall 1.500 – 2.500 gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>
Beschäftigungswirkung	0,3 – 0,6 Person / 1.000 jato	0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato	0,1 – 0,3 Personen / 1.000 jato
Investitionen Behandlungskosten (ohne Erlöse)	300 – 400 EUR/Mg jato 70 – 90 EUR/Mg	350 – 450 EUR/Mg jato 75 – 90 EUR/Mg	60 – 180 EUR/Mg jato 12 – 25 EUR/Mg

## 5 RESTABFALLBEHANDLUNG UND -ABLAGERUNG

### 5.1 Geordnete Deponie

Aufgrund der beschränkten finanziellen Ressourcen bildet die geordnete Deponie bislang die Standardlösung bei Vorhaben der Siedlungsabfallwirtschaft in EL [Pfaff-Simoneit 2006]. Sie erlaubt die umweltverträgliche Entsorgung von Abfällen zu vergleichsweise geringen Kosten und ist notwendige Komponente jeder Entsorgungsstrategie. Selbst bei weitgehender Verwertung und Behandlung der Abfälle bleibt ein nicht nutzbarer Rest, für den die Möglichkeit der sicheren und kontrollierbaren Ablagerung gegeben sein muss [Bilitewski et al. 2008].

Die geordnete Deponie als alleinige Komponente zur Entsorgung von Restabfällen stellt jedoch nur einen Kompromiss zwischen dem aus Umwelt- und Klimaschutzgründen Wünschenswerten und dem unter den derzeitigen Rahmenbedingungen in EL ökonomisch Machbaren dar [Pfaff-Simoneit 2006]. Die Umweltrisiken werden durch Wahl von geeigneten Standorten, die maßgeblich nach geologischen / hydrogeologischen Kriterien bestimmt werden, durch technische Barrieren (v.a. Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung) und durch Fassung und Behandlung von Sickerwässern und Deponiegas, so weit als möglich minimiert [Oeltzschner/Mutz 1996]. Jedoch bilden auch bei ordnungsgemäßigem Betrieb die Sickerwasser- und Deponiegasemissionen ein latentes Umweltrisiko. Auch nach Verfüllung müssen die Emissionen gefasst und behandelt werden. Die Finanzierung dieser Nachsorge ist in EL zu meist nicht gesichert.

Die für den Klimaschutz besonders problematischen Deponiegasemissionen können aus betrieblichen und technischen Gründen selbst mit hochwertigen Gasfassungssystemen nur zu etwa 30 – 40% gefasst und behandelt werden [Fricke et al. 2009] (s. Kap. 4.2.5. Das Gasbildungspotential der Abfälle ist in EL aufgrund der i.d.R. hohen Anteile biologisch abbaubarer Organik größer. Zudem setzt die Gasbildung v.a. in wärmeren Klimazonen früher und stärker ein, also in einer Phase, in der aus deponiebaulichen und betrieblichen Gründen eine Gasfassung noch nicht installiert werden kann. Aus fachlicher Sicht kann die geordnete Deponie somit nur eine Übergangslösung sein. Sie stellt einen ersten, wenn auch substantiellen Schritt in eine ordnungsgemäße und umweltverträglichere Form der Entsorgung in EL dar, der bereits zu entscheidenden Verbesserungen der häufig katastrophalen Entsorgungssituation führt [Pfaff-Simoneit 2006]. Für die Erzielung eines größeren Beitrags zum Klimaschutz und zur Minimierung von Umweltrisiken ist eine Vorbehandlung der Abfälle vor der Ablagerung anzustreben. Für die Vorbehandlung kommen die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) und die thermische Abfallbehandlung (TAB) zum Einsatz.

#### 5.1.1 Treibhausgasemissionen

Die THG-Emissionen der geordneten Deponien hängen ab von der Abfallzusammensetzung, Art und Zeitpunkt des Einbaus der Abfälle, den Milieubedingungen im Deponiekörper, insbesondere der Verfügbarkeit von Wasser, Klimaeinflüssen – v.a. Niederschläge und Temperatur, pH-Wert, Nährstoffverfügbarkeit, dem Grad der Gasfassung und –behandlung sowie weiteren Faktoren wie etwa dem Vorhandensein von Stoffen, die den Abbau hemmen u.a.m. Eine entscheidende Größe ist die Feuchtigkeit des Abfalls. Durch gezielte Befeuchtung des Abfalls im Deponiekörper, etwa durch die Rezirkulation des Sickerwassers, wird der biologische Abbau und damit die Gasbildung begünstigt. Dieses als ‚Reaktordeponie‘ bezeichnete Betriebskonzept wird v.a. in den USA praktiziert [US EPA 2006].

Die THG-Emissionen der Deponie bestimmen sich i.W. über den biochemischen Abbau des organischen Kohlenstoffs ( $C_{org}$ ) im Deponiekörper. IPCC [2006] sowie die Methodologien im Rahmen des CDM geben den Abbau mit 50 – 60% bezogen auf den Gesamtgehalt  $C_{org}$  im Abfall an. Hierdurch sollen die unter anaeroben Bedingungen nichtabbaubare Organik - v.a. Holz/Lignin - und die für einen vollständigen Abbau unzulänglichen Milieubedingungen im Deponiekörper v.a. aufgrund unzureichender Verfügbarkeit von Wasser, abgebildet werden. Je nach Abfallzusammensetzung und Anteil organischer Abfälle beträgt der Ligninanteil 15 – 20% bezogen auf die Trockenmasse. Zellulose und Hemizellulose, die zu etwa 30 – 50% im Abfall enthalten sind, werden zwar prinzipiell unter anaeroben Bedingungen abge-

baut, jedoch wird das Ausmaß des Abbaus entscheidend von den Milieubedingungen im Deponiekörper bestimmt. Das in den Deponiekörper eingebrachte Lignin wird somit vollständig, Zellulose und Hemizellulose werden teilweise in der Deponie sequestriert und damit dem Kohlenstoffkreislauf entzogen.

IPCC [2006] setzt in seinem ‚Waste Model‘<sup>218</sup> generell eine Abbaurate von 50% bezogen auf den gesamten  $C_{org}$  an. Untersuchungen im Rahmen des ‚Verbundvorhabens Deponiekörper‘ [Ehrig / Brinkmann 1998] zeigen jedoch, dass die Fraktionen unterschiedlich stark und schnell abgebaut werden. Während z.B. Papier z.T. nach 30 Jahren noch vorhanden ist, ist v.a. die leicht abbaubare Organik weitestgehend abgebaut. Literaturwerte zum fraktionsspezifischen Abbau des enthaltenen  $C_{org}$  finden sich in [Smith et al. 2001]. Diese erscheinen zwar plausibel, sind jedoch nicht wissenschaftlich belegt. Barlaz [1998, zit. in USEPA 2006] hat in Laborexperimenten den Abbau verschiedener Materialien<sup>219</sup> unter Deponiemilieubedingungen simuliert und auf dieser Grundlage eine Bilanzierung des Kohlenstoffs vorgenommen. Dabei wurde allerdings der Kohlenstoffaustrag über das Sickerwasser und flüchtige organische Verbindungen (VOC) vernachlässigt. Während die Relevanz des Kohlenstoffaustrags über VOC mindestens zwei Zehnerpotenzen kleiner als der Austrag über das Deponiegas ist, kann der Austrag über das Sickerwasser nicht ohne weiteres vernachlässigt werden. Nach Hädrich [2012] wird der ab- und umgebaute Kohlenstoff bei frischen Abfällen zu 5 – 10% in das Sickerwasser, der weit überwiegende Teil in Deponiegas überführt. Bei vorbehandelten Abfällen gehen bis zu 30% in das Sickerwasser.

Hinweise über den fraktionsspezifischen Abbau geben ferner Analysen der Zusammensetzung von Abfall aus rückgebauten Deponien. Wiemer et al. [2009] fanden in Abfallproben aus Deponien 29% biogene Anteile. Die abgelagerten Abfälle enthalten 55 – 65% Biomasse, so dass etwa 50% der eingebrachten Biomasse abgebaut worden ist. Rettenberger et al. [2011] fanden in Proben, die aus unterschiedlichen Tiefen entnommen wurden und dementsprechend unterschiedlich lange – zwischen 7 und 19 Jahren - abgelagert waren, in den Proben mit kurzer Ablagerungszeit relative hohe Anteile von Papier und Textilien. In den Proben aus den älteren Ablagerungen waren diese hingegen signifikant geringer, während sich der Anteil von Holz in allen Proben auf einem etwa gleichen Niveau bewegte. Dies deutet darauf hin, dass die schwerer abbaubaren Fraktionen über längere Zeiträume betrachtet auch abgebaut werden. Müller [2012] hat auf Grundlage der Erfahrungen im Rahmen des BMFT-Verbundvorhabens Deponiekörper eine Abschätzung des Abbaus von  $C_{org}$  vorgenommen.

Für die THG-Bilanzierung werden die in Tabelle A1 - 13 dargestellten Abbaugrade des in den jeweiligen Fraktionen enthaltenen organischen Kohlenstoffs unter Verwendung der Werte von Barlaz, Angaben von Smith [2001] und Müller [2012] sowie unter Plausibilitätsüberlegungen angesetzt. Für aride Klimazonen werden die Abbaugrade abgemindert. Damit wird der verminderten Verfügbarkeit von Wasser Rechnung getragen. Im Einzelnen begründen sich die Annahmen wie folgt:

- Papier/Pappe:** Der Abbaugrad wird in hohem Maße von der Art der Einlagerung und der Verfügbarkeit von Wasser / Feuchtigkeit beeinflusst. Während einzelne Blätter oder Tageszeitungen gut abgebaut werden können, sind Papierpacken oder Bücher dem biologischen Abbau nur in den äußeren Schichten zugänglich. Die Abbaurate wird mit 50% angenommen. Wegen der hohen Bedeutung der Verfügbarkeit von Wasser wird für aride Klimazonen eine deutliche Abminderung auf 40% vorgenommen.
- Küchenabfälle:** Diese Fraktion wird nahezu vollständig abgebaut. Die Abminderung auf 80% berücksichtigt den Kohlenstoffaustrag über das Sickerwasser sowie nicht optimale Deponiemilieubedingungen.
- Gartenabfälle:** Wert orientiert sich an den Versuchsergebnissen von Barlaz [1998].
- Bioabfälle:** Bioabfälle bestehen zum überwiegenden Teil aus Küchenabfällen / Essens-

---

218 Excel-Tool zur Bestimmung der Methanemissionen unter Zugrundelegung des First Order Decay-Modells

219 verschiedene Papiersorten und Kartonagen, Küchenabfälle, Grasschnitt, Laub, Äste, gemischte Abfälle

resten. Der angesetzte Abbaugrad entspricht einer Zusammensetzung des Bioabfalls von etwa 2/3 Küchenabfällen und 1/3 Gartenabfällen.

- Textilien: Es wird ein Wert in Anlehnung an Müller [2012] gewählt.
- Mittelmüll: Es wird ein Durchschnittswert aus den verschiedenen Quellen gewählt.
- Feinmüll: Der Abbau des im Feinmüll enthaltenen Corg wird entscheidend davon beeinflusst, ob genügend Wasser verfügbar ist. Ist der abbaubare Anteil, z.B. Kaffeesatz, Tee o.ä., in einer Masse aus Asche eingebettet, wird Corg kaum abgebaut. Eingebettet in einer Lage Bioabfall wird der Kohlenstoff hingegen weitgehend abgebaut.
- Windeln: Wert wird in Anlehnung an den Abbaugrad für Papier gewählt.
- Verbunde: Wert wird in Anlehnung an den Abbaugrad für Papier gewählt, jedoch zur Berücksichtigung der Einbindung der Papierlagen in nicht abbaubare Materialien abgemindert.
- Holz: Holz ist unter anaeroben Bedingungen kaum abbaubar.
- Leder, Gummi, Kork: Diese Materialien sind unter anaeroben Bedingungen nicht abbaubar.

**Tabelle A1 - 13: Angenommene Abbaugrade für regenerativen Kohlenstoff  $C_{reg}$  im Deponiekörper**

Fraktion	Smith et al. [2001]	Barlaz [1998]	Müller [2012]	Modell humid / arid
Papier / Pappe	20 – 50% / 35%	15 – 88% <sup>220</sup>	50%	50% / 40%
Küchenabfälle	75%	84%	-	80% / 75%
Gartenabfälle	50%	23 – 32% <sup>221</sup>	-	30% / 25%
Bioabfall	64%	-	60%	65% / 60%
Textilien	30%	-	0 – 15%	10%
Mittelmüll	35%	48% <sup>222</sup>	30%	35% / 30%
Feinmüll	60%	-	10 – 40%	40% / 30%
Windeln			20%	50% / 40%
Verbundverpackungen			40%	40% / 30%
Holz			0 – 15%	5%
Leder, Gummi, Kork			0 – 5%	0%

Für die angenommenen Modellabfälle wurde in Anlage 6 das Gasbildungspotential mit vorsichtigen Annahmen zum Abbaugrad von Corg berechnet. Es liegt mit diesen Annahmen zwischen 0,8 Mg CO<sub>2</sub>-äqu. für Abfalltyp A4 bis 1,4 Mg CO<sub>2</sub>-äqu. bei Abfalltyp C1.

Die mit diesen Annahmen berechneten Gesamtabbaugrade für Corg sind in Tabelle A1 - 14 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Ergebnisse gut mit den Erfahrungswerten [z.B. Wiemer et al. 2009] und den Empfehlungen von IPCC [2006] übereinstimmen.

**Tabelle A1 - 14: Errechnete Abbaugrade für organischen Kohlenstoff in einer geordneten Deponie**

Abfalltyp	Humide Klimazonen				Aride Klimazonen			
	A1	A3	B1	C1	A2	A4	B2	C2
Errechneter Abbaugrad $C_{org}$	58%	54%	54%	50%	52%	48%	48%	43%

220 je nach Papiersorte. Barlaz unterscheidet Wellpappe (45% Abbau), Zeitungen (12%), Büropapier (88%)

221 Werte für Grasschnitt (32% Abbau), Laub (28%) und Äste (23%)

222 gilt für ‚Municipal Solid Waste‘

### 5.1.2 Arbeitskräftebedarf

Bei Deponien hängen die Personalanforderungen stark von deren Größe ab. Für eine Deponie mit einem jährlichen Input von 100.000 Mg werden 10 - 12 Arbeitskräfte benötigt, davon ein Anlagenleiter, drei Fachkräfte für die Abfallannahme (Verwiegung) und Annahmekontrolle, drei Maschinenführer sowie Hilfskräfte. Für den Betrieb einer Sickerwasser-Behandlungsanlage und eines Blockkraftwerkes zur Nutzung des Deponiegases sind mindestens ein Betriebsleiter, zwei Fachkräfte für die Bedienung der Aggregate und auch Hilfskräfte erforderlich. Hinzu kommt Personal für Eingangskontrolle und Verwaltung. In EL ist es zudem üblich, Wachpersonal in größerem Maße vorzusehen. Der Personalbedarf kleinerer Deponien ist nur unwesentlich geringer. Damit kann die Anzahl der erforderlichen Beschäftigten bei Deponien mit etwa 0,1 Personen bis etwa 0,3 Personen pro 1.000 Mg/a abgeschätzt werden.

### 5.1.3 Kosten

Die Kosten geordneter Deponien werden entscheidend von den Standortgegebenheiten und der Größe der Deponie beeinflusst. Insbesondere das bei den morphologischen Gegebenheiten realisierbare Verhältnis von Ablagerungsvolumen zu Grundfläche bestimmt in hohem Maße die spezifischen Investitionskosten. Ferner sind die Untergrundverhältnisse im Hinblick auf die Eigenschaften als geologische Barriere und auf die Tragfähigkeit von Bedeutung. Darüber hinaus beeinflusst die Art der Sickerwasserbehandlung die Kosten.

Bei sehr großen Deponien mit einem Ablagerungsvolumen von etwa 5 Mio. m<sup>3</sup> und darüber können die spezifischen Investitionskosten mit etwa 3 – 4 €/m<sup>3</sup> Ablagerungsvolumen angegeben werden, bei mittleren Deponien von etwa 2 – 4 Mio m<sup>3</sup> mit 4 – 6 €/m<sup>3</sup>, bei kleinen Deponien mit etwa 1- 2 Mio. m<sup>3</sup> Volumen mit etwa 6 – 8 €/m<sup>3</sup> Ablagerungsvolumen.

Die spezifischen Ablagerungskosten sind ebenfalls von den Anlieferungsmengen abhängig. Sie liegen etwa zwischen 12 €/Mg bei sehr großen Deponien bis etwa 25 €/Mg bei kleinen Deponien.

## 5.2 Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) ist ein Überbegriff für alle Verfahrenskonzepte, bei denen mechanische und biologische Behandlungsverfahren in unterschiedlicher Weise kombiniert werden. Je nach Verfahrenskonzept und Rahmenbedingungen werden folgende Ziele verfolgt:

- Verringerung des erforderlichen Deponievolumens
- Verbesserung der Ablagerungseigenschaften der Abfälle
- Reduzierung der Sickerwasserbelastungen und des Deponiegases
- Gewinnung von recycelbaren Materialien
- Gewinnung von heizwertreichen Materialien / Ersatzbrennstoffen
- Erzeugung von Energie (Biogas)

In der biologischen Stufe der MBA werden weitgehend die gleichen Verfahren wie bei der Kompostierung und Vergärung von getrennt gesammelten Bioabfällen verwendet. Sie entsprechen den in Kap. 3.3 und 3.4 in dieser Anlage 1 beschriebenen Verfahren, unterscheiden sich allerdings in der Zielsetzung: Nicht die biologische Verwertung der organischen Bestandteile der Abfälle ist beabsichtigt, sondern entweder deren weitgehender biologischer Abbau zur Verbesserung der Ablagerungseigenschaften der Abfälle (Verfahrensansatz MBA - Endrotte) oder die Aufbereitung zu einem biologisch stabilen Ersatzbrennstoff (Verfahrensansatz Stabilisierung / MBS oder MPS, s. Kap. A1 4.2.2).

Aufgrund des größeren Spektrums an (Rest-)Abfallbestandteilen und der größeren Heterogenität des Abfalls werden an die mechanische Behandlung und auch an einige Aggregate in der biologischen Behandlung höhere Ansprüche als an die Behandlung von Bioabfällen gestellt. Zudem sind erhebliche Mengen an nicht biologisch zu behandelnden Fraktionen auszuschleusen, z.B. die heizwertreiche Grobfraction, Eisen und Nichteisenmetalle [Kühle-Weidemeier 2011].

Die MBA ist flexibel gestaltbar und kann gut an sich verändernde Abfallzusammensetzungen und Zielsetzungen angepasst werden. Es gibt eine Vielzahl von Verfahrenskonzepten, die sich in der Art und Anordnung der zentralen Prozessschritte sowie dem Ziel und der Art der biologischen Behandlung unterscheiden. Die Verfahren können grundsätzlich nach folgenden Merkmalen unterschieden werden:

- aerobe oder anaerobe biologische Behandlung
- Vollstrom- oder Teilstrombehandlung in der biologischen Stufe
- der biologischen Stufe vor- oder nachgelagerte mechanische Aufbereitung

Alle Verfahrenskonzepte der MBA führen zu einer erheblichen Verringerung der Masse und des Volumens der abzulagernden Abfälle sowie zu höheren Einbaudichten auf der Deponie. Das erforderliche Deponievolumen beträgt je nach Verfahrenskonzept und Ausgangssituation/Abfalleigenschaften etwa 15 – 40% im Vergleich zur direkten Ablagerung.

Beim Verfahrensansatz ‚MBA aerob‘ werden die organischen Abfälle weitgehend abgebaut und stabilisiert, wodurch das Gasbildungspotential, die Sickerwassermengen und –belastungen um – je nach Verfahren und Intensität bzw. Dauer der biologischen Prozessstufe – um 80% - 90% und mehr reduziert werden. Die Geruchsbildung und das Vorkommen von Vögeln, Schädlingen und Lästlingen auf den Deponien werden stark eingeschränkt. Die Palette der zum Einsatz kommenden aeroben Verfahren reicht von einfachen, kostengünstigen statischen Verfahren wie dem Kaminzugverfahren nach Collins/Spillmann über technologisch anspruchsvolle Intensivrotteverfahren in geschlossenen Anlagen.

In den Verfahren mit anaerober biologischer Behandlung wird auch energetisch verwertbares Biogas (Methan) erzeugt (s. Kap. A1 4.2.3). Den anaeroben Verfahren ist immer eine aerobe Behandlungsstufe nachgeschaltet. Der Prozess wird v.a. im Hinblick auf die Optimierung der Biogasproduktion und Separierung von Ersatzbrennstoffen ausgelegt. Aufgrund der Inhomogenitäten des zu vergärenden Abfallgemischs hat die diskontinuierliche Trockenvergärung verfahrenstechnische Vorteile gegenüber den nassen Verfahren. Sie stellt geringere Anforderungen an die vorgelagerte mechanische Aufbereitung, jedoch ist auch die Biogasausbeute geringer.

Die Anforderungen an die mechanische Aufbereitung ergeben sich aus den Behandlungszielen und den verfahrenstechnischen Erfordernissen der biologischen Stufe. Allgemein gilt: Je höher der Automatisierungsgrad, desto höher die Anforderungen an die mechanische Aufbereitung. Intensivrotteverfahren und anaerobe Verfahren sind technologisch anspruchsvoller und erfordern eine aufwändigere mechanische Aufbereitung.

Im Unterschied zu den meisten MBA-Verfahrensansätzen ist bei der MBS/MPS die mechanische Aufbereitung der biologischen Stufe nachgeschaltet. Der gesamte Abfallinput wird – nach einer Auslese von groben und sperrigen Wert- und Störstoffen bei der Anlieferung – zunächst aerob biologisch behandelt, das stabilisierte Material anschließend durch vollautomatische Zerkleinerungs-, Klassier- und Sortiervorgänge in brennbare und nichtbrennbare Bestandteile getrennt. Die nichtbrennbaren Bestandteile wie Metalle, Sand, Glas, Keramik etc. können weitestgehend aus dem getrockneten und aufbereiteten Restmüll separiert und in verwertbare (i.W. Metalle) und zu deponierende (Sand, Steine, Glas) Materialströme aufgetrennt werden.

Für den Verfahrensansatz MBS sind Intensivrotteverfahren besser geeignet als Vergärungsverfahren, jedoch existieren auch Ansätze, die sowohl die Erzeugung von Biogas als auch von Ersatzbrennstoffen zum Ziel haben<sup>223</sup>.

Bei allen Verfahren kann eine Auslese verwertbarer Materialien integriert werden, die sowohl vor als auch nach der biologischen Behandlungsstufe erfolgen kann. Die Qualität der Materialien ist jedoch aufgrund der Vermischung mit anderen Materialien, die bei Papier und Pappe zur Vernässung und biologischem Abbau führt, geringer als bei getrennt erfassten Wertstoffen. Nach der aeroben biologischen Prozessstufe aussortierte Wertstoffe haben – mit Ausnahme von Papier und Pappe – i.d.R. eine höhere Qualität als aus dem frischen Abfall sepa-

---

223 z.B. das ZAK-Verfahren des Zweckverbandes Abfallwirtschaft Kahlenberg [Rettenberger/Schneider 2005]

rierte Stoffe, da die Abtrennung infolge der Trocknung leichter ist und Verunreinigungen einfacher entfernt werden können.

### 5.2.1 Energiebedarf und –erzeugung

Wallmann et al. [2008] haben auf der Grundlage einer Analyse von 21 Anlagen eine Energiebilanz für verschiedene MBA-Typen vorgenommen. Dies umfasste 12 Endrotteanlagen mit aerober biologischer Behandlung, 6 Anlagen mit integrierter Vergärungsstufe sowie 3 MBS-Anlagen. Tabelle A1 - 15 zeigt die Ergebnisse. Dabei ist auffällig, dass MBS/MPS-Anlagen einen deutlich höheren Stromverbrauch und einen geringeren Dieselbedarf als andere MBA-Anlagen haben. Der höhere Stromverbrauch ist auf die höhere Lüftungsleistung sowie die aufwändigere Trenntechnik zurückzuführen. Der niedrigere Dieselbedarf erklärt sich damit, dass in MBS-Anlagen kein Umsetzen der Abfälle während der biologischen Behandlung erfolgt, was in herkömmlichen MBA-Anlagen teilweise mit dieselbetriebenen Aggregaten ausgeführt wird. Darüber hinaus sind die untersuchten MBS-Anlagen überwiegend mit Tiefbunkern ausgestattet, so dass die Abfallaufgabe per strombetriebenen Kran und nicht mit dieselbetriebenen Radlader erfolgt [Wallmann et al. 2008].

**Tabelle A1 - 15: Energieaufwand und –ertrag verschiedener MBA-Verfahren**  
[Wallmann et al. 2008, entnommen Kühle-Weidemeier 2011]

kWh je Mg Anlageninput (Mittelwert mit Min- und Max-Wert in Klammern)	Aufwand				Ertrag HWR-Verwertung <sup>1)</sup>		Ertrag Biogasverwertung <sup>2)</sup>	
	Strom	Gas (RTO)	Diesel	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
					oder		und	
<b>MBA ohne Vergärung</b>	37 (25-59)	56 (25-98)	11 (5-21)	-	320 (200-480)	1.200 (750-1.800)	-	-
<b>MBA mit Vergärung</b>	45 (28-57)	52 (22-88)	11 (5-21)	20 (10-30) <sup>3)</sup>			99 (20-145)	115 (24-167)
<b>MBS</b>	81 (45-112)	82 (38-110)	4 (2-9)	-	400 (320-520)	1.500 (1.200-1.950)	-	-

<sup>1)</sup> Brennstoffausnutzungsgrad: 20 % elektrisch oder 75 % thermisch (alternativ zueinander)

<sup>2)</sup> bei vollst. Biogasverwertung im BHKW; Wirkungsgrad: 37 % elektrisch und 43% thermisch (additiv zueinander)

<sup>3)</sup> nach Wallmann und Fricke (2002)

Der Gasverbrauch ist fast ausschließlich auf die thermische Abluftbehandlung mit der sog. Regenerativ-Thermischen Oxidation (RTO) zurückzuführen [Wallmann et al. 2008]. Dabei handelt es sich um ein flammenloses Oxidationsverfahren in einem aufgeheizten Bett aus Keramikkörpern [Kühle-Weidemeier 2011]. Zur Stützfeuerung wird überwiegend Erdgas eingesetzt. Aus Tabelle A1 - 15 wird deutlich, dass die RTO einen erheblichen Anteil des Energieverbrauchs der MBA-Anlagen ausmacht. Aufgabe der RTO ist sowohl die Reduzierung der Kohlenstoff-Emissionen, was sowohl Treibhausgase (v.a. Methan) als auch die Beseitigung umwelt- und gesundheitsrelevanter organischer Stoffe umfasst. Die strengen Emissionsschutzanforderungen in Deutschland machen den Betrieb von RTO erforderlich. Ein Einsatz in EL erscheint nicht zwingend, da die organischen Stoffe auch zu einem erheblichen Teil in nachgeschalteten Biofiltern abgebaut werden können. Auch eine Nutzung als Verbrennungsluft in benachbarten Verbrennungsanlagen kommt als Behandlungsverfahren in Betracht. Durch die Nachverbrennung werden organische Belastungen der Abluft zerstört. Als Verbrennungsanlage kommen sowohl ein mit Deponie- oder Biogas betriebenes Gasturbinen-BHKW als auch eine Verwertungsanlage für die Sekundärbrennstoffe – Kraft- oder Zementwerk - in Frage.

Bei MBS/MPS kann die Energiebilanz durch Nutzung von Abwärme aus benachbarten wärmetechnischen Prozessen entlastet und im Gegenzug die Abluft aus der Trocknung als vor-

gewärmte Zuluft in der Verbrennung genutzt werden

Nutzbare Energie fällt in Form von heizwertreichen Stoffen an, die zu Ersatzbrennstoff aufbereitet werden, sowie bei Vergärungsanlagen in Form von Biogas. Die Menge des Energieertrags hängt entscheidend von der Abfallzusammensetzung ab. Die Biogasproduktion liegt zwischen 60 und 160 m<sup>3</sup>/Mg Input der biologischen Stufe. Die höchsten Werte wurden in Trockenvergärungsanlagen erzielt (120 - 160 m<sup>3</sup>/Mg Input der biologischen Stufe).

Bei MBA-Anlagen mit einfacher Verfahrenskonfiguration ist der Energiebedarf etwas höher als von Mietenrotteverfahren für Bioabfall aufgrund des höheren Aufwands für die mechanische Aufbereitung. Je nach Antriebsart – Diesel oder Strom – für das Siebaggregat ist der Strom- oder Dieselverbrauch erhöht.

### **5.2.2 Treibhausgasemissionen**

Die THG-Emissionen MBA hängen von Abfallzusammensetzung und –eigenschaften, der Art der biologischen Behandlung - aerob oder anaerob - sowie dem Verfahren der Abluftfassung und –behandlung ab. Neubauer/Lampert [2012] haben eine Zusammenstellung der Klimarelevanz verschiedener Verfahren der MBA vorgelegt. Darin wurden für die Teilstromvergärung, Endrotteverfahren und MBS verschiedene Verfahrensvarianten der Abluftbehandlung untersucht. Dies umfasste die Verfahren Biofilter, Wäscher (sauer und neutral) und RTO sowie die Kombinationen der Verfahren. Für die hier vorgenommene Betrachtung werden die Ergebnisse für die Verfahren mit Biofilter herangezogen, da dies für EL als zunächst ausreichend beurteiltes Abluftbehandlungsverfahren eingeschätzt wird.

Bei der Trockenvergärung mit anschließender Tunnelrotte bzw. Hallenrotte geben Neubauer/Lampert die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen mit 35 – 45 kg CO<sub>2</sub>-äqu./Mg Abfall an, für die aerobe Endrotte (Tunnelrotte und Hallenrotte) zwischen 30 und 42 kg CO<sub>2</sub>-äqu./Mg Abfall, für die Trocknung MBS mit 9 und 15 kg CO<sub>2</sub>-äqu./Mg Abfall, jeweils ohne Gutschriften.

Die THG-Emissionen der MBA mit einfacher Verfahrenskonfiguration werden in Analogie zur Bioabfallkompostierung angenommen.

### **5.2.3 Arbeitskräftebedarf**

Der Personalbedarf einer einfachen MBA ist dem einer Kompostierungsanlage vergleichbar und hängt von der Größe und v.a. vom Sortieraufwand ab. Da auch einfache MBA Deponien vorgeschaltet sind, handelt es sich i.d.R. um größere Anlagen mit einem Jahresdurchsatz von mehr als 100.000 t/a. Der Personalbedarf liegt bei 0,7 – 1 Person pro 1.000 Mg/a Durchsatz.

Der Personalbedarf einer MBA mit Stoffstromsplitting ist dem einer Kompostierungs- und Vergärungsanlage mit fortgeschrittener Anlagenkonfiguration vergleichbar. Die Qualifikationsanforderungen für Leitungspersonal und für die Wartung und Überwachung der Aggregate sind hoch. Jedoch kann für einfache Sortierarbeiten auch wenig qualifiziertes Personal eingesetzt werden. Der Personalbedarf liegt bei Anlagen mit Kapazitäten über 100.000 Mg/a bei etwa 30 – 50 Personen entsprechend 0,3 – 0,5 Personen pro 1.000 Mg/a Durchsatz.

### **5.2.4 Kosten**

Die Bau- und Betriebskosten der MBA differieren je nach verfahrenstechnischem Aufwand und Art der Anlage stark. Sie werden ferner von der Kapazitätsauslegung und der Anlagentechnik beeinflusst.

Für einfache MBA-Verfahren mit einfacher mechanischer Aufbereitung, die meist eine Separierung von Wertstoffen und groben Störstoffen, Siebung, Mischung / Homogenisierung und ggf. Zerkleinerung, sowie eine Mietenrotte umfassen, betragen die spezifischen Investitionskosten etwa 50 – 100 EUR pro jato Durchsatzkapazität. Die spezifischen Behandlungskosten liegen bei etwa 30 – 50 EUR pro Tonne Abfall.

Aufwändigere Verfahren mit Intensivrotte oder Vergärung als biologischer Behandlungsstufe sind aufgrund der aufwändigen mechanischen Aufbereitung deutlich kostenintensiver. Die

spezifischen Investitionskosten können für Deutschland mit 300 – 450 EUR pro jato Durchsatzkapazität angegeben werden. Die spezifischen Behandlungskosten betragen etwa 75 – 100 EUR pro Tonne Abfall.

Die MBS/MPS ist aufgrund der geringeren Baugrößen für den biologischen Teil etwas kostengünstiger. Allerdings sind der belüftungs- und der maschinentechnische Aufwand der mechanischen Behandlung höher. Die spezifischen Investitionskosten können für Deutschland mit 250 – 350 EUR pro jato Durchsatzkapazität angegeben werden. Die spezifischen Behandlungskosten betragen etwa 65 – 85 EUR pro Tonne Abfall.

### 5.3 Thermische Abfallbehandlung

Der Begriff 'thermische Abfallbehandlung' umfasst alle Verfahren, bei denen Abfälle verbrannt, vergast oder unter Sauerstoffabschluss entgast (Pyrolyse) werden. Auch wenn Ent- und Vergasungsverfahren<sup>224</sup> theoretisch eine bessere Ausnutzung der in den Abfällen enthaltenen Energie und eine größere Produktvielfalt in Form der Erzeugung von industriell nutzbaren Gasen, Ölen und Koks ermöglichen, haben sich diese Verfahrensansätze für die Behandlung und Verwertung von gemischten Abfällen bisher nicht durchsetzen und den Nachweis der dauerhaften Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit noch nicht erbringen können [Bilitewski et al. 2009]. Die Gründe liegen v.a. in den verfahrenstechnischen Schwierigkeiten aufgrund der Inhomogenität und Schadstoffgehalte der Abfälle sowie den höheren Kosten. Hingegen sind Rost- und Wirbelschichtverbrennungsanlagen mit Energiegewinnung erprobte und zuverlässige Verfahren zur Behandlung und energetischen Verwertung anderweitig nicht verwertbarer Abfälle.

Rostfeuerungen können für Abfälle mit einem Heizwertband von etwa 6,5 – 12 MJ/kg ausgelegt werden. Höhere Heizwerte sind zwar möglich, erfordern jedoch wassergekühlte Roste zum Schutz gegen thermische Überbeanspruchung. Wirbelschichtverbrennungsanlagen (WSV) können je nach Ausführung<sup>225</sup> für ein wesentlich breiteres Heizwertband von etwa 6,5 – 22 MJ/kg ausgelegt werden. Sie sind zudem aufgrund der Wärmespeicherkapazität des Wirbelbettmaterials unempfindlicher gegenüber Heizertschwankungen. WSV stellen jedoch besondere Anforderungen an die Eigenschaften der eingesetzten Abfälle, um Störungen im Betriebsablauf, v.a. in den Förder- und Dosiereinrichtungen zu vermeiden und eine möglichst gute Durchmischung mit dem Wirbelbettmaterial zu erreichen. Dazu ist eine Aufbereitung der Abfälle vor der Verbrennung in Form einer Zerkleinerung und Homogenisierung erforderlich. Diese kann sowohl extern als auch am Standort der Abfallverbrennungsanlage durchgeführt werden. Gut geeignet für die WSV sind aufbereitete heizwertreiche Fraktionen.

Rostfeuerungen hingegen sind sehr robust und können auch weitgehend unvorbehandelte Abfälle verbrennen. Lediglich grobe Störstoffe sind zu entfernen und sperrige Abfälle zu zerkleinern, um Blockaden in den Förder-, Zuführungs- und Dosiereinrichtungen zu verhindern.

Für das An- und Abfahren der Feuerungsanlagen sowie im Falle des Unterschreitens der Mindestfeuerraumtemperatur müssen externe Energieträger wie Erdgas oder Erdöl eingesetzt werden, um das erforderliche Temperaturniveau von 850°C für eine ordnungsgemäße Verbrennung zu gewährleisten. Im kontinuierlichen Betrieb ist üblicherweise keine Zusatzfeuerung notwendig. Jedoch weisen die Abfälle in EL i.d.R. überwiegend nur geringe Heizwerte auf, so dass das Risiko von Unterschreitungen des für eine selbstgängige Verbrennung erforderlichen Mindestheizwerts und damit der Verbrauch an externen Energieträgern größer ist.

WSV haben infolge der höheren Vordrücke der Verbrennungsluft und des zusätzlichen Energiebedarfes für die Abfallaufbereitung einen gegenüber Rostfeuerungen ca. 50% höheren Eigenbedarf an elektrischer Energie, jedoch ist der Kesselwirkungsgrad höher, so dass der elektrische Netto-Wirkungsgrad etwas höher als bei Rostfeuerungen liegt.

---

224 Vergasung bezeichnet die Teiloxidation des Kohlenstoffs zu CO, das als brennbares Gas zusammen mit anderen im Prozess erzeugten brennbaren Gasen wie H<sub>2</sub> für eine weitergehende Nutzungen zur Verfügung steht. Verbrennung bezeichnet demgegenüber die vollständige Oxidation des Kohlenstoffs zu CO<sub>2</sub>.

225 stationäre, rotierende oder zirkulierende Wirbelschicht

Die bei der Verbrennung von Abfällen entstehenden Rauchgase bedürfen aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes der Behandlung. Die Reinigung der Rauchgase ist eine notwendige Komponente bei allen Verbrennungsverfahren. Die verfügbaren Technologien sind unabhängig vom vorgeschalteten Feuerungssystem universell einsetzbar und können in geeigneter Weise zur Abscheidung der Luftschadstoffe Staub, schwer- und leichtflüchtige Schwermetalle (z. B. Quecksilber), Schwefeloxide (SO<sub>x</sub>), Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF) und organischer Verbindungen (z. B. Dioxine und Furane) miteinander kombiniert werden.

Für die Abscheidung von Staub und Schwebstoffen kommen v.a. Elektro- und Gewebefilter zum Einsatz, die der Abscheidung gasförmiger Schadstoffe nachgeschaltet sind. Staub beinhaltet vorwiegend flüchtige Schwermetalle sowie große Mengen an organischen Verbindungen. Der Gehalt an Dioxinen/Furanen ist besonders hoch. Zur Rückhaltung von gasförmigen Schadstoffen, leichtflüchtigen Schwermetallen und Feinstäuben, an die sich Schwermetalle in hohem Maße anlagern, werden trockene, halbtrockene und nasse Rauchgasreinigungsverfahren eingesetzt, wobei nasse Systeme abwasserfrei und abwassererzeugend betrieben werden können. Nassverfahren sind zur Abscheidung saurer Gase weitaus effizienter als trockene und quasitrockene Verfahren. Die sog. 'Wäscher' arbeiten mit Kalk oder vergleichbaren Medien als trockene (Kalkmehl), quasitrockene (Kalkmilch) oder nasse Verfahren (Waschtürme). Die Reaktionsprodukte werden in einem Gewebefilter abgeschieden.

Die Wäscher können einstufig und mehrstufig ausgeführt werden. Die mehrstufige Ausführung, bei der saure und neutrale Stufen hintereinander geschaltet sind, hat den Vorteil, dass die erzeugten Reaktionsprodukte getrennt als Schwermetallkonzentrate und verwertbare schadstoffarme Stoffe (Gips, Salz, Salzsäure) anfallen. Bei den trockenen Verfahren fallen in höherem Maße als Sonderabfall zu entsorgende belastete Abfälle an.

Zur Abscheidung der verbleibenden Restkonzentrationen an organischen Schadstoffen, z.B. Dioxine/Furane, sowie anorganischer Schadstoffe wie Schwermetalle, ist eine abschließende Adsorption erforderlich. Dazu wird Aktivkohle oder -koks verwendet, was entweder in einem Festbettfilter angeordnet ist oder dem Abgasstrom zudosiert (Flugstromadsorption) und im Gewebefilter abgesondert wird. Schwermetalle, Dioxine und Furane werden neuerdings auch durch Zugabe spezieller Kalk-Kohle-Gemische direkt in den Verbrennungsprozess abgeschieden. Eine nachträgliche Abscheidung ist dann überflüssig.

Für die Entstickung werden neben der Steuerung der Verbrennungsprozesse zur Minimierung der bei der Verbrennung entstehenden Stickoxide katalytische (SCR-Verfahren) und nicht-katalytische Verfahren (SNCR-Verfahren) eingesetzt<sup>226</sup>. Bei den SNCR-Verfahren erfolgt die Entfernung mittels Einsprühen von Nitrogenverbindungen (besonders Harnstoff oder Ammoniak) in den heißen Rauchgasstrom. Beim SCR-Verfahren werden die Stickoxide unter Zugabe von Ammoniakwasser an einem Katalysator zu Stickstoff und Wasserdampf umgesetzt.

Als Rückstände aus der Verbrennung und Rauchgasreinigung fallen Schlacke, Flugasche, Gips, Filterstäube, Eisenschrott und NE-Metalle an. Sie betragen – je nach Abfallzusammensetzung und Anteil der nicht brennbaren Anteile im Abfall – 20 – 30 Gew.-% resp. 5 – 10 Vol.-% bezogen auf den Input. Mengenmäßig haben die Aschen/Schlacken die größte Bedeutung, gefolgt von Stäuben und Eisenschrott. Die Verbrennungsschlacke kann abgelagert oder nach einer Aufbereitung stofflich genutzt werden. Die Aufbereitung umfasst die Abtrennung von Metallen und Zerkleinerung/Homogenisierung, so dass das Material für untergeordnete Bauzwecke (z.B. als Füll- und Dammbaumaterial, Unterbau im Straßenbau) eingesetzt werden kann. Der Eisenschrott ist ein hochwertiger Wertstoff, der bei Rostfeuerungen nach der Verbrennung separiert wird. Die Qualität von Eisenschrott, der bei der WSV aus dem Inputstrom separiert wird, ist demgegenüber geringer. Der Aufwand für die Abscheidung von NE-Metallen ist i.d.R. so groß, dass dies bei den meisten in Betrieb befindlichen Anlagen bisher nicht praktiziert wird.

---

226 SCR – Selective Catalytic Reaction resp. SNCR: Selective Non Catalytic Reaction

Flugasche und Filterstäube sind als gefährliche Abfälle entweder in Untertagedeponien oder auf speziellen Sonderabfalldeponien zu entsorgen. Gips aus der Rauchgasentschwefelung kann, sofern er separat anfällt, entweder in der Bauindustrie eingesetzt werden oder ist auf einer Deponie abzulagern.

### **5.3.1 Energiebedarf und –erzeugung**

Die höchste Ausnutzung der in den Abfällen enthaltenen Energie wird durch die thermische Abfallbehandlung erzielt. Bei Möglichkeit der vollständigen Nutzung der erzeugten Energie in Form von Dampf und Wärme sind hohe Nutzungsgrade erreichbar, da keine Notwendigkeit besteht, möglichst hohe Dampfparameter für eine effiziente Stromerzeugung zu erreichen. Anlagen in den Niederlanden erzielen Kesselwirkungsgrade von bis zu 85%. Unter Berücksichtigung des Eigenbedarfs der Anlage werden somit bis zu 80% der im Abfall enthaltenen Energie genutzt.

Fehlen die Voraussetzungen für die Nutzung von Prozessdampf und Wärme am Standort und kann nur Strom abgegeben werden, können – nach Abzug des Eigenbedarfs der Anlage – nur etwa 15 – 20% der Brennstoffwärmeleistung genutzt werden. Der aus thermodynamischen Gründen maximal erreichbare elektrische Brutto-Wirkungsgrad liegt mit den üblichen Dampfparametern bei 28%, in der Praxis werden 20 – 25% erreicht.

Der Eigenbedarf an elektrischer Energie beträgt bei Rostfeuerungen 3 - 6% der Brennstoffwärmeleistung entsprechend etwa 15 - 30 % der produzierten Strommenge. Eine höhere Ausnutzung ließe sich durch Erhöhung der Dampfparameter erreichen, die üblicherweise in einem Bereich von 400°C und 40 bar liegen. Dem stehen jedoch deutlich erhöhte Korrosionsprobleme im Kessel entgegen. Daneben benötigt die Verbrennungsanlage Dampf bzw. Wärme, v.a. zur Aufheizung der Abgase vor der Entstickung.

Je nach Heizwert der Abfälle können somit etwa 1,5 – 2,5 MWh<sub>th</sub> Energie pro Mg Abfall in Form von Prozessdampf und Wärme abgegeben werden. Die mögliche Netto-Stromerzeugung liegt zwischen etwa 0,3 – 0,5 MWh<sub>el</sub> pro Mg Abfall.

### **5.3.2 Treibhausgasemissionen**

Die THG-Emissionen der TAB hängen entscheidend von der Abfallzusammensetzung ab. Geringfügigen Einfluss hat die Vollständigkeit der Verbrennung. Der Anteil an Unverbranntem kann je nach Güte der Verbrennung und Betriebsführung bis zu 5% in der Asche betragen, hat jedoch auf die THG-Bilanz nur untergeordnete Bedeutung. Für die angenommenen Modellabfälle wurde die TGH-Bildung für verschiedene Abfallwirtschaftskonzeptionen in Anlage 6 berechnet. Je nach Anteil von fossilem Kohlenstoff im Abfall liegt sie – ohne Berücksichtigung von Gutschriften für die Substitution von Primärenergie - zwischen etwa 150 und rd. 300 kg CO<sub>2</sub> pro Mg Abfall.

### **5.3.3 Arbeitskräftebedarf**

Bei der TAB werden je Linie 15 ausgebildete Personen, einschließlich eines Ingenieurs und zweier Vorarbeiter benötigt. Zusätzlich ist Personal für Verwaltung, Reinigungsarbeiten und Eingangskontrolle vorzusehen [Bilitewski et al. 2009]. Bei üblichen Kapazitäten von 20 – 30 Mg/h je Linie und 7.000 – 8.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr sind 4 - 5 Schichten erforderlich. Dies ergibt einen Personalbedarf von 0,3 – 0,6 Personen je 1.000 Mg/a Kapazität. Der Anteil des Führungspersonals liegt bei etwa 15 – 20%.

### **5.3.4 Kosten**

Die Investitionskosten der TAB werden in hohem Maße von der Kapazität der Anlage und der Anzahl der Verbrennungslinien beeinflusst. Die Kostendegression mit zunehmender Anlagengröße ist hoch. Aus diesem Grund sollte die Kapazität von TAB nicht unter 100.000 Mg/a liegen. Bedeutung hat ferner der zu erzielende Abgasreinigungsstandard, jedoch wird hier davon ausgegangen, dass die hohen Anforderungen, die an Anlagen in Europa und Deutschland gestellt werden, gelten. Die spezifischen Investitionskosten betragen in Deutschland zwischen etwa 500 und 800 EUR pro jato Anlagenkapazität.

Die spezifischen Kosten hängen entscheidend von der Anlagenauslastung ab, da die vom Durchsatz unabhängigen Kapitalkosten mehr als 50% der Vollkosten betragen. Bedeutsamen Einfluss auf die spezifischen Kosten haben die Ausgaben für die Entsorgung der Verbrennungsrückstände und der Rückstände aus der Rauchgasreinigung. Letztere müssen in Deutschland als Sonderabfall entsorgt werden. Für EL wird angenommen, dass diese auch auf Siedlungsabfalldeponien entsorgt werden können, was zu deutlichen Kosteneinsparungen führt.

Durch die Erlöse aus dem Verkauf der erzeugten Energie können nennenswerte Kostendeckungsbeiträge erzielt werden. Ferner können durch die Verwertung von Schrott aus der Schlacke Einnahmen erzielt werden.

#### **5.4 Kennwerte der Restabfallbehandlung und –ablagerung**

Tabelle A1 - 16 zeigt die Kennwerte der Restabfallbehandlung und –ablagerung, die für die Bilanzierung verwendet werden.

**Tabelle A1 - 16: Kennwerte der Restabfallbehandlung und -ablagerung**

<b>Restabfallbehandlung und -ablagerung</b>					
<b>Systeme</b>	<b>MBA aerob einfach</b>	<b>MBA Intensivrotte</b>	<b>MBA anaerob</b>	<b>TAB</b>	<b>Geordnete Deponie</b>
Energiebedarf	Gesamt: 20 – 40 kWh/Mg Strom: 10 – 20 kWh/Mg Diesel: 10 – 20 kWh/Mg	Gesamt: 40 – 80 kWh/Mg Strom: 30 – 50 kWh/Mg Diesel: 15 – 30 kWh/Mg	Gesamt: 40 – 80 kWh/Mg Strom: 30 – 50 kWh/Mg Diesel: 15 – 30 kWh/Mg	Gesamt: 80 – 120 kWh/Mg Strom: 75 – 120 kWh/Mg Diesel: 0 – 5 kWh/Mg	Gesamt: 10 – 20 kWh/Mg Strom: 10 – 15 kWh/Mg Diesel: 5 – 10 kWh/Mg
Energieerzeugung	keine	keine	Je nach Abfallzusammensetzung, Materialausbeute und Energienutzungsform	Je nach Heizwert und Energienutzungsform	Je nach Abfallzusammensetzung, Deponiemilieu, Nutzungsform der Energie
Gasmenge	n.a.	n.a.	40 – 80 m <sup>3</sup> /Mg Abfall		40 – 80 m <sup>3</sup> /Mg Abfall
Wärme	n.a.	n.a.	220 – 440 kWh/Mg Abfall	1.400 - 2.200 kWh/Mg Abfall	220 – 440 kWh/Mg Abfall
Strom	n.a.	n.a.	80 – 160 kWh/Mg Abfall	300 – 450 kWh/Mg Abfall	80 – 160 kWh/Mg Abfall
Treibhausgasemissionen (ohne Gutschriften)  aus Prozess aus Energiebedarf	Abhängig von Abfallzusammensetzung, Anteil regenerativen Kohlenstoffs, Abluftbehandlung 80 – 140 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 10 – 20 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg	Abhängig von Abfallzusammensetzung, Anteil regenerativen Kohlenstoffs, Abluftbehandlung 30 – 42 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 25 – 50 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg	Abhängig von Abfallzusammensetzung, Anteil regenerativen Kohlenstoffs, Abluftbehandlung 35 – 45 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 25 – 50 kgCO <sub>2</sub> -äqu./Mg	Abhängig von Abfallzusammensetzung und Anteil fossilen Kohlenstoffs 150 – 300 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 60 – 90 kgCO <sub>2</sub> -äqu./Mg	Abhängig von Abfallzusammensetzung, Deponiemilieu und fassbarem Deponiegas 700 – 1.500 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg 10 – 15 kg CO <sub>2</sub> -äqu./Mg
Beschäftigungswirkung	0,7 – 1 Personen /1.000 jato	0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato	0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato	0,3 – 0,6 Personen / 1.000 jato	0,1 – 0,3 Personen / 1.000 jato
Investitionen Behandlungskosten	100 – 150 EUR/Mg jato 20 – 30 EUR / Mg	250 – 350 EUR/Mg jato 60 – 80 EUR/Mg	300 – 400 EUR/Mg jato 70 – 100 EUR/Mg	600 – 800 EUR/Mg jato 100 – 140 EUR/Mg	60 – 200 EUR/Mg jato 12 – 25 EUR/Mg

n.a. nicht anwendbar

## 6 KOSTEN UND KOSTENSTRUKTUREN

Die Tabellen A1 - 17 und A1 - 18 zeigen die Kosten und Kostenstrukturen für Verfahren der Abfallwirtschaft in Industrieländern. Tabelle A1 – 19 die spezifischen Vollkosten und deren Strukturen bei Übertragung in EL mit unterschiedlichem BIP.

**Tabelle A1 - 17: Investitionskosten und Kostenstruktur für Verfahren der Abfallwirtschaft in Industrieländern**

Prozess / Verfahren		Sammlung, Transport	Sortierung	Kompostie- rung einfach	Bioabfall Intensivrotte Vergärung	MBA einfach	MBA aerob, anaerob	MBS / MPS	TAB / EBS-HKW
<b>Investitionskosten</b>	<b>[€/Mg/a]</b>	<b>60 – 80</b>	<b>100 - 150</b>	<b>100 - 150</b>	<b>200 - 400</b>	<b>50 - 100</b>	<b>300 - 450</b>	<b>250 - 350</b>	<b>600 - 800</b>
Grundstück und Erschließung	[%]	0 - 5	3 – 5	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10	3 – 6	1 – 2
Planung, Genehmigung	[%]	-	3 – 5	3 – 5	5 – 8	5 – 8	5 – 8	5 – 8	5 – 8
Gründung, Baukonstruktion	[%]	-	40 - 50	50 - 60	40 - 50	50 - 60	40 - 50	40 - 50	15 - 25
Technische Ausrüstung	[%]	95 - 100	30 - 40	25 - 35	30 - 40	25 - 35	30 - 40	40 - 50	60 - 70
Bauzinsen, Sonstiges	[%]	-	2 – 4	2 – 4	4 – 6	4 – 6	4 – 6	4 – 6	6 – 8

**Tabelle A1 - 18: Spezifische Vollkosten und Kostenstruktur für Verfahren der Abfallwirtschaft in Industrieländern**

Prozess / Verfahren		Sammlung, Transport	Sortierung	Kompostie- rung einfach	Bioabfall Intensivrotte Vergärung	MBA einfach	MBA aerob, anaerob	MBS / MPS	TAB / EBS-HKW
<b>Spezifische Vollkosten</b>	<b>[€/Mg]</b>	<b>65 - 85</b>	<b>55 -70</b>	<b>35 - 50</b>	<b>70 – 90</b>	<b>35 - 50</b>	<b>75 – 90</b>	<b>65 – 85</b>	<b>110 - 140</b>
Kapitalkosten	[%]	10 – 15	30 – 40	30 - 40	40 - 50	30 - 40	40 - 50	40 - 50	50 - 60
Personalkosten Arbeiter	[%]	50 - 60	55 - 60	20 - 30	10 – 15	15 - 20	10 – 15	10 – 15	10 – 15
Führungspersonal	[%]	2 – 3	2 – 3	3 – 5	5 – 8	3 – 5	5 – 8	5 – 8	5 – 8
Energie, Betriebsmittel	[%]	15 - 20	3 – 5	10 – 15	10 – 15	6 – 10	15 - 20	15 – 20	3 – 5
Wartung, Instandhaltung	[%]	8 – 12	5 – 8	3 – 5	5 – 8	3 – 5	5 – 8	5 – 8	10 – 15
Reststoffentsorgung	[%]	-	2 – 4	5 – 10	5 – 10	15 - 20	10 – 15	5 – 10	5 – 10
Verwaltung, Sonstiges	[%]	5 – 8	5 – 8	4 – 6	5 – 8	3 – 5	3 – 5	3 – 5	4 – 6

Tabelle A1 - 19: Spezifische Vollkosten und Kostenstruktur für Verfahren der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern in Abhängigkeit des BIP

Prozess / Verfahren		Sammlung, Transport	Sortierung	Kompostie- rung einfach	Bioabfall Intensivrotte Vergärung	MBA einfach	MBA aerob, anaerob	MBS / MPS	TAB / EBS-HKW
<b>BIP &lt; 2.000</b>	<b>[€/Mg]</b>	<b>30 - 40</b>	<b>20 - 30</b>	<b>20 - 30</b>	<b>50 - 60</b>	<b>20 - 25</b>	<b>40 - 50</b>	<b>45 - 55</b>	<b>65 - 80</b>
Personalkosten, Verwaltung	[€ / Mg]	5 - 6	3 - 4	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	2 - 3
Führungspersonal	[€ / Mg]	0,5 - 1	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	1 - 2	2 - 3	2 - 3	3 - 4
Kapitalkosten	[€ / Mg]	8 - 12	10 - 15	8 - 12	25 - 30	9 - 12	25 - 30	25 - 30	40 - 50
Nicht veränderliche Kosten	[€ / Mg]	15 - 20	8 - 12	10 - 15	20 - 25	7 - 10	15 - 20	15 - 20	20 - 25
Reststoffentsorgung	[€ / Mg]	-	enthalten	enthalten	enthalten	separat	separat	separat	separat
<b>BIP 2.000 - 4.000</b>	<b>[€/Mg]</b>	<b>35 - 45</b>	<b>25 - 35</b>	<b>20 - 30</b>	<b>50 - 60</b>	<b>20 - 30</b>	<b>40 - 50</b>	<b>45 - 55</b>	<b>65 - 80</b>
Personalkosten, Verwaltung	[€ / Mg]	8 - 10	4 - 6	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4
Führungspersonal		1 - 2	1 - 2	1 - 2	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4
Kapitalkosten	[€ / Mg]	8 - 12	10 - 15	8 - 12	25 - 30	9 - 12	25 - 30	25 - 30	40 - 50
Nicht veränderliche Kosten	[€ / Mg]	15 - 20	10 - 15	10 - 15	20 - 25	7 - 10	15 - 20	15 - 20	20 - 25
Reststoffentsorgung	[€ / Mg]	-	enthalten	enthalten	enthalten	separat	separat	separat	separat
<b>BIP 4.000 - 6.000</b>	<b>[€/Mg]</b>	<b>35 - 45</b>	<b>30 - 40</b>	<b>20 - 30</b>	<b>50 - 60</b>	<b>20 - 30</b>	<b>45 - 55</b>	<b>45 - 55</b>	<b>70 - 85</b>
Personalkosten, Verwaltung	[€ / Mg]	10 - 12	6 - 8	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	4 - 5
Führungspersonal		1 - 2	1 - 2	1 - 2	2 - 3	1 - 2	2 - 3	2 - 3	4 - 5
Kapitalkosten	[€ / Mg]	8 - 12	10 - 15	8 - 12	25 - 30	9 - 12	25 - 30	25 - 30	40 - 50
Nicht veränderliche Kosten	[€ / Mg]	15 - 20	10 - 15	10 - 15	20 - 25	7 - 10	15 - 20	15 - 20	20 - 25
Reststoffentsorgung	[€ / Mg]	-	enthalten	enthalten	enthalten	separat	separat	separat	separat

## **Anlage 2**

Beschreibung des Bilanzierungstools  
zur Stofffluss-, Energie- und  
Treibhausgasbilanzierung

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. ÜBERSICHT ÜBER DAS BILANZIERUNGSTOOL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. BERECHNUNGSMETHODEN UND ANNAHMEN .....</b>	<b>3</b>
2.1 Input	3
2.2 Getrennte Sammlung, Sortierung und stoffliche Verwertung	4
2.2.1 Getrennte Sammlung	4
2.2.2 Sortierung	4
2.2.3 Energie- und THG-Bilanzierung bei der stofflichen Verwertung	5
2.3 Energetische Verwertung / Substitution von fossilen Energieträgern	6
2.4 Biologische Verwertung	7
2.5 Restabfallbehandlung	8
2.6 Baseline	9

## Abbildungsverzeichnis

Abb. A2 - 1: Struktur und Aufbau der Tabellen im Tool „Stofffluss-, Energie- und Klimabilanzen Abfalltypen“	2
---	---

## Tabellenverzeichnis

Tab. A2 - 1: Verfahrenskombinationen der Wertstoffrückgewinnung	4
Tab. A2 - 2: Angenommene Erfassungs- und Sortierquoten	5
Tab. A2 - 3: THG-Minderung und Energieeinsparung durch Recycling	6
Tab. A2 - 4: Verwendete Parameter bei der Bioabfallverwertung	7
Tab. A2 - 5: Verwendete Parameter bei der mechanisch-biologischen Behandlung	8
Tab. A2 - 6: Fraktionsspezifische Abbaugrade für organischen Kohlenstoff in einer geordneten Deponie	9
Tab. A2 - 7: Errechnete Gesamtabbaugrade Abbaugrade für organischen Kohlenstoff in einer geordneten Deponie	10

## 1 ÜBERSICHT ÜBER DAS BILANZIERUNGSTOOL

Für die Bilanzierung der Stofffluss- und Energieströme sowie der Treibhausgaswirkungen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Excel-basiertes Bilanzierungstool entwickelt. Dieses wird nachfolgend beschrieben, Berechnungsmethoden werden erläutert und die Annahmen begründet.

Mit dem Tool ‚Stofffluss- Energie- und Klimabilanzen Abfalltypen‘ können für beliebige Abfallzusammensetzungen für insgesamt 16 hinterlegte Abfallwirtschaftskonzeptionen (AWK) die Stoff- und Energieflüsse sowie Treibhausgasemissionen bilanziert werden. Die Konfiguration der AWK ist in Kap. 5.4 dargestellt. Die betrachteten Abfalltypen sind in Kap. 5.2.2 beschrieben. Für jeden Abfalltyp ist ein eigenes Arbeitsblatt angelegt.

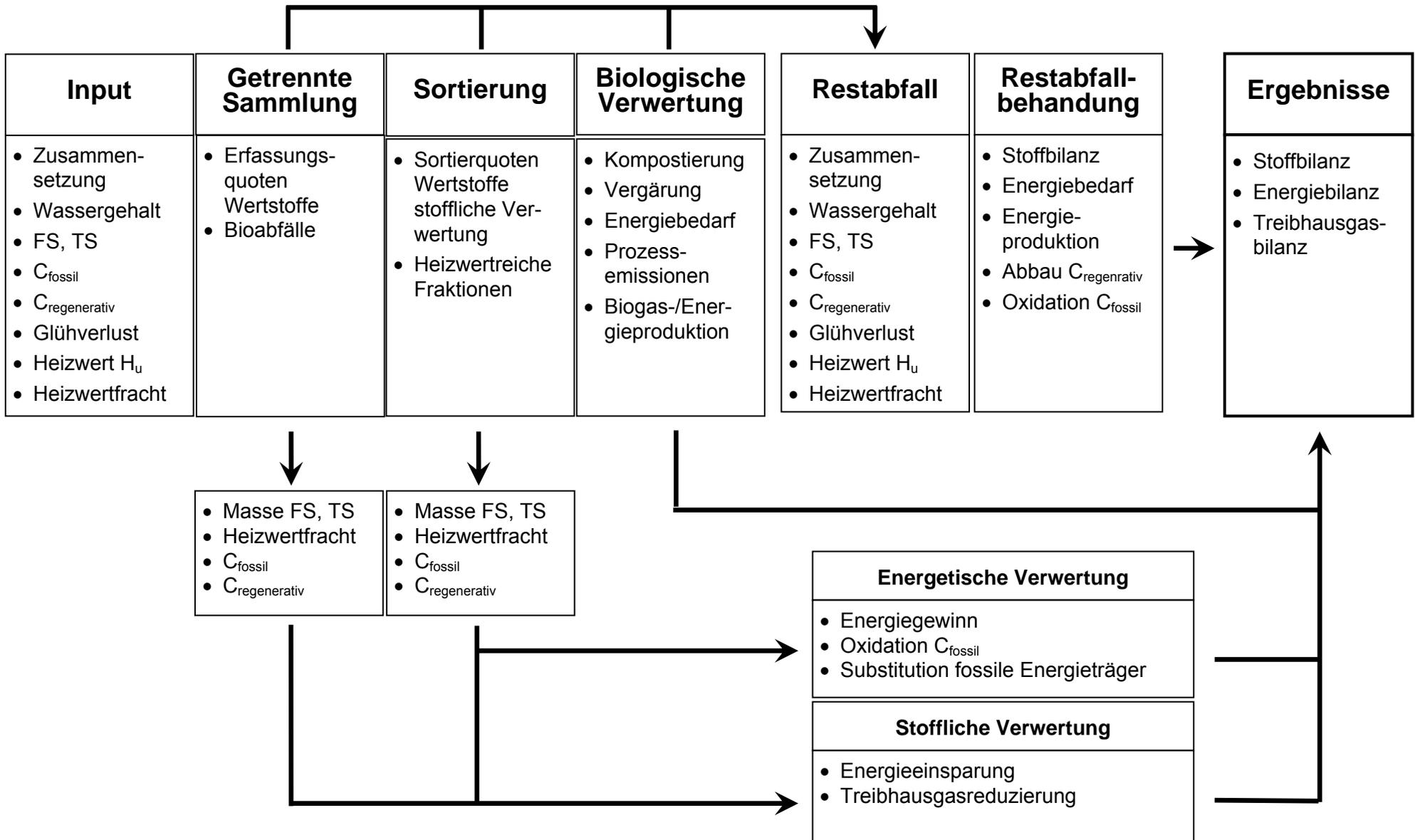
Für jede Systemkomponente im jeweiligen AWK bzw. für jeden Behandlungsschritt werden im Tool die Stoffflüsse, Heizwert- und Kohlenstofffrachten in von links nach rechts aufgebauten Tabellen bilanziert. Die Tabellen sind nach dem auf der folgenden Seite dargestellten Prinzip aufgebaut.

Die Ergebnisse sind in einer am rechten Ende angeordneten Ergebnisbox für jedes AWK zusammengefasst. Im Arbeitsblatt ‚Ergebnisparameter‘ sind für alle Abfallarten und betrachteten AWK die Ergebnisse in Form der folgenden Kennwerte zusammenfassend dargestellt:

- Stoffstrom Verwertung Menge der einer stofflichen Verwertung zugeführten Abfälle bezogen auf Gesamtmenge
- Verwertungsquote trockene Wertstoffe Menge der einer stofflichen Verwertung zugeführten Abfälle bezogen auf das Wertstoffpotential im Abfall
- Energieeinsparung/-nutzung Gesamtenergiebilanz aus Energieeinsparung durch stoffliche und energetische Nutzung der Abfälle abzüglich Eigenbedarf für Aufbereitung und Behandlung pro Mg Abfall
- Energienutzungsquote Netto-Energienutzung / -einsparung bezogen auf den Energiegehalt des Abfalls
- Stoffstrom biologische Verwertung Menge der einer biologischen Verwertung zugeführten Abfälle bezogen auf Gesamtmenge
- Verwertungsquote Organik Menge der einer biologischen Verwertung zugeführten Abfälle bezogen auf Bioabfallpotential im Abfall
- Ablagerungsquote Menge der abgelagerten Abfälle bezogen auf die Gesamtmenge
- THG-Minderung Absolute THG-Minderung in [Mg CO<sub>2</sub>äqu./Mg Abfall] bezogen auf THG-Emissionen im Status-quo
- Minderungsquote Relative THG-Minderung bezogen auf THG-Emissionen im Status-quo

Darüber hinaus enthält das Arbeitsblatt ‚Ergebnisparameter‘ automatisierte Bewertungen für die Kriterien ‚Ressourcenschonung‘ und ‚Klimaschutz‘ entsprechend der in Kap. 5.5.3 dargestellten Beurteilungsregeln.

Abbildung A2 -1: Struktur und Aufbau der Tabellen im Tool „Stofffluss-, Energie- und Klimabilanzen Abfalltypen“



## 2 BERECHNUNGSMETHODEN UND ANNAHMEN

Nachfolgend werden für die in Abbildung A2 - 1 dargestellten Blöcke die Berechnungsmethoden und getroffenen Annahmen dargestellt und begründet.

### 2.1 Input

Die Bilanzierung erfolgt fraktionsspezifisch über die jeweiligen Prozessschritte. Dazu werden

- Wassergehalt
- Kohlenstoffgehalt - fossil und regenerativ
- oberer Heizwert  $H_o$
- Glühverlust

als Eingangsvariablen festgelegt. Für die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Parameter wurden Angaben aus [IPPC 2006], [BayLfU 2003] und [Nelles et al. 1998] zugrundegelegt. Die Eingangsparameter können bei Bedarf, z.B. wenn spezifische Analysen der betrachteten Abfälle verfügbar sind, im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ verändert werden.

Für jeden Input- und Outputstrom werden die resultierenden Zusammensetzungen und die Eigenschaften berechnet. Zur Charakterisierung der Stoffströme werden jeweils angegeben:

- Organikgehalt
- Wertstoffgehalt
- Inertstoffgehalt
- Sonstiges

Der Organikgehalt kennzeichnet die biologisch verwertbaren Abfälle. Dabei wird angenommen, dass neben der Organikfraktion 50% der Mittelfraktion und 20% der Feinfraktion organisch sind und potentiell biologisch verwertet werden können. Die als organisch angenommenen Bestandteile der Fein- und Mittelfraktion können ebenfalls im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ variiert werden.

Als Wertstoffe gelten die Fraktionen Papier/Pappe/Kartonagen, Glas, Metalle, Kunststoffe, Verpackungen, Textilien und Holz.

Als Inertstoff zählen die Fraktion ‚Inertes‘ und der nicht organische Anteil der Feinfraktion.

Zur Charakterisierung der thermischen Eigenschaften werden die Parameter

- Brennbares (als Glühverlust)
- Inertes/Aschegehalt
- Wassergehalt

berechnet. Über das Brennstoffdreieck (s. S. 59) wird beurteilt, ob der jeweilige Reststoffstrom für eine thermische Behandlung geeignet ist. Ferner werden die resultierenden Heizwerte des Restabfalls nach Getrenntsammlung und/oder Sortierung berechnet.

Der für die Verbrennungseigenschaften entscheidende untere Heizwert wird nach einer Näherungsformel ermittelt [Prochaska et al. 2004]:

$$H_u = 0,92 * (1 - w) * H_o - w * 2,441 \text{ [MJ/kg]}$$

$H_u$  unterer Heizwert

$H_o$  oberer Heizwert

w Wassergehalt

0,92 Korrekturfaktor für Schwefel- und Stickstoff [Leutgöb et al. 2001]

2,441 Verdampfungsenthalpie des im Abfall enthaltenen Wassers

Ergänzend sind in der Tabelle Literaturwerte für den unteren Heizwert  $H_u$  angegeben.

## 2.2 Getrennte Sammlung, Sortierung und stoffliche Verwertung

Bei der Wahl der Erfassungs- und Sortierquoten sind die Kombinationen verschiedener Verfahren zu berücksichtigen. Tabelle A2 - 1 zeigt die möglichen Verfahrenskombinationen und gibt die AWK an, in denen diese vorkommen.

**Tabelle A2 - 1: Verfahrenskombinationen der Wertstoffrückgewinnung**

Verfahren der Wertstoffrückgewinnung	AWK
<b>Ohne Getrenntsammlung / Separierung an der Sammelstelle</b>	
Aussortierung von Wertstoffen	Ia
Aussortierung nur qualitativ hochwertiger Wertstoffe	Ic, IVa
Aussortierung qualitativ hochwertiger Wertstoffe + Aussortierung heizwertreicher Stoffe	Ib, Id,
<b>Mit Getrenntsammlung / Separierung an der Sammelstelle</b>	
Aussortierung von Wertstoffen	IIa, IIIa
Aussortierung nur qualitativ hochwertiger Wertstoffe	IIc, IIId, IVb; IVc, IVd
Aussortierung qualitativ hochwertiger Wertstoffe + Aussortierung heizwertreicher Stoffe	IIb, IIId, IIIb, IIIc

### 2.2.1 Getrennte Sammlung

Erfahrungen und systematische Auswertungen der Erfassungsquoten der getrennten Sammlung für trockene Wertstoffe aus EL liegen nicht vor. Es wurden daher Annahmen getroffen, die sich zwischen 30% (für Textilien und Verpackungsverbunde) und 60% (für PPK und Metalle) bewegen. Sie berücksichtigen sowohl die Erfassbarkeit der Stoffe als auch die Verwertungsmöglichkeiten. Für Metalle und PPK bestehen etablierte Verwertungswege, für Glas und Textilien sind diese eingeschränkt. Kunststoffe und Verpackungen sind nur z.T. stofflich verwertbar.

Die Erfassungsquoten für Bioabfälle wurden mit 50% für die Organik, 10% des Fein- und 25% des Mittelmülls angenommen. Tabelle A2 - 2 gibt die angenommenen Werte zu Erfassungs- und Sortierquoten wieder.

### 2.2.2 Sortierung

Die Wahl der Sortierquoten erfolgte im Hinblick auf die Sortierbarkeit der Stoffe und die Verwertungsmöglichkeiten. Sie wurden ohne Getrenntsammlung von Wertstoffen mit 30 - 70% gewählt. Lediglich für Fe-Metalle wurde aufgrund der großen Effizienz der Ausbringung durch Überbandmagneten eine hohe Quote von 90% angenommen.

Bei vorgelagerter Getrenntsammlung wurden Sortierquoten von 10 - 30% zugrundegelegt. Die Summe der Quoten aus getrennter Sammlung und Aussortierung liegt für alle Stoffe unter Berücksichtigung der Verwertungsmöglichkeiten bei 40 - 80%. Nur bei Fe-Metallen wurde eine sehr hohe Rückgewinnungsquote von bis zu 90% angenommen aufgrund der einfachen Separierbarkeit durch Überbandmagnete.

Die Sortierung qualitativ hochwertiger Wertstoffe bedeutet, dass nur die nicht oder kaum durch Vermischung mit organischen Abfällen verunreinigten Wertstoffe für eine stoffliche Verwertung separiert werden. Dies ist für PPK, Kunststoffe, Verpackungen und Textilien bedeutsam. Diese Strategie kommt bei solchen AWK in Frage, wo geringwertigere Stoffe einer energetischen Verwertung durch Separierung heizwertreicher Stoffe oder EBS-Erzeugung zugeführt werden, ferner bei der thermischen Verwertung. In diesem Fall wurden die Sortierquoten deutlich abgemindert.

Bei der Aussortierung heizwertreicher Fraktionen wurden dagegen höhere Sortierquoten unterstellt, da hierbei die Verunreinigung keine besondere Bedeutung hat.

Insgesamt wurden die Quoten nach Plausibilitätsüberlegungen festgelegt. Sie können im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ variiert werden, so dass die Auswirkungen auf die Stofffluss-, Energie- und THG-Bilanzierung auf einfache Weise ermittelbar sind.

Die mechanische Separierung von Bioabfällen aus gemischten Abfällen wurde nicht betrachtet, da die daraus erzeugten Produkte i.d.R. nicht über eine ausreichende Qualität für eine biologische Verwertung verfügen.

Tabelle A2 - 2 zeigt die für die Bilanzierung angenommenen Erfassungs- und Sortierquoten.

**Tabelle A2 - 2: Angenommene Erfassungs- und Sortierquoten**

Fraktion	ohne Getrennsammlung			mit Getrennsammlung Wertstoffe			
	Aussortierung Wertstoffe	Aussortierung hoher Qualitäten	Aussortierung heizwertreicher Stoffe	Getrennsammlung Wertstoffe	Aussortierung Wertstoffe	Aussortierung hoher Qualitäten	Aussortierung heizwertreicher Stoffe
<b>AWK</b>	la	lb, lc, ld, IVa	lb, ld	IIa, IIb, IIc, IIId, IIIa, IIIb, IIIc, IIIId	IIa, IIIa	IIb, IIId, IIIb, IIIc, IVa, IVb, IVc, IVd	IIb, IIId, IIIb, IIIc
Feinfraktion				10%*			
Mittelfraktion				25%*			
Organik				50%			
PPK	70%	20%	60%	60%	20%	0%	30%
Glas	30%	30%		50%	10%	10%	
FE-Metalle	90%	90%		60%	30%	30%	
NE-Metalle	60%	60%		60%	20%	20%	
Kunststoffe	60%	30%	50%	40%	20%	10%	40%
Verpackungen	40%	20%	60%	30%	20%	10%	50%
Textilien	40%	10%	80%	30%	20%	10%	50%
Holz			80%				80%
Leder, Gummi			80%				80%
Verbunde							30%

\* 50% des angenommenen Organikanteils, der zusammen mit dem Bioabfall erfasst wird

### 2.2.3 Energie- und THG-Bilanzierung bei der stofflichen Verwertung

Für die Energie- und THG-Bilanzierung bei der stofflichen Verwertung werden die in Tabelle A2 - 3 dargestellten Werte verwendet. Die Werte für die Energieeinsparung durch Substitution von Primärrohstoffen werden in Anlehnung an Fricke et al. [2009] angenommen.

Für die durch stoffliche Verwertung bewirkten THG-Einsparungen werden Durchschnittswerte auf der Grundlage der in Anlage 1/Tabelle A1 – A6 dargestellten Angaben verwendet. Sie orientieren sich überwiegend an Werten von Prognos et al [2008] sowie Dehoust et al. [2010], die in einer Europa-weiten Erhebung ermittelt wurden. Die in EL erzielbaren THG-Minderungen durch Recycling dürften aufgrund der meist weniger energieeffizienten Produktionsverfahren höher sein, was aber mangels belastbarer Daten nicht zum Ansatz gebracht wird.

**Tabelle A2 - 3: THG-Minderung und Energieeinsparung durch Recycling**

Fraktion	THG-Minderung [kg CO <sub>2</sub> / t Material]	Energieeinsparung [MJ/kg Material]
Organik (Küche+Garten)	15	-
PPK	800	25
Glas	250	10
FE-Metalle	1000	10
NE-Metalle	10000	100
Kunststoffe	1000	40
Verbundverpackungen	900	25
Textilien	2800	10
Holz	900	25

Für die Materialbilanz wird angenommen, dass die verwerteten Fraktionen den Bilanzraum verlassen. Reste aus der Aufbereitung der separierten Sekundärrohstoffe werden nicht berücksichtigt. Diese sind in den angenommenen Erfassungs- und Sortierquoten bereits enthalten.

### 2.3 Energetische Verwertung / Substitution von fossilen Energieträgern

Für die Ermittlung der THG-Reduktion durch Substitution von fossilen Energieträgern wurde angenommen, dass durch heizwertreiche Fraktionen und EBS-Material Braunkohle substituiert wird. Die spezifischen THG-Emissionen von Kohle betragen – je nach Herkunft und Aufbereitung – einschließlich der Vorketten, d.h. der bei der Gewinnung, Verarbeitung und dem Transport der Kohle entstehenden Emissionen, 124 – 128 g CO<sub>2</sub>/MJ [ProBas 2012]. Insgesamt kann somit die THG-Einsparung durch Substitution von Steinkohle mit 124 gCO<sub>2</sub>/MJ angenommen werden.

Für Biogas wurde angenommen, dass dieses zur Stromerzeugung genutzt wird. Der Wirkungsgrad wurde mit 38% bezogen auf das Energiepotential des Biogases angesetzt. Der Strom-Eigenbedarf der Biogasanlage wurde mit 20% des erzeugten Stroms angenommen. Der Netzfaktor wurde mit 200 g CO<sub>2</sub>/MJ entsprechend 720 g CO<sub>2</sub>/kWh angesetzt. Alle Parameter können im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ variiert werden.

Für die bei Biogasanlagen anfallende Wärme wurde angenommen, dass diese für die Deckung des Eigenbedarfs eingesetzt wird und für die überschüssige Wärme aufgrund der vergleichsweise geringen Mengen eine kommerzielle Nutzung nicht möglich ist.

Für die TAB / EBS-HKW wurde angenommen, dass diese Anlagen so geplant werden, dass ein möglichst hoher Anteil der erzeugten Energie genutzt werden kann. Der Netto-Energienutzungsgrad wurde mit 60% bezogen auf die im Abfall enthaltene Energie angenommen. Für die Nutzung des erzeugten Dampfes wurde angenommen, dass dadurch Heizöl-basierte Energieträger substituiert werden. Diese haben unter den fossilen Energieträgern Erdgas, Heizöl und Kohle einen mittleren Emissionsfaktor, der – ebenfalls unter Berücksichtigung der Vorketten - mit 84 g CO<sub>2</sub>/MJ angesetzt wurde.

Würde nur Strom erzeugt und keine Wärme genutzt, entspricht dieser Wert bei einem angenommenen Netto-Wirkungsgrad der Stromerzeugung von 20% bezogen auf die im Abfall enthaltene Energie einem Netzfaktor von rd. 250 g CO<sub>2</sub>/MJ entsprechend rd. 900 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Die verwendeten Emissionsfaktoren können im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ variiert werden.

Wegen des dominierenden Einflusses lokaler Rahmenbedingungen können allgemeine Aussagen über die Klimaschutzwirkungen abfallwirtschaftlicher Verfahren zur energetischen Verwertung nicht sinnvoll angegeben werden.

## 2.4 Biologische Verwertung

Als Verfahren zur Verwertung von getrennt gesammelten Bioabfällen wurden einerseits die Mietenkompostierung mit Saug-/Druckbelüftung und semipermeabler Membrane als Einfachverfahren, andererseits die Vergärung als hochwertiges Verfahren betrachtet. Die Intensivrotte wurde nicht einbezogen, da der Energiebedarf und die damit verbundenen THG-Emissionen in gleichen Größenordnungen wie bei der Vergärung liegen, jedoch keinen Nutzenbeitrag durch die Erzeugung von Biogas liefern.

Hinsichtlich der Stoffbilanz wurde unterstellt, dass die nicht verwertbaren Reststoffe in den Erfassungsquoten berücksichtigt sind. Diese Annahme erscheint angesichts der geringen Reststoffmengen bei der Bioabfallverwertung und der Detailtiefe der Berechnungen gerechtfertigt.

Bei der Vergärung wurde angenommen, dass die festen Gärreste aerob nachbehandelt werden und ebenso wie überschüssiges Prozesswasser als Dünger resp. Bodenverbesserungsmittel verwertet werden.

Für die Biogaserzeugung wird ein rechnerischer Wert unter Zugrundelegung von Werten für den Abbau des organischen Kohlenstoffs ermittelt. Die fraktionsspezifischen Abbauwerte wurden mit 40% des  $C_{org}$  so gewählt, dass die Biogasproduktion mit in der Praxis ermittelten Werten übereinstimmt. Damit ergibt sich – je nach Wassergehalt der organischen Fraktion - eine rechnerische spezifische Biogasproduktion von 110 (65% WG) - 125 (bei 60% WG)  $m^3/Mg$  Bioabfall Frischsubstanz [vgl. Kern et al. 2010].

Der Eigenenergiebedarf der Kompostierung wurde mit 45 kWh/Mg Input angenommen, der der Vergärung mit 200 kWh/Mg Input. Alle Parameter können in der Arbeitsmappe ‚Eingabewerte‘ angepasst werden.

Zur Berücksichtigung der THG-Emissionen, die aus dem Energieverbrauch für den Betrieb der Kompostierungsanlagen resultieren, wurde angenommen, dass das Verhältnis von Diesel zu Strom 70% zu 30% beträgt. Bei der Vergärung wurde das Verhältnis mit 30% zu 70% angenommen.

Die  $CO_2$ -Emissionen aus der Rotte des Bioabfalls gehen konventionsgemäß nicht in die Bilanz ein, da der Prozess eine Oxidation organischen Kohlenstoffs darstellt [vgl. IPCC 2006]. Ebenfalls nicht in die Beurteilung einbezogen werden Effekte der Speicherung von abbaubarem biogenem Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Böden durch Kompostaufbringung.

Zur Berücksichtigung der THG-Wirkungen durch Lachgas und Methan werden in der Bilanzierung die jeweils oberen Werte aus Anlage 1/Tab. A1 – A8 angenommen, da davon ausgegangen wird, dass die Sorgfalt des Anlagenpersonals in EL nicht so hoch ausgeprägt ist, entsprechend 140 kg  $CO_2$ -äqu pro Mg Bioabfall bei einfachen Verfahren, 75 kg  $CO_2$ -äqu pro Mg Bioabfall bei geschlossenen Anlagen [vgl. Cuhls 2011]. Bei der Vergärung werden die THG-Emissionen aus dem Prozess mit 180 kg  $CO_2$ -äqu pro Mg Bioabfall angesetzt.

Alle genannten Parameter können im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ variiert werden. Tabelle A2 - 4 zeigt die in der Bilanzierung verwendeten Rechenwerte.

**Tabelle A2 - 4: Verwendete Parameter bei der Bioabfallverwertung**

Verfahren		Mietenkompostierung	Intensivrotte	Vergärung
Abbaugrad $C_{reg}$	[%]	35%	40%	35%
Energiebedarf	[kWh / Mg]	45	100	180
Emissionen $NO_2, CH_4$	[kg $CO_2$ -äqu./ Mg Bioabfall]	140	75	180

## 2.5 Restabfallbehandlung

Bei den Verfahren der mechanisch-biologischen Behandlung gelten die für die Kompostierung und Vergärung genannten Aussagen analog. Der Eigenenergiebedarf für eine einfache MBA wurde mit 60 kWh/Mg Input angenommen, für MBA mit Intensivrotte und mit anaerober biologischer Stufe mit 200 kWh/Mg Input. Die Parameter können in der Arbeitsmappe ‚Eingabewerte‘ angepasst werden. Für die MPS / MBS wurde ein Eigenenergiebedarf von 450 kWh/Mg Input zugrundegelegt.

Die Emissionen an Lachgas sind zwar bei der MBA tendenziell geringer als bei der Verwertung von Bioabfällen, da der überwiegende Teil dieser Emissionen durch die Aufbringung der Verwertungsprodukte verursacht wird. Ammoniak / Ammonium- und v.a. die Methanemissionen bei der anaeroben Behandlung sind jedoch überwiegend prozessbedingt. Daher werden zur Berücksichtigung dieser Einflüsse die gleichen Emissionsfaktoren wie bei der biologischen Verwertung angenommen.

Bei der MBS/MPS sind die Ammoniak-/Ammonium- und Methanemissionen aufgrund des raschen Abklingens der biologischen Aktivitäten und der Behandlung in geschlossenen Systemen geringer. Sie werden mit 25 kg CO<sub>2</sub>-äqu pro Mg Input angesetzt.

Bei der thermischen Behandlung resp. energetischen Verwertung von Abfällen in EBS werden die Gutschriften aus der Substitution von fossilen Energieträgern mit den Emissionen aus der Verbrennung des im Abfall enthaltenen fossilen Kohlenstoffs verrechnet.

Hinsichtlich des Eigenenergiebedarfs wird unterstellt, dass dieser bereits im unterstellten Energienutzungsgrad von 60% berücksichtigt ist. Für die aus dem Energieverbrauch resultierenden THG-Emissionen wurden ebenfalls wie bei den anderen Verfahren zur energetischen Verwertung die spezifischen Emissionsfaktoren von Heizöl / Diesel zugrundegelegt.

Der Abbau des Heizwertes in MBS-Anlagen wird über den von Fehringer et al. [1997] definierten sog. ‚Kohlenstofffaktor‘ ermittelt. Der Heizwert des wasserfreien Abfalls hängt i.W. vom Kohlenstoff-, Wasser- und Sauerstoffgehalt ab. Da die Wasser- und Sauerstoffgehalte der Fraktionen meist nicht bekannt sind, definieren Fehringer et al. den

$$\text{Kohlenstofffaktor} = H_{u, wf} / m_c$$

$H_{u, wf}$  unterer Heizwert des wasserfreien Materials / i.e. Trockenmasse  
 $m_c$  Masse an Kohlenstoff im Material

Dieser drückt aus, dass der Heizwert sich proportional zum Kohlenstoffabbau reduziert.

**Tabelle A2 - 5: Verwendete Parameter bei der mechanisch-biologischen Behandlung**

	<b>Abbau- barkeit</b>	<b>MBA einfach</b>	<b>MBA Intensivrotte</b>	<b>MBA Vergärung</b>	<b>MPS / MBS</b>
<b>Abbaugrade C<sub>reg</sub></b>					
Feinfraktion	mittel	30%	35%	30%	5%
Mittelfraktion	mittel	30%	35%	30%	5%
Organik	gut	35%	40%	35%	10%
Windeln	mittel	30%	35%	30%	5%
PPK	mittel	30%	35%	30%	5%
Verbundverpackungen	mittel	30%	35%	30%	5%
Textilien	gering	0%	0%	0%	0%
Holz	gering	0%	0%	0%	0%
Leder, Gummi, Kork	gering	0%	0%	0%	0%
Verbunde, Sonstiges	gering	0%	0%	0%	0%
Energiebedarf	[kWh / Mg]	60	200	200	450
Emissionen NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	[kg CO <sub>2</sub> -äqu./ Mg Abfall]	60	30	125	25

## 2.6 Baseline

Für die Ermittlung der THG-Minderung müssen die Emissionen des betrachteten AWK auf eine Baseline bezogen werden. Hierfür wird ein Status-quo angenommen, bei dem die Abfälle je zur Hälfte auf ungeordneten Deponien und wilden Müllkippen abgelagert werden. Der Abbau erfolgt somit unter semi-aeroben bis anaeroben Bedingungen. Gemäß IPCC [2006] gilt für ungeordnete Abfallablagerungen ein Methan-Korrekturfaktor<sup>227</sup> von 0,5 für semi-aerobe und 0,8 für ungeordnete Deponien. Damit ergibt sich im angenommenen Mix ein Methankorrekturfaktor von 0,65 im Status-quo, der den Berechnungen zugrundegelegt wird. Dieser Wert kann im Arbeitsblatt ‚Eingabewerte‘ variiert werden.

Im Tool wird für jeden Abfalltyp zunächst die Gasbildungsrate unter Zugrundelegung eines Abbaugrades für Gesamt-C<sub>org</sub> berechnet. Dabei werden die Parameter

- Abbaugrad C<sub>org</sub>: von 40 bis 80%
- Verhältnis CO<sub>2</sub> / CH<sub>4</sub> von 45% / 55% über 50% / 50% bis 55% / 45%

variiert, um Orientierung für die Annahmen in der Baseline zu erzielen. In Zeile 39 sind die resultierenden CO<sub>2</sub>-äq. angegeben. Sie zeigen die mögliche Streubreite der Baseline-Emissionen in Abhängigkeit der Annahmen.

Für die hier vorgenommene fraktionsspezifische Bilanzierung mussten Annahmen zum Abbau von C<sub>org</sub> für die einzelnen Fraktionen getroffen werden. Limitierender Faktor für den Abbau des Kohlenstoffs ist die Verfügbarkeit von Wasser. Daher werden in ariden Klimazonen geringere Abbaugrade angenommen als in humiden. Tabelle A2 - 6 gibt die angenommenen Werte wieder. Sie bezeichnen den Grad des Abbaus des in den jeweiligen Fraktionen enthaltenen organischen Kohlenstoffs im Deponiekörper.

**Tabelle A2 - 6: Fraktionsspezifische Abbaugrade für organischen Kohlenstoff in einer geordneten Deponie**

Fraktion	Humide Klimazonen	Aride Klimazonen
Feinfraktion	60%	50%
Mittelfraktion	60%	50%
Organik (Küche+Garten)	65%	60%
Windeln	50%	40%
PPK	50%	40%
Verbundverpackungen	40%	30%
Textilien	10%	5%
Holz	5%	5%
Leder, Gummi, Kork	0%	0%
Verbunde, Sonstiges	0%	0%

Die Abbaugrade wurden mit Blick auf die Empfehlungswerte von UNFCCC und IPCC zurückhaltend angesetzt, um die THG-Minderungswirkungen nicht ‚schön zu rechnen‘. Sie wurden so gewählt und nach Plausibilität variiert, dass im Gesamtergebnis etwa die Empfehlungswerte von IPCC für den Gesamtabbau des C<sub>org</sub> erreicht werden. Für humide Klimazonen wurde ein Korridor für den Abbaugrad Gesamt-C<sub>org</sub> im Bereich von etwa 50 - 60%, in ariden Gebieten im Bereich von etwa 40 - 50% angestrebt. Dies kann jedoch nur erreicht werden, wenn die angenommenen Abbaugrade für die organische Fraktion auf 60% in humiden und auf 50% in ariden Klimazonen begrenzt wird, was nicht mit den Befunden von Ehrig / Brinkmann [1998] in Übereinstimmung zu bringen ist. Daher wurden die Abbaugrade mit 65% resp. 60% angesetzt.

227 Faktor zur Berücksichtigung, dass ein Teil der Abfälle unter aeroben Bedingungen abgebaut wird

IPCC [2006] weist auf die hohen Unsicherheiten bzgl. des Abbaugrades hin, da hierzu kaum Untersuchungen vorliegen, betont aber zugleich, dass die Abbildung von realen Milieubedingungen im Deponiekörper schwierig sei. Es besteht somit erheblicher Forschungsbedarf, um die THG-Wirkungen unterschiedlicher abfallwirtschaftlicher Verfahren und Strategien besser abschätzen zu können.

Für jede Abfallart wird der sich ergebende Gesamtabbaugrad errechnet. Tabelle A2 - 7 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen.

**Tabelle A2 - 7: Errechnete Gesamtabbaugrade für organischen Kohlenstoff in einer geordneten Deponie**

Abfalltyp	Humide Klimazonen				Aride Klimazonen			
	A1	A3	B1	C1	A2	A4	B2	C2
Errechneter Abbaugrad C <sub>org</sub>	58%	54%	54%	50%	52%	48%	48%	43%

## **Anlage 3**

Steckbriefe der betrachteten AWK und Beurteilungsergebnisse

## Inhaltsübersicht

	Seite
<b>Steckbriefe der AWK</b>	
AWK I a	1
AWK I b	3
AWK I c	5
AWK I d	7
AWK II a	9
AWK II b	11
AWK II c	13
AWK II d	15
AWK III a	17
AWK III b	19
AWK III c	21
AWK III d	23
AWK IV a	25
AWK VI b	27
AWK IV c	29
AWK IV d	31
<b>Bewertungsübersicht</b>	
Abfalltyp A1	33
Abfalltyp A2	33
Abfalltyp A3	33
Abfalltyp A4	34
Abfalltyp B1	34
Abfalltyp B2	34
Abfalltyp C1	35
Abfalltyp C2	35

<b>AWK Ia</b>		<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aussortierung trockener Wertstoffe (Papier, Pappe, Glas, FE-NE-Metalle, Kunststoffe, Textilien) durch manuelle Sortierung</li> </ul>							
Verwertung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Stoffliche Verwertung trockener Wertstoffe</li> </ul>							
Behandlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanisch-biologisch, aerob, einfache Verfahrenstechnik</li> </ul>							
Ablagerung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Ressourcenschonung</b>									
Produktionsrohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind hoch, die Materialqualitäten eingeschränkt.</li> <li>Nur mittlere Beiträge für Abfalltypen A aufgrund geringer Wertstoffgehalte in den Abfällen</li> </ul>							
Energierohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum		<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe		+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe		o	o	o	o	+	+	++	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>		o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>		+	o	o	o	+	o	+	o
Schonung Naturraum		o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Beurteilung gesamt</b>		<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>
<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>									
Treibhausgas-Minderungseffekte		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mittlere bis hohe Beiträge bei Abfalltypen Gruppen B und C Bei Abfalltypen Gruppe A bedingt durch Abfallzusammensetzung und geringer Baseline-Emissionen nur geringe Beiträge</li> <li>Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>Beiträge durch Recycling etwa 15 – 20%</li> <li>Beiträge durch energetische Verwertung: Keine Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>		<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>

<b>Sozialverträglichkeit</b>		<b>Beurteilung: ++</b>
Beschäftigungswirkung unmittelbar	Gesamt: 12 – 18 Personen / 1.000 jato Durchsatz	
langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung 7 – 11 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 4 – 6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>	
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>	
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>		<b>Beurteilung: +++</b>
<p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind vergleichsweise gering, das Technologieniveau niedrig.</p> <p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind vergleichsweise gering. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden. Es bedarf keiner spezialisierten Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt gering und können i.d.R. mit verfügbarem Personal abgedeckt werden.</p>		
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>		<b>Beurteilung: +++</b>
<p>Die Sortierung lässt sich flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden. Die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind sehr flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar.</p> <p>Die Kapitalbindung ist gering.</p>		

<b>AWK I b</b>		<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger trockener Wertstoffe</li> <li>Aussortierung heizwertreicher Fraktionen (Papier, Pappe, Kunststoffe, Verbunde, Textilien, Holz)</li> </ul>							
Verwertung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Stoffliche Verwertung</li> <li>Aufbereitung zu Sekundärbrennstoff, energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> </ul>							
Behandlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanisch-biologisch, aerob, einfache Verfahrenstechnik</li> </ul>							
Ablagerung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Ressourcenschonung</b>									
Produktionsrohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> <li>Geringe Beiträge für Abfalltypen A aufgrund geringer Wertstoffgehalte in den Abfällen</li> </ul>							
Energierohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen - Beitrag etwa 40 – 50% der gesamten Energieeinsparungen</li> </ul>							
Naturraum		<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe bis mittlere Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe		o	o	o	o	+	+	+	+
Energierohstoffe		o	o	o	o	+	++	++	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>		o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>		+	o	o	o	+	+	+	+
Schonung Naturraum		o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Beurteilung gesamt</b>		<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>									
Treibhausgas-Minderungseffekte		<ul style="list-style-type: none"> <li>Je nach Abfallzusammensetzung mittlere bis sehr hohe Beiträge, bei Abfalltyp A3 aufgrund geringer Baseline-Emissionen nur geringe Beiträge</li> <li>Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>Beiträge durch Recycling etwa 10 – 15%</li> <li>Beiträge durch energetische Verwertung 10 – 20%</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>		<b>+</b>	<b>+</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>

<b>Sozialverträglichkeit</b>		<b>Beurteilung: +</b>
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 10 – 16 Personen / 1.000 tato Durchsatz	
langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung 7 – 11 Personen / 1.000 tato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 tato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,7 – 1 Personen / 1.000 tato Durchsatz</li> </ul>	
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>	
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>		<b>Beurteilung: +++</b>
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind vergleichsweise gering, das Technologieniveau niedrig. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden. Es bedarf keiner spezialisierten Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind vergleichsweise gering. Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung der Wert- und Ersatzbrennstoffe stellt erhöhte Anforderungen an die Organisation und das Management von Verwertungsbetrieben.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt gering und können i.d.R. mit verfügbarem Personal abgedeckt werden.</p> <p>Die Sortierung lässt sich flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden.</p>		
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>		<b>Beurteilung: +++</b>
<p>Die Anlagenkonfiguration kann flexibel an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst werden, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind sehr flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar.</p> <p>Die Kapitalbindung ist gering.</p>		

AWK Ic		Systemkomponenten							
Sammlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger und nicht brennbarer Wertstoffe</li> </ul>							
Verwertung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Stoffliche Verwertung von Wertstoffen</li> <li>Energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> </ul>							
Behandlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufbereitung zu Ersatzbrennstoffen in MPS / MBS-Anlage</li> </ul>							
Ablagerung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Geordnete Deponie</li> </ul>							
Beitrag zur Ressourcenschonung									
Produktionsrohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> <li>Geringe Beiträge für Abfalltypen A aufgrund geringer Wertstoffgehalte in den Abfällen</li> </ul>							
Energierohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mittlerer bis sehr hoher Beitrag durch direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum		<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe bis sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens, bei Abfalltyp A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung nur geringe Wirkungen</li> <li>Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
Abfalltyp		A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2
Produktionsrohstoffe		o	o	o	o	+	+	+	+
Energierohstoffe		+	+	+	+	++	++	++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>		o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>		+++	++	++	+	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		+	+	+	o	+	+	+	+
<b>Beurteilung gesamt</b>		<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>
Beitrag zum Klimaschutz									
Treibhausgas-Minderungseffekte		<ul style="list-style-type: none"> <li>Überwiegend sehr hohe Beiträge, bei Abfalltypen A3 und A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung nur mittlere Beiträge</li> <li>Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>Beiträge durch energetische Verwertung: 10 – 20%</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
Abfalltyp		A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2
<b>Beurteilung</b>		<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>

<b>Sozialverträglichkeit</b>		<b>Beurteilung: +</b>
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 9 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung 7 – 11 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 1 – 2 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>	
langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>	
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>		<b>Beurteilung: +</b>
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung der Wertstoffe stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management von Verwertungsbetrieben. Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind vergleichsweise gering.</p> <p>Das Technologieniveau ist hoch. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind hoch. Es bedarf spezialisierter Servicekräfte oder -firmen.</p>		
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>		<b>Beurteilung: o</b>
<p>Die Anlagenkonfiguration kann nur bedingt an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst werden, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Besondere Risiken bestehen im möglichen Wegfall der Abnehmer der Sekundärbrennstoffe.</p> <p>Die Sortierung ist flexibel hinsichtlich veränderlicher Abfallzusammensetzungen.</p> <p>Die Sortierung lässt sich flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist hoch.</p>		

<b>AWK Id</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsammlung vermischter Abfälle</li> <li>Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger Wertstoffe</li> <li>Aussortierung heizwertreicher Fraktionen (Papier, Pappe, Kunststoffe, Verbunde, Textilien, Holz)</li> <li>Stoffliche Verwertung</li> <li>Aufbereitung zu Sekundärbrennstoff, energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> <li>Erzeugung von Biogas / Strom- und/oder Wärmeerzeugung</li> <li>Mechanisch-biologisch mit anaerober Behandlung der organischen Abfälle</li> <li>Geordnete Deponie</li> </ul>							
Sortierung								
Verwertung								
Behandlung								
Ablagerung								
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> <li>Geringe Beiträge für Abfalltypen der Gruppe A aufgrund geringer Wertstoffgehalte in den Abfällen</li> <li>Hohe Beiträge durch Substitution von Energierohstoffen bei Abfalltypen der Gruppen B und C; bei Abfalltypen der Gruppe A mittlere Beiträge aufgrund der Abfallzusammensetzung</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen - Beitrag etwa 40 – 50% der gesamten Energieeinsparungen</li> <li>Geringe bis mittlere Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
Energierohstoffe								
Naturraum								
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	o	o	o	o	+	+	+	+
Energierohstoffe	+	+	+	+	++	++	++	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>	+	o	o	o	+	o	+	+
Schonung Naturraum	o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge bei Abfalltypen der Gruppen B und C, in Gruppe A bedingt durch Abfallzusammensetzung und geringer Baseline-Emissionen geringe bis mittlere Beiträge</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung 15 – 20%</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 9 – 16 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung 7 – 11 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,3 – 0,5 Person / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>							
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind hoch.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind vergleichsweise gering. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung der Wertstoffe und Sekundärbrennstoffe stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management der Anlagen.</p> <p>Das Technologieniveau ist hoch. Bei Bedarf sind spezielle Betriebs- und Hilfsmittel für die Einstellung des Gärreaktors erforderlich. Es muss ein sorgfältiges Monitoring der Betriebsparameter der Vergärung gewährleistet werden. Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind hoch. Es bedarf qualifizierten Personals und spezialisierter Servicekräfte und -firmen.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
<p>Die Anlagenkonfiguration kann gut an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst werden, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Die Sortierung lässt sich flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden.</p> <p>Die spezifischen Investitionskosten und die Kapitalbindung sind hoch.</p>								

<b>AWK II a</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aussortierung trockener Wertstoffe (Papier, Pappe, Glas, Fe-NE-Metalle, Kunststoffe, Textilien) durch manuelle Sortierung</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung trockener Wertstoffe</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanisch-biologisch, aerob, einfache Verfahrenstechnik</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind abhängig von den Wertstoffanteilen mittel bis sehr hoch. Die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung sind gut, aus der Sortierung eingeschränkt.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe bis mittlere Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>• Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	o	o	o	o	+	+	++	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>	+	o	o	o	+	+	+	+
Schonung Naturraum	o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>
<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je nach Abfallzusammensetzung und Baseline-Emissionen gering bis hohe</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 15 – 20%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung: Keine Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>

<b>Sozialverträglichkeit</b>		<b>Beurteilung: ++</b>
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 12 – 18 Personen / 1.000 jato Durchsatz	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe 8 – 12 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 4 – 6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>	
langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>	
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>		<b>Beurteilung: ++</b>
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind hoch. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen und Kompost stellt hohe Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau ist niedrig. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden. Es bedarf keiner spezialisierten Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt gering und können i.d.R. mit verfügbarem Personal abgedeckt werden.</p>		
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>		<b>Beurteilung: +++</b>
<p>Das Abfallwirtschaftskonzept und die Anlagenkonfiguration können flexibel an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Getrennte Sammlung, Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angehoben werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist gering.</p>		

<b>AWK II b</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger trockener Wertstoffe</li> <li>• Aussortierung heizwertreicher Fraktionen (Papier, Pappe, Kunststoffe, Verbunde, Textilien, Holz)</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung</li> <li>• Aufbereitung zu Sekundärbrennstoff, energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanisch-biologisch, aerob, einfache Verfahrenstechnik</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Abfallzusammensetzung mittel bis sehr hoch, die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung und der Sortierung hoch.</li> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Energienutzungsquoten sind mittel bis hoch</li> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen - Beitrag etwa 70 – 75% der gesamten Energieeinsparungen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe bis mittlere Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>• Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	+	+	+	+	++	++	++	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>	+	+	o	o	+	+	+	+
Schonung Naturraum	o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je nach Abfallzusammensetzung mittlere bis sehr hohe Beiträge</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 10%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung ca. 10%</li> </ul> Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>o</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 11 – 17 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe 8 – 12 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel, das Technologieniveau niedrig.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind mittel. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden. Es bedarf keiner spezialisierten Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt gering und können i.d.R. mit verfügbarem Personal abgedeckt werden.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
<p>Das Abfallwirtschaftskonzept und die Anlagenkonfiguration können flexibel an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Getrennte Sammlung, Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angehoben werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist gering.</p>								

<b>AWK II c</b>		<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>								
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger und nicht brennbarer Wertstoffe</li> </ul>								
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung von Wertstoffen</li> <li>• Energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> </ul>								
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbereitung zu Ersatzbrennstoffen in MPS / MBS-Anlage</li> </ul>								
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>								
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>									
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind je nach Wertstoffgehalt mittel bis sehr hoch trotz der Beschränkung auf hohe Qualitäten.</li> </ul>								
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlerer bis sehr hoher Beitrag durch direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärsrohstoffen</li> </ul>								
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>• Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>								
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++	
Energierohstoffe	+	++	+	+	++	++	+++	+++	
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	o	o	o	o	o	o	o	o	
<i>Deponiequote</i>	+++	++	++	+	+++	+++	+++	+++	
Schonung Naturraum	+	+	+	o	+	+	+	+	
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	
<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>									
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwiegend sehr hohe Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung; lediglich mittlere Beiträge für Abfalltypen A3 und A4 aufgrund Abfalleigenschaften</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 10 – 15%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung: 5 – 10% bei Abfalltypen A, 10 – 20% bei Typen B und C</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>								
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	
<b>Beurteilung</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	

<b>Sozialverträglichkeit</b>		<b>Beurteilung: +</b>
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 10 – 15 Personen / 1.000 jato Durchsatz	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe 8 – 12 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 1 – 2 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>	
langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> </ul>	
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>	
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>		<b>Beurteilung: +</b>
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel.</p> <p>Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung der Wertstoffe stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management von Verwertungsbetrieben. Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind vergleichsweise gering.</p> <p>Das Technologieniveau ist hoch. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind hoch. Es bedarf spezialisierter Servicekräfte oder -firmen.</p>		
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>		<b>Beurteilung: o</b>
<p>Die Anlagenkonfiguration kann nur bedingt an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst werden, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Besondere Risiken bestehen im möglichen Wegfall der Abnehmer der Sekundärbrennstoffe.</p> <p>Die getrennte Sammlung und Sortierung sind flexibel hinsichtlich veränderlicher Abfallsammensetzungen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist mittel.</p>		

<b>AWK II d</b>		<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger Wertstoffe</li> <li>• Aussortierung heizwertreicher Fraktionen (Papier, Pappe, Kunststoffe, Verbunde, Textilien, Holz)</li> </ul>							
Verwertung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung</li> <li>• Aufbereitung zu Sekundärbrennstoff, energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> <li>• Erzeugung von Biogas / Strom- und/oder Wärmeerzeugung</li> </ul>							
Behandlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanisch-biologisch mit anaerober Behandlung der organischen Abfälle</li> </ul>							
Ablagerung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>									
Produktionsrohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind je nach Wertstoffgehalt mittel bis sehr hoch trotz der Beschränkung auf hohe Qualitäten.</li> </ul>							
Energierohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge durch Substitution von Energierohstoffen; bei Abfalltypen der Gruppe A nur mittlere Beiträge aufgrund der Abfallzusammensetzung</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Primärrohstoffen - Beitrag etwa 40 – 60% der gesamten Energieeinsparungen</li> </ul>							
Naturraum		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe bis mittlere Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens</li> <li>• Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe		+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe		+	+	+	+	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>		o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>		+	o	o	o	+	+	+	+
Schonung Naturraum		o	o	o	o	o	o	o	o
<b>Beurteilung gesamt</b>		<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwiegend sehr hohe Beiträge, bei Abfalltypen der Gruppe A bedingt durch Abfallzusammensetzung nur mittlere Beiträge</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung 15 – 25%</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 9 – 16 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe 8 – 12 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,3 – 0,5 Person / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind hoch.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind vergleichsweise gering. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung der Wertstoffe und Sekundärbrennstoffe stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management der Anlagen.</p> <p>Das Technologieniveau ist hoch. Bei Bedarf sind spezielle Betriebs- und Hilfsmittel für die Einstellung des Gärreaktors erforderlich. Es muss ein sorgfältiges Monitoring der Betriebsparameter der Vergärung gewährleistet werden. Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind hoch. Es bedarf qualifizierten Personals und spezialisierter Servicekräfte und -firmen.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
<p>Die Anlagenkonfiguration kann gut an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst werden, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Die Sortierung lässt sich flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden.</p> <p>Die spezifischen Investitionskosten und die Kapitalbindung sind hoch.</p>								

<b>AWK III a</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Getrennte Sammlung von Bioabfällen</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aussortierung trockener Wertstoffe (Papier, Pappe, Glas, Fe-NE-Metalle, Kunststoffe, Textilien) durch manuelle Sortierung</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung trockener Wertstoffe</li> <li>• Biologische Verwertung durch Kompostierung</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanisch-biologisch, aerob, einfache Verfahrenstechnik</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Wertstoffgehalt der Abfalltypen mittel bis sehr hoch. Die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung sind gut, aus der Sortierung eingeschränkt.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe bis sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens; bei Abfalltyp A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung geringe Beiträge</li> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	+	+	o	o	+	+	++	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	+++	+++	++	++	+++	+++	++	++
<i>Deponiequote</i>	++	+	+	o	++	+	++	+
Schonung Naturraum	+++	++	++	+	+++	++	++	++
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwiegend hohe Beiträge, bei Abfalltypen A3 und A4 aufgrund Abfallzusammensetzung nur mittlere Beiträge.</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 15 – 20%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung: Keine Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar  langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<p>Gesamt: 16 – 22 Personen / 1.000 jato Durchsatz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe + Bioabfälle 10 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 4 – 6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Kompostierung Bioabfälle 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato</li> <li>• MBA ca. 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Aufbau einer Kompostwirtschaft, Erden- und Substratwerke</li> <li>• Bei der Sammlung</li> <li>• Bei der Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind hoch. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen und Kompost stellt hohe Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau niedrig. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Lediglich Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden. Es bedarf keiner spezialisierten Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt mittel und können i.d.R. mit verfügbarem Personal abgedeckt werden.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
<p>Das Abfallwirtschaftskonzept und die Anlagenkonfiguration können flexibel an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Getrennte Sammlung, Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar. Mit steigenden Anforderungen können der technologische Standard und die Behandlungskapazitäten auf relativ einfache Weise erhöht werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist mittel.</p>								

<b>AWK III b</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Getrennte Sammlung von Bioabfällen</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger trockener Wertstoffe</li> <li>• Aussortierung heizwertreicher Fraktionen (Papier, Pappe, Kunststoffe, Verbunde, Textilien, Holz)</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung</li> <li>• Biologische und energetische Verwertung organischer Abfälle durch Vergärung</li> <li>• Aufbereitung heizwertreicher Fraktionen zu Sekundärbrennstoff, energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanisch-biologisch, aerob, einfache Verfahrenstechnik</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Abfallzusammensetzung mittel bis sehr hoch, die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung und der Sortierung hoch.</li> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Energienutzungsquoten sind mittel bis sehr hoch</li> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens; bei Abfalltypen A2, A3 und A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung mittlere Beiträge</li> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Gärreste und Flüssigsubstrate</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	+++	+++	++	++	+++	+++	++	++
<i>Deponiequote</i>	++	+	+	+	++	++	++	++
Schonung Naturraum	+++	++	++	++	+++	+++	++	++
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwiegend hohe bis sehr hohe Beiträge, bei Abfalltypen A3 und A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung mittlere Beiträge</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung ca. 15 – 20% Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 13 – 19 Personen / 1.000 jato Durchsatz <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe + Bioabfälle 10 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Vergärung Bioabfälle 0,3 – 0,6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• MBA ca. 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>							
Langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Aufbau einer Kompostwirtschaft, Erden- und Substratwerke</li> </ul>							
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der getrennten Sammlung</li> <li>• Bei der Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind hoch.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind hoch. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen und Gärresten / Substraten stellt hohe Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau ist mittel bis hoch. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Es muss ein sorgfältiges Monitoring der Betriebsparameter der Vergärung gewährleistet werden. Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind hoch.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
<p>Das Abfallwirtschaftskonzept und die Anlagenkonfiguration können flexibel an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Getrennte Sammlung, Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard und die Behandlungskapazitäten auf relativ einfache Weise erhöht werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist mittel.</p>								

<b>AWK III c</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Getrennte Sammlung von Bioabfällen</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger Wertstoffe</li> <li>• Aussortierung heizwertreicher Fraktionen (Papier, Pappe, Kunststoffe, Verbunde, Textilien, Holz)</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung</li> <li>• Biologische Verwertung organischer Abfälle durch Kompostierung</li> <li>• Aufbereitung heizwertreicher Fraktionen zu Sekundärbrennstoff, energetische Verwertung in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> <li>• Erzeugung von Biogas / Strom- und/oder Wärmeerzeugung</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanisch-biologisch mit anaerober Behandlung der organischen Abfälle</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Abfallzusammensetzung mittel bis sehr hoch, die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung und der Sortierung hoch.</li> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Energienutzungsquoten sind mittel bis sehr hoch</li> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens; bei Abfalltypen A3 und A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung mittlere Beiträge</li> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Kompost</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	+++	+++	++	++	+++	+++	++	++
<i>Deponiequote</i>	++	+	+	+	++	++	++	++
Schonung Naturraum	+++	++	++	++	+++	+++	++	++
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge bei Abfalltypen der Gruppen B und C, bei Abfalltypen der Gruppe A bedingt durch Abfallzusammensetzung mittlere Beiträge</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung ca. 15 – 20%</li> </ul> Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 14 – 20 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
Langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe + Bioabfälle 10 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Kompostierung Bioabfälle 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato</li> <li>• MBA ca. 0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>							
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Aufbau einer Kompostwirtschaft, Erden- und Substratwerke</li> <li>• Bei der getrennten Sammlung</li> <li>• Bei der Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind hoch.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind hoch. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen und Kompost stellt hohe Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau ist mittel bis hoch. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Es muss ein sorgfältiges Monitoring der Betriebsparameter der Vergärung gewährleistet werden. Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt mittel bis hoch.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
<p>Das Abfallwirtschaftskonzept und die Anlagenkonfiguration können flexibel an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Getrennte Sammlung, Sortierung und die mechanische Komponente der MBA sind flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassbar. Mit steigenden Anforderungen können der technologische Standard und die Behandlungskapazitäten auf relativ einfache Weise erhöht werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist mittel.</p>								

<b>AWK III d</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Getrennte Sammlung von Bioabfällen</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger und nicht brennbarer Wertstoffe</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung von Wertstoffen</li> <li>• Energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken und industriellen Anlagen</li> <li>• Biologische und energetische Verwertung von Bioabfällen</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbereitung zu Ersatzbrennstoffen in MPS / MBS-Anlage</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Abfallzusammensetzung mittel bis sehr hoch, die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung und der Sortierung hoch.</li> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind aufgrund der Beschränkung auf hohe Qualitäten begrenzt.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Energienutzungsquoten sind mittel bis sehr hoch</li> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens; bei Abfalltyp A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung geringe / fast mittlere Beiträge</li> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Gärreste und Flüssigsubstrate</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	+	++	+	+	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	+++	+++	++	++	+++	+++	++	++
<i>Deponiequote</i>	+++	+++	++	+	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum	+++	+++	++	++	+++	+++	++	++
<b>Beurteilung gesamt</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwiegend sehr hohe Beiträge, bei Abfalltypen A3 und A4 bedingt durch Abfallzusammensetzung nur mittlere Beiträge</li> <li>• Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung ca. 20 – 25%</li> </ul> Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 12 – 18 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
Langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe + Bioabfälle 10 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 1 – 2 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Vergärung Bioabfälle 0,3 – 0,6 Personen / 1.000 jato</li> <li>• MPS / MBS ca. 0,3 – 0,5 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>							
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Aufbau einer Kompostwirtschaft, Erden- und Substratwerke</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel.</p> <p>Die Anforderungen an das Stoffstrommanagement sind hoch. Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von größeren Wertstoffmengen, Sekundärbrennstoffen und Kompost / Substraten stellt hohe Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau ist mittel bis hoch. Besondere Betriebs- und Hilfsmittel oder Reagenzien sind nicht erforderlich. Es muss ein sorgfältiges Monitoring der Betriebsparameter der Vergärung gewährleistet werden. Treibstoffe und Ersatzteile für Maschinen müssen regelmäßig beschafft werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt mittel bis hoch.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Anlagenkonfiguration kann nur bedingt an neue Anforderungen und Zielsetzungen angepasst werden, die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Besondere Risiken bestehen im möglichen Wegfall der Abnehmer der Sekundärbrennstoffe.</p> <p>Die getrennte Sammlung und Sortierung sind flexibel hinsichtlich veränderlicher Abfallzusammensetzungen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden.</p> <p>Die Kapitalbindung ist hoch.</p>								

<b>AWK IV a</b>		<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger trockener Wertstoffe</li> </ul>							
Verwertung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Stoffliche Verwertung</li> <li>Energetische Verwertung in TAB</li> </ul>							
Behandlung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Thermische Behandlung</li> </ul>							
Ablagerung		<ul style="list-style-type: none"> <li>Geordnete Deponie / Schlackendeponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>									
Produktionsrohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind gering, die Materialqualitäten der Metalle hoch</li> </ul>							
Energierohstoffe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen</li> </ul>							
Naturraum		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens, bei Abfalltyp A2 bedingt durch Abfallzusammensetzung hohe Beiträge</li> <li>Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe		n.a.	o	n.a.	n.a.	o	o	o	o
Energierohstoffe		n.a.	+	n.a.	n.a.	+	+	+	++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>		n.a.	o	n.a.	n.a.	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>		n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		n.a.	+	n.a.	n.a.	+	+	+	+
<b>Beurteilung gesamt</b>		<b>n.a.</b>	<b>+</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>									
Treibhausgas-Minderungseffekte		<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchgängig hohe Beiträge; aufgrund Verbrennung von fossilem Kohlenstoff keine sehr hohen Beiträge</li> <li>Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>Beiträge durch Recycling etwa 5 – 10%</li> <li>Beiträge durch energetische Verwertung lediglich ca. 5 – 10%</li> <li>Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>		<b>n.a.</b>	<b>++</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>

<b>Sozialverträglichkeit</b>		<b>Beurteilung: +</b>
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 9 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung 7 – 11 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 1 – 2 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• TAB ca. 0,4 – 0,6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>	
Langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>	
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>		<b>Beurteilung: +</b>
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind aufgrund des hohen Technologieniveaus der thermischen Abfallbehandlung hoch.</p> <p>Die marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von begrenzten Wertstoffmengen stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau der thermischen Abfallbehandlung ist sehr hoch. Es müssen spezielle Betriebs- und Hilfsmittel sowie Reagenzien regelmäßig beschafft werden, ferner Treibstoffe und Ersatzteile. Es bedarf spezialisierter Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt sehr hoch.</p>		
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>		<b>Beurteilung: o</b>
<p>Die Sortierung lässt sich flexibel an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen. Mit steigenden Anforderungen kann der technologische Standard angepasst werden. Die Anlagen können um weitere Komponenten ergänzt werden.</p> <p>Die thermische Behandlung lässt sich nur bedingt an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die Kapitalbindung ist sehr hoch.</p>		

<b>AWK IV b</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger und nicht brennbarer Wertstoffe</li> <li>• Maschinelle Aussortierung von Metallen bei der thermischen Behandlung</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung von Wertstoffen</li> <li>• Energetische Verwertung in TAB</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermische Behandlung</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie / Schlackendeponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Ausbringungsquoten der Sortierung sind trotz der Beschränkung auf hohe Qualitäten bei den Abfalltypen der Gruppen B und C hoch bis sehr hoch, in Gruppe A mittel.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen, Beitrag etwa 30 – 40% der gesamten Energieeinsparungen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens, bei Abfalltyp A2 bedingt durch Abfallzusammensetzung hohe Beiträge</li> <li>• Kein Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	n.a.	+	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	n.a.	+	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	n.a.	o	n.a.	n.a.	o	o	o	o
<i>Deponiequote</i>	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum	n.a.	+	n.a.	n.a.	+	+	+	+
<b>Beurteilung gesamt</b>	n.a.	++	n.a.	n.a.	++	++	++	++

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe bis sehr hohe Beiträge hauptsächlich durch Methanvermeidung</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 10 – 15%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung lediglich 5 – 10% aufgrund hohen Anteils fossilen Kohlenstoffs</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	n.a.	++	n.a.	n.a.	++	+++	++	+++
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: ++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 10 – 15 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
Langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe 8 – 12 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 1 – 2 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• TAB ca. 0,4 – 0,6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> </ul>							
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind aufgrund des hohen Technologieniveaus der thermischen Abfallbehandlung hoch.</p> <p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind mittel. Die Organisation und Steuerung der getrennten Sammlung und marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von Wertstoffen stellt mittlere Anforderungen an die Organisation und das Management.</p> <p>Das Technologieniveau der thermischen Abfallbehandlung ist sehr hoch. Es müssen spezielle Betriebs- und Hilfsmittel sowie Reagenzien regelmäßig beschafft werden, ferner Treibstoffe und Ersatzteile. Es bedarf spezialisierter Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt sehr hoch.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: o</b>			
<p>Die getrennte Sammlung lässt sich an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die thermische Behandlung lässt sich nur bedingt an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die Kapitalbindung ist sehr hoch.</p>								

<b>AWK IV c</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Getrennte Sammlung von Bioabfällen</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger und nicht brennbarer Wertstoffe</li> <li>• Maschinelle Aussortierung von Metallen bei der thermischen Behandlung</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung</li> <li>• Biologische Verwertung organischer Abfälle durch Kompostierung</li> <li>• Energetische Verwertung in TAB</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermische Behandlung</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie / Schlackendeponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Abfallzusammensetzung mittel in Gruppe A, hoch in Gruppe B und sehr hoch in Gruppe C.</li> <li>• Die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung und der Sortierung sind hoch.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen etwa 30 – 40%</li> <li>• Sehr hohe indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen, Beitrag etwa 60 – 70% der gesamten Energieeinsparungen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens, bei Abfalltyp A2 bedingt durch Abfallzusammensetzung hohe Beiträge</li> <li>• Sehr hohe Beiträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Kompost</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	n.a.	+	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	n.a.	+	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	++	++
<i>Deponiequote</i>	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	++	++
<b>Beurteilung gesamt</b>	n.a.	++	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchgängig hohe Beiträge; aufgrund Verbrennung von fossilem Kohlenstoff und der Kompostierung (statt Verbrennung) der organischen Abfälle keine sehr hohen Beiträge</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 10 – 15%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung vernachlässigbar aufgrund sehr hohen Anteils fossilen Kohlenstoffs</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	n.a.	++	n.a.	n.a.	++	++	++	++
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 14 – 20 Personen / 1.000 jato Durchsatz							
Langfristig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe + Bioabfälle 10 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Kompostierung Bioabfälle 0,7 – 1 Personen / 1.000 jato</li> <li>• TAB ca. 0,4 – 0,6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>							
Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: o</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind aufgrund des hohen Technologieniveaus der thermischen Abfallbehandlung sehr hoch.</p> <p>Die Organisation und Steuerung der getrennten Sammlung und marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von Wertstoffen und Kompost stellt hohe Anforderungen an das Management.</p> <p>Das Technologieniveau der thermischen Abfallbehandlung ist sehr hoch. Es müssen spezielle Betriebs- und Hilfsmittel sowie Reagenzien regelmäßig beschafft werden, ferner Treibstoffe und Ersatzteile. Es bedarf spezialisierter Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen können an einem Standort realisiert werden.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt sehr hoch.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die getrennte Sammlung lässt sich an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die thermische Behandlung lässt sich nur bedingt an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die Kapitalbindung ist sehr hoch.</p>								

<b>AWK IV d</b>	<b>Systemkomponenten</b>							
Sammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Sammlung trockener Wertstoffe</li> <li>• Getrennte Sammlung von Bioabfällen</li> <li>• Einsammlung vermischter Abfälle</li> </ul>							
Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Sortierung qualitativ hochwertiger und nicht brennbarer Wertstoffe</li> <li>• Maschinelle Aussortierung von Metallen bei der thermischen Behandlung</li> </ul>							
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffliche Verwertung</li> <li>• Biologische und energetische Verwertung organischer Abfälle durch Vergärung</li> <li>• Energetische Verwertung in TAB</li> </ul>							
Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermische Behandlung</li> </ul>							
Ablagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geordnete Deponie / Schlackendeponie</li> </ul>							
<b>Beitrag zur Rohstoffschonung</b>								
Produktionsrohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verwertungsquoten sind je nach Abfallzusammensetzung mittel bis hoch, die Materialqualitäten aus der getrennten Sammlung und der Sortierung hoch.</li> </ul>							
Energierohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Substitution von Energierohstoffen etwa 40 – 60%</li> <li>• Hohe indirekte Wirkungen durch Substitution von Produktionsrohstoffen, Beitrag etwa 40 – 60% der gesamten Energieeinsparungen</li> </ul>							
Naturraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Wirkungen durch Verminderung des Ablagerungsvolumens, bei Abfalltyp A2 bedingt durch Abfallzusammensetzung hohe Beiträge</li> <li>• Sehr hohe Beiträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Gärreste und Flüssigdünger</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Produktionsrohstoffe	n.a.	+	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++
Energierohstoffe	n.a.	+	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	++	++
<i>Deponiequote</i>	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum	n.a.	+++	n.a.	n.a.	+++	+++	++	++
<b>Beurteilung gesamt</b>	n.a.	++	n.a.	n.a.	++	++	+++	+++

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>								
Treibhausgas-Minderungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nahezu durchgängig hohe Beiträge; aufgrund Verbrennung von fossilem Kohlenstoff und der Vergärung (statt Verbrennung) der organischen Abfälle keine sehr hohen Beiträge;</li> <li>• Beiträge durch Recycling etwa 10 – 15%</li> <li>• Beiträge durch energetische Verwertung lediglich 5 – 10% aufgrund sehr hohen Anteils fossilen Kohlenstoffs</li> <li>• Indirekte Wirkungen durch Energieeinsparung beim Recycling</li> </ul>							
<b>Abfalltyp</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Beurteilung</b>	n.a.	++	n.a.	n.a.	++	+++	++	++
<b>Sozialverträglichkeit</b>					<b>Beurteilung: +++</b>			
Beschäftigungswirkung Unmittelbar	Gesamt: 14 – 20 Personen / 1.000 jato Durchsatz <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung / Getrenntsammlung Wertstoffe + Bioabfälle 10 – 14 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Sortierung 2 – 4 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> <li>• Vergärung Bioabfälle 0,3 – 0,6 Personen / 1.000 jato</li> <li>• TAB ca. 0,4 – 0,6 Personen / 1.000 jato Durchsatz</li> </ul>							
Langfristig Einbeziehung informeller Sektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Aufbereitungs- und Verwertungsunternehmen</li> <li>• Primärsammlung von Abfällen</li> <li>• Sortierung</li> </ul>							
<b>Management- und know-how-Anforderungen</b>					<b>Beurteilung: o</b>			
<p>Die Steuerungs-, Überwachungs- und Managementanforderungen sind aufgrund des hohen Technologieniveaus der thermischen Abfallbehandlung sehr hoch.</p> <p>Die Organisation und Steuerung der getrennten Sammlung und marktgerechte Aufbereitung und Vermarktung von Wertstoffen, Gärresten und Flüssigdünger stellt sehr hohe Anforderungen an das Management.</p> <p>Das Technologieniveau der thermischen Abfallbehandlung und der Vergärung sind sehr hoch. Es müssen spezielle Betriebs- und Hilfsmittel sowie Reagenzien regelmäßig beschafft werden, ferner Treibstoffe und Ersatzteile. Es bedarf spezialisierter Zuliefer- oder Servicefirmen.</p> <p>Die Anforderungen hinsichtlich Anzahl und Qualifikation von ausgebildeten Fachkräften sind insgesamt sehr hoch.</p>								
<b>Flexibilität bzgl. veränderlicher Abfalleigenschaften</b>					<b>Beurteilung: +</b>			
<p>Die getrennte Sammlung lässt sich an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die thermische Behandlung lässt sich nur bedingt an veränderliche Abfallzusammensetzungen anpassen.</p> <p>Die Kapitalbindung ist sehr hoch.</p>								

Abfalltyp A1	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		+	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+	+	Nicht anwendbar			
Energierohstoffe		o	o	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+				
<i>Bodenfruchtbarkeit</i>		o	o	o	o	o	o	o	o	+++	+++	+++	+++				
<i>Deponiequote</i>		+	+	+++	+	+	+	+++	+	++	++	++	+++				
Schonung Naturraum		o	o	+	o	o	o	+	o	+++	+++	+++	+++				
<b>Ressourcenschonung</b>		o	o	+	o	o	+	+	+	++	++	++	++				
<b>Klimaschutz</b>		o	+	+++	+	o	+	+++	+	++	++	++	+++				
<b>Sozialverträglichkeit</b>		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++				
<b>Management/know-how</b>		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+				
<b>Flexibilität</b>		+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+				
<b>Gesamtbeurteilung</b>		8	8	6	5	8	10	6	6	12	10	11	9				

Abfalltyp A2	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		+	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+	+	o	+	+	+
Energierohstoffe		o	o	+	+	o	+	++	+	+	+	+	++	+	+	+	+
<i>Verwertung Bioabfall</i>		o	o	o	o	o	o	o	o	+++	+++	+++	+++	o	o	+++	+++
<i>Deponiequote</i>		o	o	++	o	o	+	++	o	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		o	o	+	o	o	o	+	o	++	++	++	+++	+	+	+++	+++
<b>Ressourcenschonung</b>		o	o	+	o	o	+	+	+	+	+	+	++	+	+	++	++
<b>Klimaschutz</b>		o	+	+++	+	+	+	+++	+	++	++	++	+++	++	++	++	++
<b>Sozialverträglichkeit</b>		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++	+	++	+++	+++
<b>Management/know-how</b>		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+	+	+	o	o
<b>Flexibilität</b>		+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+	o	o	+	+
<b>Gesamtbeurteilung</b>		8	8	6	5	9	10	6	6	11	9	10	9	5	6	8	8

Abfalltyp A3	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		+	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+	+	Nicht anwendbar			
Energierohstoffe		o	o	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+				
<i>Verwertung Bioabfall</i>		o	o	o	o	o	o	o	o	++	++	++	++				
<i>Deponiequote</i>		o	o	++	o	o	o	++	o	+	+	+	++				
Schonung Naturraum		o	o	+	o	o	o	+	o	++	++	++	++				
<b>Ressourcenschonung</b>		o	o	+	o	o	+	+	+	+	+	+	+				
<b>Klimaschutz</b>		o	o	+	o	o	o	+	+	+	+	+	+				
<b>Sozialverträglichkeit</b>		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++				
<b>Management/know-how</b>		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+				
<b>Flexibilität</b>		+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+				
<b>Gesamtbeurteilung</b>		8	7	4	4	8	9	4	6	10	8	9	6				

Abfalltyp A4	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		+	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+	+	Nicht anwendbar			
Energierohstoffe		o	o	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+				
Verwertung Bioabfall		o	o	o	o	o	o	o	o	++	++	++	++				
Deponiequote		o	o	+	o	o	o	+	o	o	+	+	+				
Schonung Naturraum		o	o	o	o	o	o	o	o	+	++	++	++				
Ressourcenschonung		o	o	o	o	o	+	+	+	+	+	+	+				
Klimaschutz		o	+	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+				
Sozialverträglichkeit		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++				
Management/know-how		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+				
Flexibilität		+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+				
<b>Gesamtbeurteilung</b>		<b>8</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>6</b>				

Abfalltyp B1	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		++	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	o	++	++	++
Energierohstoffe		+	+	++	++	+	++	++	++	+	++	++	++	+	++	++	++
Verwertung Bioabfall		o	o	o	o	o	o	o	o	+++	+++	+++	+++	o	o	+++	+++
Deponiequote		+	+	+++	+	+	+	+++	+	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		o	o	+	o	o	o	+	o	+++	+++	+++	+++	+	+	+++	+++
Ressourcenschonung		+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	++	++	+	++	++	++
Klimaschutz		+	++	+++	++	+	++	+++	++	++	++	++	+++	++	++	++	++
Sozialverträglichkeit		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++	+	++	+++	+++
Management/know-how		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+	+	+	o	o
Flexibilität		+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+	o	o	+	+
<b>Gesamtbeurteilung</b>		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Abfalltyp B2	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		++	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	o	++	++	++
Energierohstoffe		+	++	++	++	+	++	++	++	+	++	++	++	+	++	++	++
Verwertung Bioabfall		o	o	o	o	o	o	o	o	+++	+++	+++	+++	o	o	+++	+++
Deponiequote		o	+	+++	o	+	+	+++	+	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		o	o	+	o	o	o	+	o	++	+++	+++	+++	+	+	+++	+++
Ressourcenschonung		+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	++	++	+	++	++	++
Klimaschutz		++	++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	++	+++
Sozialverträglichkeit		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++	+	++	+++	+++
Management/know-how		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+	+	+	o	o
Flexibilität		+++	+++	o	++	+++	+++	o	++	+++	+++	+++	+	o	o	+	+
<b>Gesamtbeurteilung</b>		<b>11</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>

Abfalltyp C1	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		+++	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	0	+++	+++	+++
Energierohstoffe		++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
Verwertung Bioabfall		0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0	++	++
Deponiequote		+	+	+++	+	+	+	+++	+	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		0	0	+	0	0	0	+	0	++	++	++	++	+	+	++	++
<b>Ressourcenschonung</b>		++	+	+	+	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++
<b>Klimaschutz</b>		++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	++	++	++
<b>Sozialverträglichkeit</b>		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++	+	++	+++	+++
<b>Management/know-how</b>		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+	+	+	0	0
<b>Flexibilität</b>		+++	+++	0	++	+++	+++	0	++	+++	+++	+++	+	0	0	+	+
<b>Gesamtbeurteilung</b>		12	11	6	8	12	13	7	9	12	12	13	10	5	7	9	9

Abfalltyp C2	AWK	Gruppe I				Gruppe II				Gruppe III				Gruppe IV			
		I a	I b	I c	I d	II a	II b	II c	II d	III a	III b	III c	III d	IV a	IV b	IV c	IV d
Produktionsrohstoffe		+++	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	0	+++	+++	+++
Energierohstoffe		++	++	+++	++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++
Verwertung Bioabfall		0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++	0	0	++	++
Deponiequote		0	+	+++	+	+	+	+++	+	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
Schonung Naturraum		0	0	+	0	0	0	+	0	++	++	++	++	+	+	++	++
<b>Ressourcenschonung</b>		++	+	++	+	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++
<b>Klimaschutz</b>		++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	++	++
<b>Sozialverträglichkeit</b>		++	+	+	+	++	++	+	+	+++	++	+++	++	+	++	+++	+++
<b>Management/know-how</b>		+++	+++	+	+	+++	+++	+	+	++	+	+	+	+	+	0	0
<b>Flexibilität</b>		+++	+++	0	++	+++	+++	0	++	+++	+++	+++	+	0	0	+	+
<b>Gesamtbeurteilung</b>		12	11	7	8	12	13	7	9	12	12	13	10	5	8	9	9

# **Anlagen 4 - 7**

## Berechnungen

## Übersicht

**Anlage 4:** Stoff-, Energie- und Treibhausgasbilanzierungen für die betrachteten AWK  
Excel-Datei ‚Stofffluss- Energie- und Klimabilanzen Abfalltypen.xlsx‘

**Anlage 5:** Kosten und Kostendeckung der untersuchten Abfallwirtschaftskonzepte  
Excel-Dateien  
Kostendeckung Abfalltyp A1.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A1 mit Diskontierung KSV.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A2.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A2 mit Diskontierung KSV.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A3.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A3 mit Diskontierung KSV.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A4.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp A4 mit Diskontierung KSV.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp B1.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp B2 mit Diskontierung KSV.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp C1.xlsx  
Kostendeckung Abfalltyp C2 mit Diskontierung KSV.xlsx  
Kosten Gesamtauswertung.xlsx

**Anlage 6:** Kalkulation der Sammel- und Sortierkosten in Abhängigkeit des BIP  
Excel-Datei ‚Sammel- und Sortierkosten.xlsx‘

**Anlage 7:** Diskontierung der Vergütungen für THG-Minderungsleistungen  
Excel-Datei ‚Anlage 7.xlsx‘

**Hinweis:** Die Anlagen 4 – 7 sind beim Autor erhältlich

**Wolfgang Pfaff-Simoneit**

KompetenzCenter Wasser- und Abfallwirtschaft  
KfW Entwicklungsbank

Palmengartenstraße 5 - 9  
60325 Frankfurt / Main

Tel. +49 (0)69 7431-4145

Fax +49 (0)69 7431-3279

Mail: [Wolfgang.Pfaff-Simoneit@kfw.de](mailto:Wolfgang.Pfaff-Simoneit@kfw.de)