



Diplomarbeit

# **Kriterien für angepasste Technologien in der kommunalen Abfallwirtschaft in Ländern mit geringem Pro-Kopf-Einkommen**

**Philipp Franz SOMMERHUBER Bakk.techn.**

Stud. Kennz.: 066 427 / Matr. Nr.: 0540201

Institut für Abfallwirtschaft  
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt  
Universität für Bodenkultur, Wien

Wien, 01/2012

## Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Ao. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Salhofer sowie Herrn Dipl.-Ing. Roland Linzner und Frau MSc. Sandra Aparcana für die wissenschaftliche Begleitung dieser Arbeit. Besonders bedanken möchte ich mich für die Bereitstellung wissenschaftlicher Studien bei Frau M.A. Ellen Gunsilius (GIZ; Sektorvorhaben Nachhaltige Abfallwirtschaft) und Herrn Mag. M.Sc. Andreas Aschaber (Universität Innsbruck; Biogas4Burkina).

Mein ganz besonderer Dank gilt den Menschen, die mich in den letzten Jahren begleitet und unterstützt haben. Allen voran meinen Eltern für deren finanziellen Unterstützung und unantastbaren Rückhalt.

Ich bestätige hiermit die Arbeit selbst verfasst und Autoren korrekt zitiert zu haben.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P.F. Sommerhuber', with a stylized flourish at the end.

Philipp Franz Sommerhuber, Wien 01/2012

# Abstract

## English

The goal of this work is to take a critical view of appropriate technologies (AT) for urban solid waste management in low income countries (LIC). A list of criteria for each technology was created on the basis of a literature review. This list can help decision makers to understand the broader view and the constraints of each technology, and to choose the best option for the implementation or improvement of a given solid waste management system.

This study focuses on the second dimension of Integrated Sustainable (Solid) Waste Management (ISWM), which is characterized as the technical elements of urban solid waste management. The technologies of interest are in the field of waste collection and storage, transportation, sorting and recycling (especially rubber tires), organic recycling, and of mechanical-biological treatment (MBT) to stabilize organic waste in a municipal waste stream before dumping. The technologies were examined according to their suitability for LIC on technical, economical, ecological, and social bases.

## Deutsch

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung von Kriterien für angepasste Technologien (AT) entlang der kommunalen Abfallwirtschaftskette in Ländern mit geringem pro-Kopf-Einkommen (LGE). Auf Basis einer Literaturrecherche werden Kriterienlisten erstellt, die zur Wahl einer abfallwirtschaftlichen Technologie in einem LGE als Planungshilfe für Entscheidungsträger hinzugezogen werden können um den größtmöglichen Nutzen für die Gesellschaft und Umwelt unter Einbeziehung lokaler Rahmenbedingungen zu erzielen.

Der Fokus wird dabei auf die zweite Dimension des *Integrated Sustainable (Solid) Waste Management (ISWM)* gelegt, welche sich auf die technischen Elemente der kommunalen Abfallwirtschaft bezieht. Dabei werden Technologien der Abfallsammlung und deren Transportmittel, der Sortierung und des Recyclings von Altstoffen und im speziellen von Altreifen, der organischen Abfallbehandlung und Produktgewinnung sowie der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) vor Deponierung untersucht. Die Technologien werden in Kriterienlisten auf ihre Anpassungsfähigkeit in LGE hinsichtlich deren technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Eigenschaften beleuchtet.

# Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT.....	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	6
TABELLENVERZEICHNIS.....	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	8
1. Einleitung.....	9
1.1 Die Abfallwirtschaftssituation in LGE.....	9
1.2 Angepasste Technologien.....	10
1.3 Der informelle Sektor in der Abfallwirtschaft in LGE.....	11
2. Lokale Rahmenbedingungen in LGE.....	12
2.1 Abfallbezogene Daten.....	12
2.2 Beeinflussung geografischer Faktoren auf die Abfallwirtschaft.....	13
2.3 Sozio-ökonomische Faktoren.....	13
2.4 Politische Faktoren.....	14
3. Abfallsammlung und Transportmittel.....	15
3.1 Haushaltsnahe Abfallsammelbehälter.....	17
3.1.1 Temporäre Kunststoffsäcke aus LDPE.....	18
3.1.2 Permanente Behälter aus recycelten Materialien.....	18
3.2 Kommunale Abfallsammelstellen.....	19
3.2.1 Abfallsammelbunker.....	19
3.2.2 Kommunale Wechselcontainer.....	20
3.3 Abfallumladestationen.....	22
3.3.1 Umladestationen mit Rampensystem.....	24
3.3.2 Case Study: Umladestation mit Wechselcontainern und hydraulischem Kransystem – <i>Chinese-style Transferstation</i> .....	25
3.4 Transportmittel.....	25
3.4.1 Nicht-motorisierte Abfalltransportmittel.....	27
3.4.1.1 Handkarren.....	27
3.4.1.2 Fahrradkarren.....	28
3.4.1.3 Tierkarren.....	29
3.4.2 Motorisierte Transportmittel.....	30
3.4.2.1 Kleinmotorige Transportmittel mit niedrigem Bodenabstand.....	30
3.4.2.2 Traktoren.....	31
3.4.2.3 LKW-Abrollkipper mit hydraulischem Kransystem.....	32
3.4.2.4 Pressmüllfahrzeuge.....	33
4. Recycling von Altstoffen.....	35
4.1 Sortieranlagen.....	36
4.1.1 Case Study: Teilmechanisierte Sortieranlage mit kontinuierlichem Gutstrom in Iloilo.....	37
4.2 Abfallvermeidungsmaßnahmen und Recycling von Altreifen.....	39
4.2.1 Wiederverwendung.....	40
4.2.2 Stoffliche Verwertung.....	42
5. Organische Abfallbehandlung.....	43
5.1 Kompostanlagen.....	44
5.1.1 Case Study: Behälterkompostierung auf Haushaltsebene – Modell Saaga®.....	45
5.1.2 Gemeinschaftsbasierte Wurmkompostierung.....	46
5.2 Biogasanlagen.....	49

5.2.1	Case Study: ARTI Compact Biogas System.....	50
5.2.2	Case Study: VACVINA Hybrid Technology Biodigester with Automatic Scum Control (HTASC).....	52
6.	Abfallbehandlung vor Deponierung.....	54
6.1	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung .....	54
6.1.1	Case Study: FABER-AMBRA® Verfahren .....	55
6.1.1.1	„Nord-Süd“-Technologietransfer .....	56
6.1.1.2	Prozessabläufe in São Sebastião und Phitsanulok.....	57
6.1.1.3	Behandlungskosten .....	60
7.	Kriterienlisten für angepasste Technologien.....	61
7.1	Haushaltsnahe Abfallsammelbehälter .....	61
7.2	Kommunale Abfallsammelstellen.....	63
7.3	Abfallumladestationen .....	65
7.4	Transportmittel der kommunalen Abfallsammlung.....	67
7.5	Abfallsortiereinrichtungen .....	71
7.6	Technologien der Abfallvermeidung und des Recyclings von Altreifen .....	73
7.7	Kompostanlagen.....	76
7.8	Biogasanlagen.....	78
7.9	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung vor Deponierung.....	81
8.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	85
9.	Literaturverzeichnis.....	88

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Typische Elemente der kommunalen Abfallwirtschaft in LGE (nach ZURBRÜGG et al., 2010) .....	16
Abb. 2: Beispiele für permanente Sammelbehälter (nach COFFEY und COAD, 2010).....	18
Abb. 3: Abfallsammelbunker (nach COFFEY und COAD, 2010) .....	20
Abb. 4: Beispiele für Wechselcontainer (nach COFFEY und COAD, 2010) .....	21
Abb. 5: Frequenz der ankommenden Fahrzeuge einer Umladestation (nach DIAZ et al., 2005).....	23
Abb. 6: a) Seiten- und b) Draufsicht der Umladestation mit Rampe in Hargeysa (nach BELLA, 2010) .....	24
Abb. 7: <i>Chinese-style Transferstation</i> (nach COAD, 1997) .....	25
Abb. 8: Kleinmotorige Abfalltransportmittel (UNCHS, 1988) .....	31
Abb. 9: Modifiziertes Anhängerdesign mit Schwanenhals, reduzierter Beladungshöhe und erhöhter Beladungskapazität (nach COFFEY und COAD, 2010) .....	32
Abb. 10: Traktor mit Sattelaufleger (nach COFFEY und COAD, 2010).....	32
Abb. 11: LKW-Abrollkipper mit hydraulischem Kransystem und dazugehörigem Container (nach COFFEY und COAD, 2010).....	33
Abb. 12: Modifizierung der Schanierposition des Abrollkipperbehälters (nach COFFEY und COAD, 2010) .....	33
Abb. 13: Rotopressmüllfahrzeug (nach COFFEY und COAD, 2010).....	34
Abb. 14: Einlauf-Förderband mit rotierender Siebtrommel (nach PAUL et al., 2010).....	37
Abb. 15: Schematische Darstellung eines Scheibenseparators (nach NASSOUR, 2005) .....	38
Abb. 16: Materialfluss der Sortieranlage [hp = horsepower] (nach PAUL et al., 2007).....	38
Abb. 17: Sortieranalyse der teilmechanisierten Sortieranlage in Iloilo (nach PAUL et al., 2007) .....	39
Abb. 18: Dampfbetriebene Vulkanisierungspressen (nach REES, 1998).....	41
Abb. 19: Neuprofilierung mit Heißmethode (nach AHMED et al., 1996).....	41
Abb. 20: Stationäres, mechanisches Schneidgerät (nach AHMED et al., 1996) .....	42
Abb. 21: Elektrisch angetriebener Shredder (nach LARDINOIS und KLUNDERT, 1995).....	42
Abb. 22: Moulding-Pressen (nach AHMED et al., 1996).....	43
Abb. 23: Produktgewinnung aus organischem Abfall (nach LARDINOIS und KLUNDERT, 1993) .....	44
Abb. 24: Saaga® Behälterkompostierung auf Haushaltsebene in Katmandu (nach WEPCO, 2009) .....	46
Abb. 25: Wurmkompostierung in Pammal (nach SAPHTARISHI, 2010) .....	48
Abb. 26: Kompostsiebung (nach SAPHTARISHI, 2010) .....	48
Abb. 27: ARTI-CBS; links Gasbehälter leer, rechts Gasbehälter voll (nach LOHRI, 2009) .....	50
Abb. 28: Skizze einer VACVINA Biogasanlage (TATEDO, 2008).....	52
Abb. 29: Mietenaufbau und Kaminzugeffekt des FABER-AMBRA®-Verfahrens (nach SCHENK, 2001) .....	56
Abb. 30: Homogenisierungstrommel (nach SCHENK 2002) .....	58
Abb. 31: Aufsetzen der Mieten auf Paletten mit einem Hydraulikbagger mit Tieflöffel (nach SCHENK, 2002) ....	58
Abb. 32: Trommelsieb (nach SCHENK, 2002).....	60
Abb. 33: Kriterienbaum für Abfallvermeidung und Recycling von Altreifen .....	74

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Abfallzusammensetzung in asiatischen Städten (nach ZURBRÜGG et al., 2010).....	12
Tab. 2: Vergleich Vor- und Nachteile der Hol- und Bringsysteme (nach ZUH et al. 2008).....	17
Tab. 3: Ökologische und gesundheitliche Aspekte einer Umladestation (nach UNEP, 1996).....	23
Tab. 4: Designprobleme und Lösungsansätze für eine benutzerfreundliche Modifizierung eines Handkarrens für die Abfallsammlung (nach ROUSE und ALI, 2002) .....	27
Tab. 5: Einsatzbereiche nicht-motorisierter Abfalltransportmittel (nach UNEP, 1996) .....	27
Tab. 6: Technische Performance der getesteten Alternativen (nach ANSCHÜTZ und KEITA, 2004) .....	29
Tab. 7: Recycling und Reuse Möglichkeiten von Materialien in Karachi (nach ALI und HASAN, 2001).....	35
Tab. 8: Zusammensetzung eines Kraftfahrzeugreifens (nach BACH, 2009) .....	40
Tab. 9: Weiterverwendungsmöglichkeiten von Altreifen in LGE (nach AHMED et al., 1996).....	40
Tab. 10: Erforderliche Prozessparameter für die Wurmkompostierung (nach VISVANATHAN et al., s.a.) .....	47
Tab. 11: Input und Output des ARTI-CBS in Daressalam (nach LOHRI, 2009) .....	51
Tab. 12: Bewertung der ARTI-CBS Anlage in Daressalam (nach LOHRI, 2009) .....	52
Tab. 13: Baumaterialien für eine 7 m <sup>3</sup> -VACVINA-HTASC (TATEDO, 2008b).....	53
Tab. 14: Abfallwirtschaftliche Situation (Stand 2001) in São Sebastião und Phitsanulok (nach HÜTTNER et al., 2003).....	57
Tab. 15: Erforderliche Technologien für Deponiebetrieb und MBA mit dem FABER®-AMBRA Verfahren (nach SCHENK, 2001 und JANIKOWSKI et al., 2003).....	57
Tab. 16: Kriterien für angepasste haushaltsnahe Abfallsammelbehälter in LGE .....	61
Tab. 17: Kriterien für angepasste kommunale Sammelsysteme in LGE.....	63
Tab. 18: Kriterien für angepasste Abfallumladestationen in LGE .....	65
Tab. 19: Kriterien für angepasste Transportmittel der kommunalen Abfallsammlung in LGE .....	68
Tab. 20: Kriterien für angepasste Sortiereinrichtungen in LGE .....	71
Tab. 21: Kriterien für angepasste Abfallvermeidungs- und Recyclingtechnologien von Altreifen in LGE .....	74
Tab. 22: Kriterien für angepasste Kompostanlagen in LGE .....	76
Tab. 23: Kriterien für angepasste Biogasanlagen in LGE .....	79
Tab. 24: Kriterien für angepasste MBA am Beispiel des FABER®-AMBRA Verfahrens .....	82

# Abkürzungsverzeichnis

ARTI – Appropriate Rural Technology Institute

AT – Angepasste Technologie(n)/Appropriate Technology(ies)

BSP – Bruttosozialprodukt

CBS – Compact Biogas System

CCRD – The Centre for Community Health Research and Development

CDM – Clean Development Mechanism

CEN – Clean Energy Nepal

CH<sub>4</sub> – Methan

CMU – Community Organisation Unit

CO<sub>2</sub> – Kohlenstoffdioxid

CSB – Chemischer Sauerstoffbedarf

GIE – Groupement d'Intérêt Economique (Abfallkleinunternehmen in Bamako)

GTZ – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

HDI – Human Development Index

HDPE – High Density Polyethylen

H<sub>2</sub>S – Schwefelwasserstoff

Hp – Horsepower

HRT – Hydraulische Verweilzeit

HTASC – Hybrid Technology Biodigester with Automatic Scum Control

KMC – Kathmandu Metropolitan City

LDPE – Low Density Polyethylen

LGE – Länder (Land) mit geringem pro-Kopf-Einkommen

LHE – Länder (Land) mit hohem pro-Kopf-Einkommen

LDC – Least Developed Country(ies)

LIC – Low Income Country(ies)

MBA – Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

N<sub>2</sub>O – Distickstoffmonoxid (Lachgas)

NH<sub>4</sub>-N – Ammoniumstickstoff

NIMBY – Not In My Backyard

oTS –organische Trockensubstanz

PE - Polyethylen

ppm – parts per million

PVC – Polyvinylchlorid

TaTEDO - Tanzania Traditional Energy Development and Environment Organization

TR –Trockenrückstand

UNDP – United Nations Development Programme

UWEP – Urban Waste Expertise Programme

# 1. Einleitung

„Appropriate technologies can be used in developing countries in all economic sectors, at all levels of capital intensity, for the benefit of people of all income levels. Appropriateness of a particular technology to a particular situation depends on so many factors that formal general definitions are of limited use.“ (BHAGAVAN, 1979)

Das einleitende Zitat verdeutlicht den Nutzen von Technologien für alle Bevölkerungsschichten, wenn diese an lokale Rahmenbedingungen angepasst sind. Im Kontext einer angepassten Technologie (AT) im Bereich der Abfall- und Kreislaufwirtschaft in Ländern mit geringem pro-Kopf-Einkommen (LGE) ist es von Interesse, das Design und die Betriebsführung so zu gestalten, dass dies grundsätzlich mit lokal verfügbaren und hergestellten Materialien möglich ist (BENTHOUX und STEVENS, 1985).

Aufgrund schlecht geplanter „Nord-Süd“ und „Süd-Süd“-Technologietransfers stellt sich die Frage, welche Kriterien für AT in der kommunalen Abfallwirtschaft in LGE entscheidend sind, um den Einsatz einer Technologie mit lokalen Kapazitäten nachhaltig und mit größtem Nutzen für die Gesellschaft gestalten zu können.

Im Zuge dieser Arbeit werden anhand einer Literaturrecherche, welche sowohl positive als auch negative Beispiele abfallwirtschaftlicher Technologien in LGE beinhaltet, Kriterienlisten für AT entlang der kommunalen Abfallwirtschaftskette in LGE erstellt. Dies soll Entscheidungsträgern ermöglichen, Technologien zu wählen, die im Einklang mit den jeweiligen lokalen Rahmenbedingungen eines Landes auf technischer, ökonomischer, ökologischer sowie sozialer Ebene stehen um somit eine angepasste abfallwirtschaftliche Lösung sicherstellen zu können.

## 1.1 Die Abfallwirtschaftssituation in LGE

Generell fehlt es LGE an einer klaren Organisationsstruktur in der kommunalen Abfallwirtschaft. Es mangelt vor allem an verständlichen und funktionierenden Abfallrahmenrichtlinien, einem nachhaltigen Investitionssystem sowie an der Forcierung von Modernisierungsprogrammen (SCHEINBERG et al., 2010). Des Weiteren wird der Abfallwirtschaft aufgrund anderer Probleme, wie Trinkwasserversorgung, Nahrungsmittelknappheit, dürftige medizinische Versorgung oder kriegerische Zustände und den damit verbundenen Komplikationen oft zu wenig Beachtung geschenkt. Hauptgründe für das Fehlschlagen abfallwirtschaftlicher Projekte umfassen im Speziellen den Technologietransfer, mangelhafte Vorbereitungen und Analysen sowie mangelnde Kommunikation der Stakeholder (KÖRNER et al., 2001).

Dennoch kommt es nach HÜTTNER und KEBEKUS (2000) langsam zur Verbesserung der abfallwirtschaftlichen Situation. Dezentralisierungsprozesse in vielen Ländern sowie ein wachsendes Problem- und steigendes Umweltbewusstsein führen zur Einführung einer geordneten Abfallwirtschaft vielerorts. Da sich allerdings die lokalen, abfallwirtschaftlichen relevanten Verhältnisse größtenteils signifikant von denen in LHE unterscheiden, ist es in der Regel nicht möglich, technisch aufwendige und komplexe Lösungen aus LHE direkt zu übernehmen.

Der Umgang mit Abfall stellt eine der größten Herausforderungen der urbanen Entwicklung weltweit dar (SCHEINBERG et al., 2010). Hinzu kommen das schnelle Wachstum der Bevölkerung in den Städten der LGE und eine vielerorts dürftige oder nicht vorhandene Abfallsammlung. Die gängige Art der Abfallentsorgung ist die unkontrollierte Deponierung ohne Abfallvorbehandlung (WAGNER et al., 2001). Die Menschen, die keinen Zugang zur kommunalen Abfalldienstleistung haben, leben vorwiegend in benachteiligten, informellen, peri-urbanen Gebieten, denen das Geld für diese Dienstleistung fehlt (ZURBRÜGG, 2003).

In den 1970er Jahren begann ein Modernisierungsprozess in LGE. Die kommunale Abfallwirtschaft wurde damals als rein technisches Problem betrachtet. Dies änderte sich in den 1980er und 1990er Jahren, als erkannt wurde, dass der Abfall nicht ohne die Einbeziehung und Teilnahme der Entsorgungsdienstleistungsnehmer erfolgreich durchgeführt werden konnte. Die Konsequenzen daraus waren, dass die abfallwirtschaftlichen Technologien von Institutionen, Regierungen und politischen Faktoren abhängig sind, die sehr variabel, komplex und an lokale Rahmenbedingungen angepasst werden müssen. Daraus entstand das Konzept *Integrated Sustainable (Solid) Waste Management* (ISWM) (SCHEINBERG et al., 2010).

Dies beinhaltet folgende drei Dimensionen, die bei der Planung eines kommunalen Abfallwirtschaftssystems berücksichtigt werden sollen (SCHEINBERG et al., 2010):

1. Stakeholderdialog: Die Identifizierung der Stakeholder ist ein sehr wichtiger Prozess und inkludiert sowohl Vertreter von Regierungs- als auch Nichtregierungsorganisationen, Experten und Vertreter der lokalen Bevölkerung.
2. Elemente: Dies ist die technische Komponente der Abfallwirtschaft. Diese Dimension ist der Fokus der vorliegenden Arbeit.
3. Aspekte: Diese prüft die Abfallwirtschaft auf Nachhaltigkeit, indem es alle Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt.

Die zweite Dimension (Elemente) umfasst die technischen Aktivitäten der kommunalen Abfallwirtschaft. Hierzu zählen die Abfallreduzierung, *Reuse* und Reparatur, Abfallsammlung, Abfalltransport, Straßenreinigung, Recycling von Wertstoffen, Kompostierung, Energierückgewinnung sowie die Abfallentsorgung (ANSCHÜTZ et al., 2004).

## 1.2 Angepasste Technologien

Angepasste Technologien (AT) sind technisch, ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltig. Technische Nachhaltigkeit birgt die Möglichkeit, dass die Technologie mit lokalen Ressourcen und Wissen zu errichten, betreiben und reparieren ist. Die ökonomische Komponente sieht vor, dass die Anschaffung und der Betrieb mit geringen finanziellen Mitteln möglich sind. Ökologische Nachhaltigkeit bezieht sich auf den effektiven Ressourceneinsatz und die Reduzierung der Umwelteinflüsse durch die Technologie. Soziale Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Technologie lokale Bedürfnisse berücksichtigt und an lokale Lebensgewohnheiten angepasst ist (BELLA, 2010).

Darüber hinaus stehen AT im Einklang mit den individuellen, kulturellen Gegebenheiten eines Landes und zielen somit auf eine nachhaltige, lokale Wirtschaft ab (PRACTICAL ACTION, 2011). In jedem Land, jeder Region und Stadt haben sich bestimmte Systeme aufgrund individueller Bedürfnisse und Gegebenheiten besser als andere etabliert (COINTREAU, 1982). Eine Technologie, die sich beispielsweise für einen Stadtteil mit höherem Einkommen bewährt hat, ist in der Regel nicht für Stadtteile mit niedrigerem Einkommen geeignet (TROY, 2011).

Das Know-How und die Wissensvermittlung sind unter anderem Schlüsselemente zum langfristigen Erfolg einer AT. Diese müssen durch laufende Programme und ständig entsprechend der verfügbaren wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten aktualisiert werden. Vor allem kapitalschwache Länder wollen dieses Element überspringen und durch Technologien, welche vorrangig über Hilfsorganisationen finanziert werden, ersetzen (NASSOUR, 2005). Eine allgemein gültige Strategie für AT kann also nicht zum Erfolg führen (UNEP, 2009).

Nur hohe Kapitalinvestitionen in der kommunalen Abfallwirtschaft in LGE führen nicht zwangsläufig zu einer Verbesserung der abfallwirtschaftlichen Situation. Vielmehr können kostenextensive Verbesserungen an bereits vorhandenen Techniken die Effizienz und die Qualität einer abfallwirtschaftlichen Technologie steigern (DIAZ et al., 2005).

Die Schulung der Arbeiter und der Kapazitätenaufbau (*capacity building*) spielen laut WAGNER et al. (2001) eine wichtige Rolle bei der Einführung bereits vorhandenem Wissen über Technologien und Strategien in LGE und bilden die Grundlage für die Einführung einer AT.

Sehr häufig können neue Vorhaben aufgrund unangemessener technischer, organisatorischer, finanzieller sowie politischer Kapazitäten nicht durchgesetzt werden (KÖRNER et al., 2001).

Der Großteil technischer Innovationen wird in LHE entwickelt und ist meistens für LGE nicht leistbar, geeignet oder zugänglich (SCHEINBERG et al., 2010). AT sind zielgruppenorientiert auszurichten und müssen immer in ihrem lokalen und regionalen spezifischen Kontext ihrer Anwendung betrachtet sowie anhand umfassender Kriterien bewertet werden. Grundsätzlich sollen die zur Anwendung kommenden Technologien in einem an die lokalen Verhältnisse angepassten Maße einfach, flexibel und personalintensiv sein (SANTEN, 2000).

Die Wahl einer AT in LGE ist schwierig. Dazu müssen im Vorfeld Untersuchungen stattfinden, um die richtigen Strategien und Maßnahmen für die Technologie umsetzen und langfristig gewährleisten zu können. Dazu ist es notwendig die lokalen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen und die Technologien anhand deren Kriterien auszuwählen und gegebenenfalls auch zu adaptieren (SCHEINBERG et al., 2010).

Nach VEST (1999) sind AT für LGE in der Regel wie folgt charakterisiert:

- klein in Größe und Output,
- energiesparend,
- kostenintensiv,
- personalintensiv,
- umweltfreundlich und
- mit lokalem Wissen hergestellt und betriebsfähig.

### 1.3 Der informelle Sektor in der Abfallwirtschaft in LGE

Der informelle Sektor spielt in LGE im Recycling und der Bereitstellung sekundärer Rohstoffe für die Primärproduktion eine wichtige Rolle und ist entlang der gesamten Abfallwirtschaftskette tätig. Schätzungen der Weltbank zufolge sind 2 % der Bevölkerung in LGE im informellen Sektor der Abfallwirtschaft tätig, welcher für diese oft die einzige Lebensgrundlage darstellt (MEDINA, 2000). In vielen Städten, in denen es keine kommunale Abfallsammlung gibt, übernimmt der informelle Sektor die Abfallsammlung (WILSON et al., 2006). Beispielsweise profitieren 37 % der Bevölkerung in Santa Cruz (Bolivien) von dessen Sammeltätigkeiten (MEDINA, 2000). Allerdings beschränken sich die Sammelaktivitäten häufig auf mittlere bis höhere Einkommensgebiete, in denen der Anteil der wertstoffreichen Altstoffe höher ist, als in Gebieten mit niedrigem Einkommensniveau (COINTREAU, 1982).

Dort wo keine gesetzliche Abfalltrennung vorgeschrieben ist, übernimmt dies in vielen Fällen der informelle Sektor aufgrund seines wirtschaftlichen Interesses (SCHENK, 2000). Je nach Arbeitsumfeld, Sprache und den recycelten Stoffen wurde den Menschen verschiedene Namensbezeichnungen zugeteilt (MEDINA, 2000). Der informelle Sektor ist mit kleindimensionierten, arbeitsintensiven, großteils unregulierten und unregistrierten, sowie einfachen Technologien ausgestattet (WILSON et al., 2006).

Die Sortierung erfolgt nach dem wirtschaftlichen Wert der Materialien, die auf dem Markt erzielt werden und kann sich je nach Preissituation auch spontan ändern. Dies folgt dem ersten Recyclingprinzip von BALL et al. (2007): „*That where recycling is economically viable, it takes place spontaneously.*“ Die Auslese der verwertbaren Stoffe stellt daher die Haupttätigkeit des informellen Sektors dar. Je differenzierter dies geschieht, desto höher ist der Wert des Sekundärrohstoffs für die Primärproduktion. Beispielsweise sollte sich eine Kunststoffsortierung in HDPE, PET, LDPE etc. unterscheiden. Die gesundheitlichen Risiken bei der Wertstoffgewinnung werden näher in WILSON et al. (2006) beschrieben.

In den brasilianischen Städten Brasília, Curitiba, Niteroi, Porto Alegre sowie São Sebastião gibt es bereits ansatzweise eine getrennte Abfallsammlung und anschließende Sortierung mit dem Ziel der Wiederverwertung von Abfallstoffen. Dies wirkt sich auch positiv für die unteren Einkommensschichten aus, die in diesem Bereich Arbeit finden. Jedoch sind die dabei eingesetzten Technologien nicht immer der Abfallproblematik angepasst. So wurden im Zeitraum 1980 – 2000 im Bundesstaat Rio de Janeiro 15 Anlagen zur Separierung und Behandlung von kommunalen Abfällen gebaut, die teilweise sehr teuer waren und über komplexe Technologien verfügten. Von diesen Anlagen wurden 11 endgültig geschlossen. Nur eine funktioniert bei voller Kapazität. Der Gesamtverlust wird auf rund EUR 50 Mio. geschätzt (DOS SANTOS, 2001).

Die Akteure des informellen Sektors haben großteils den geringsten Status einer Gesellschaft und werden generell als Belastung für das System empfunden. Dies ist durch geschichtliche, religiöse und kulturelle Aspekte begründet (MEDINA, 2000). Allerdings ist die Situation beispielsweise in Neu Delhi (Indien) anders. Dort werden die *Scavenger* von der Kommune bei der Abfallsortierung unterstützt. Das *New Delhi Municipal Council* (NDMC) sieht den informellen Sektor als win-win Situation. Einerseits wird die arme Bevölkerungsschicht in das System integriert. Andererseits profitiert die Bevölkerung von der Abfalltrennung, da weniger Abfall zur Deponie transportiert wird und die Abfallgebühren entlastet (SCHEINBERG et al., 2010). Da die vorher aussortierten Materialien größtenteils sperrig sind und somit nicht in den Abfallstrom gelangen (COFFEY, 2006), wirkt sich dies positiv auf die Reduzierung der Transportkosten sowie auf das Deponievolumen aus und führt darüber hinaus zur Reduzierung der Treibhausgase (ZURBRÜGG et al., 2010).

Die Privatisierung der Abfallwirtschaft spielt bei der Integration des informellen Sektors eine entscheidende Rolle. Beispielsweise wurde in Delhi die Abfallsammlung auf Haushaltsebene auf zwei große private Firmen aufgeteilt. Dem informellen Sektor wurde die Lebensgrundlage entzogen, da nun alle Wertstoffe im Restmüll von diesen Firmen verwertet werden (SCHEINBERG et al., 2010). Wird allerdings dem informellen Sektor der

Zugang zu den Materialien verweigert, verlagert und intensiviert sich die Aussortierung nach ALI und HASAN (2001) auf Deponien.

Ein weiterer Grund für den Ausschluss des informellen Sektors ist die sehr häufige Verwüstung der Abfallsammelstelle sowie die wilde Deponierung der übrigen Materialien nach deren Aussortierung in Kanälen oder ähnlichem. Der Grund dafür sind die verwendeten Abfallsammelfahrzeuge, die unter anderem durch kurze Reichweiten und geringe Kapazitäten charakterisiert sind. Da die Deponien meist außerhalb des Stadtrandes liegen, ist es für den informellen Sektor bequemer, die Abfälle wild zu deponieren (MEDINA, 2000).

## 2. Lokale Rahmenbedingungen in LGE

Die Verfügbarkeit abfallwirtschaftlicher Daten ist in LGE in der Regel nicht gegeben, sehr schlecht (COLLIVIGNARELLI et al., 2007) oder auch fragwürdig (COFFEY und COAD, 2010). Existierende Daten beziehen sich meistens auf große Kommunen und werden oft fälschlicherweise für andere Einzugsgebiete übernommen (COLLIVIGNARELLI et al., 2007).

### 2.1 Abfallbezogene Daten

Bei der Planung der technischen Abfallsammlung, -behandlung und -entsorgungsanlagen sind Wissen über die Abfallmenge und Abfallzusammensetzung für die Wahl und Dimensionierung der Anlage von entscheidender Bedeutung.

#### Abfallmenge

Das Abfallaufkommen ist abhängig von der wirtschaftlichen Struktur (Industrie, Tourismus, Agrareinrichtungen), geografischen Struktur (städtisch, ländlich), vom Bildungsniveau sowie Klima eines abfallwirtschaftlichen Einzugsgebietes (MÜNNICH et al., 2007). Die Menge der kommunalen Abfälle in LGE ist im Vergleich zu LHE gering (DIAZ et al., 2005).

In LGE fallen rund 0,2 bis 1 kg Abfall/Kopf/Tag an (HANKO, 2009). Dabei ist zu beachten, dass in ländlichen Gebieten die Abfallmenge < 0,15 kg/Kopf/Tag sein kann, während in der Stadt > 1 kg/Kopf/Tag anfallen können (ZURBRÜGG et al., 2011). Die Abfälle aus Haushalten nehmen rund 75 % des gesamten kommunalen Abfalls ein (COFFEY und COAD, 2010).

#### Abfallzusammensetzung

Neben Wohlstand sind die Verbrauchsmuster der Konsumenten eine entscheidende Bezugsgröße für die Abfallzusammensetzung (ZURBRÜGG, 2003). LHE konsumieren einen hohen Anteil an Papier, Metallen, Kunststoff beziehungsweise synthetisch hergestellten Stoffen (ARLOSOROFF, 1985). Der kommunale Abfall in LGE setzt sich für gewöhnlich durch einen hohen biologisch abbaubaren Anteil sowie Papieranteil (sh. Tab. 1) zusammen. Danach folgen Kunststoff, Glas und Metalle. Letztere werden häufig auf der Haushaltsebene getrennt und an den informellen Sektor für Recyclingaktivitäten weitergegeben (ZURBRÜGG et al., 2010).

Stadt	Organik [%]	Kunststoff [%]	Metall [%]	Sonstiges [%]
Dhaka	80	4,3	2	13,7
Phnom Penh	72,4	15,7	0,4	11,5
Peking	66,2	12,3	0,3	21,2
Delhi	81	10	1	8
Jakarta	55	13	1	31
Manila	53	17	5	25
Bangkok	50	10,9	3,5	35,6
Ho Chi Minh City	80	7	0,4	12,6
<b>Mittelwert</b>	<b>67,2</b>	<b>11,3</b>	<b>1,7</b>	<b>19,8</b>

Tab. 1: Abfallzusammensetzung in asiatischen Städten (nach ZURBRÜGG et al., 2010)

Des Weiteren sollten die Abfälle einer Sortieranalyse unterzogen werden, um technische Lösungsvorschläge zu ermitteln. Entscheidender Parameter ist neben der Dichte und dem Wassergehalt die Korngrößenverteilung.

Organische Substanzen sind mit > 80 % überwiegend in der Fraktion 20 – 80 mm enthalten. Die hauptsächlich vertretenen Stoffgruppen in der Grobfraktion (> 80 mm) sind Kunststoffsäcke (25 %), Papier (24 %), Metalle (9 %), Glas (9 %), Kunststoffflaschen (3 %), Organik (12 %), Textilien (10 %) sowie weitere sonstige Materialien. Feinmaterial mit < 20 mm Korngröße ist überwiegend organischer Herkunft (NASSOUR, 2005).

### Abfalldichte

Das Wissen über die Abfalldichte ermöglicht die Berechnung des Gewichts in Volumeinheiten. Das Volumen ist abhängig vom Lebensstandard, von den Konsumgewohnheiten und Institutionen einer Stadt (ZURBRÜGG et al., 2010). Die Abfallzusammensetzung in LGE ist meistens durch einen hohen organischen Anteil charakterisiert, welcher zu einer höheren Dichte als in LHE führt (HÜTTNER und KEBEKUS, 2000).

## **2.2 Beeinflussung geografischer Faktoren auf die Abfallwirtschaft**

### Topografische Faktoren

Bei der Wahl einer abfallwirtschaftlichen Technologie müssen die topografischen Eigenschaften des Standortes berücksichtigt werden. Hierzu zählen die Seehöhe, der Boden sowie dessen Eigenschaften. Letztere sind für die Stabilität der Anlage und den Grundwasserschutz entscheidend. Daneben sollte im Vorfeld die Kontaminierung des Bodens gemessen werden (HANKO, 2009).

### Klimatische Faktoren

Diese beeinflussen maßgeblich die Qualität des Abfalls und dessen geeignete Behandlungsmethode. Die klimatischen Bedingungen umfassen: Temperatur, Feuchtigkeit, Jahresniederschlag, Intensität der Niederschläge, thermische Inversion, Windstärke und Sonnenschein (HANKO, 2009). In LGE herrscht überwiegend tropisches bzw. subtropisches Klima mit zum Teil sehr hohen Temperaturen und mit meist hohen Niederschlagsmengen pro Regenereignis (NASSOUR, 2005). Darüber hinaus beeinflussen klimatische Faktoren den Wassergehalt im Abfall (COINTREAU, 1982).

## **2.3 Sozio-ökonomische Faktoren**

### Einkommensniveau

In der Regel ist das Einkommensniveau in LGE bei gleichzeitig hoher Arbeitslosigkeit gering (COFFEY und COAD, 2010). Generell wirken sich die Technologien der Abfallsammlung und Entsorgung nicht oder in geringem Ausmaß auf die Skalenerträge aus, sodass die Kosten dieser Technologien nicht von der Abfallmenge abhängig sind. Die Auswahl einer Technologie ist demnach nicht signifikant von der Siedlungsgröße und der zu sammelnden sowie entsorgenden Abfallmenge abhängig. In dieser Hinsicht basiert eine AT auf der Optimierung des Mechanisierungsgrades und auf der Steigerung der Arbeitskraftproduktivität. Das bedeutet, dass in Stadtteilen, in denen das Einkommensniveau niedrig ist, arbeitsintensive Technologien eingesetzt werden sollten. In Gebieten mit höherem Einkommensniveau sollten hingegen die eingesetzten Arbeiter reduziert oder gering gehalten werden (COINTREAU, 1982).

Die Kategorisierung der Länder nach deren pro-Kopf-Einkommen erfolgt durch die WELTBANK (2011) nach der „Atlas Methode“. Dazu wird das Bruttonationalprodukt (BSP) hinzugezogen. Häufig wird der Begriff LGE mit Entwicklungsland gleichgesetzt, obwohl das BSP an sich nichts über den Entwicklungsstatus eines Landes aussagt. Dennoch werden die am wenigsten entwickelten Länder unter dem Begriff *Least Developed Countries* (LCDs) zusammengefasst. Die Kriterien hierfür sind: geringes Einkommen, geringe Humanressourcen und ökonomische Vulnerabilität (GLAWE et al, 2005).

Eine andere Kategorisierung der Länder kann mit Hilfe des *Human Development Index* (HDI) erfolgen. Dieser wurde im Jahr 1990 von dem *United Nations Development Programme* (UNDP) in Konkurrenz zum BSP eingeführt, um die soziale Komponente in die Wohlstandsmessung einer Nation integrieren zu können. Der HDI wurde als Index entwickelt, der sich auf die Lebenserwartung, Grundbildung und das Minimaleinkommen konzentriert. Allerdings weist dieser Index eine ähnliche Ungenauigkeit wie das BSP auf (UNDP, 2010).

### Zahlungsbereitschaft

Abgesehen vom Einkommensniveau und des zur Verfügung stehenden Budgets eines Haushalts für ein abfallwirtschaftliches System, ist die Zahlungsbereitschaft in LGE unterschiedlich. Diese ist oft von ästhetischen Faktoren abhängig. Wenn die Bevölkerung sieht, dass eine abfallwirtschaftliche Verbesserung und im Zuge dessen eine „Verschönerung“ stattfindet, ist diese in der Regel bereitwilliger, Abfallgebühren zu zahlen. Darüber hinaus spielt dabei das Mitwirken an Entscheidungsfindungsprozessen eine wesentliche Rolle (COAD, 2003).

Die Zahlungsbereitschaft hat auch kulturelle Hintergründe. Beispielsweise gibt es in südafrikanischen Städten wie Johannesburg, Durban oder Kapstadt ähnliche Sammelsysteme wie in Europa. Die Kosten der Abfallsammlung werden durch die Steuerabgaben gedeckt. Nur wenige Einwohner können und wollen allerdings nicht für die abfallwirtschaftlichen Dienstleistungen zahlen. Dies hat einen kulturellen Hintergrund. Hierbei handelt es sich um eine Kultur der Nicht-Zahlungsbereitschaft der benachteiligten schwarzen Bevölkerung aufgrund des historischen Apartheid Regimes (WAGNER et al., 2001).

### Bürgerbeteiligung und Einbeziehung der Bevölkerung in Entscheidungsfindungsprozesse

Wenn es nach den Bedürfnissen der Einwohner geht, ist der geeignetste Ort für eine Abfallentsorgungsanlage am besten weit entfernt und nicht sichtbar. Dies wird auch als NIMBY-Syndrom (*Not In My Back Yard*) bezeichnet. Grund dafür ist die schlechte Informationsbereitstellung. Diese kann durch die aktive Teilnahme der Bevölkerung beispielsweise im Zuge von Umweltverträglichkeitsprüfungen verbessert werden (HANKO, 2009), sofern eine Durchführung dieser in LGE möglich ist.

### Kultur und Religion

Kulturelle Gegebenheiten und Traditionen müssen bei der Planung einer abfallwirtschaftlichen Anlage respektiert und berücksichtigt werden. Dies ist ein weiterer Grund für die Wichtigkeit der Einbeziehung der lokalen Bevölkerung bereits im Planungsprozess (HANKO, 2009). Des Weiteren sind kulturelle und historische Hintergründe ausschlaggebend für die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung (WAGNER et al., 2001) oder diese verweigert dadurch den Umgang mit bestimmten Fraktionen (NASSOUR, 2005).

### Bevölkerungswachstum

Bei der Berechnung der Abfallmenge muss das Bevölkerungswachstum innerhalb des abfallwirtschaftlichen Einzugsgebietes miteinbezogen werden. Aufgrund des schnellen Bevölkerungswachstums in LGE ist Boden für Abfallanlagen oft rar und teuer. Wenn der Staat im Besitz ist, kann die Rechtevergabe an Abfallunternehmen schwierig sein (LINZNER, 2008). ZURBRÜGG (2003) beschreibt das rapide Bevölkerungswachstum, das speziell in LGE stattfindet. Im Jahr 1985 lebten weltweit in den Städten der LGE 41 % der Bevölkerung. Prognosen zufolge soll sich bis zum Jahr 2015 dieser Anteil um rund 60 % erhöhen. Der größte Zuwachs ist dabei in Slumgebieten zu verzeichnen. Vor allem in ärmeren Stadtteilen fehlt es meist an einer geordneten Abfallwirtschaft.

Migration in Städte sowie der Tourismus sind entscheidende Faktoren, die in die Kapazitätsplanung miteinkalkuliert werden müssen, allerdings oft schwer zu erheben sind (HANKO, 2009), da das Müllaufkommen aufgrund des Tourismus starken saisonalen Schwankungen unterlegen ist. Im Zuge der Migration kann sich auch die kulturelle Diversität ändern (SCHÜBELER et al., 1996).

### Umweltbewusstsein

Das achtlose Wegwerfen und Liegenlassen von Abfall auf öffentlichem Grund (*littering*) ist ein Problem, das nicht nur in LGE besteht. Die Förderung des Umweltbewusstseins verbessert das korrekte Wegwerfverhalten und forciert die sortenreine Trennung. Das Umweltbewusstsein hat seit den 1960ern und den Forschungen im Bereich Klimawandel globale Spuren hinterlassen, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß. Private als auch öffentliche Personen und Entscheidungsträger schenken der Abfallwirtschaft oft zu wenig Aufmerksamkeit, sobald der Abfall nicht mehr in Sichtweite ist (COFFEY und COAD, 2010).

## **2.4 Politische Faktoren**

Häufig mangelt es an klaren gesetzlichen Regelungen in LGE bei der Aufgabenzielsetzung, Kompetenzverteilung und Finanzierung. In der Regel herrscht eine geringe Beachtung oder auch eine Umgehung von Gesetzen und Vorschriften und es fehlt an fachkompetenten Behörden mit Durchsetzungskraft (NASSOUR, 2005).

### Gesetzgebung

Diese hat entscheidenden Einfluss auf die Abfallwirtschaft und ist die Schnittstelle zwischen Umweltbewusstsein und Zahlungsbereitschaft für abfallwirtschaftliche Technologien. Nachvollziehbare Sanktionsmaßnahmen spielen dabei eine wesentliche Rolle. Das Verursacherprinzip kann in vielen Ländern nicht angewandt werden, da es oft an der Exekution von Gesetzen und an Umweltbewusstsein fehlt (COFFEY und COAD, 2010).

### Recycling- und Reuseaktivitäten

Das Sammelsystem (getrennt oder gemischt), formelle sowie informelle Recyclingaktivitäten und die Reuse-Eigenschaften eines Altstoffes können ebenso die Abfallzusammensetzung sowie dessen Menge beeinflussen. Politische Programme, die diese Aktivitäten forcieren, können somit ein treibender Faktor für die Anschaffung der dazu benötigten Technologien sein. Dabei ist der Technologietransfer auf die Anpassung lokaler Rahmenbedingungen abzustimmen und die Technologien gegebenenfalls zu modifizieren (SCHNEEBERGER, 2007).

### Infrastruktur

Das Verkehrsnetz sowie das Energienetz sind in LGE oft gering ausgebaut oder überlastet. Des Weiteren mangelt es dadurch an einer gesicherten Ersatzteilversorgung. Dadurch sollte der Einsatz elektrischer oder treibstoffbasierender Technologien am jeweiligen Standort geprüft werden (NASSOUR, 2005).

### Finanzierung

In LGE wird oft ein bedeutender Teil des kommunalen Budgets für die Abfallwirtschaft ausgegeben (HÜTTNER und KEBEKUS, 2000). Die Finanzierung erfolgt meist durch allgemeine Steuereinnahmen. Diese Finanzierungsform stößt in einkommensschwachen Gebieten auf Grenzen und sorgt dadurch in der Regel für die illegale Entsorgung der Abfälle (NASSOUR, 2005). Laut HÜTTNER und KEBEKUS (2000) wird allerdings der Anteil des kommunalen Budgets nicht durch Gebühren sondern größtenteils durch Subventionen gedeckt. Eine mögliche Subventionierungsform ist beispielsweise der *Clean Development Mechanism* (CDM).

Dabei ist zu beobachten, dass die relativ hohen Kosten der Abfallwirtschaft in den meisten Fällen aufgrund mangelnder Effizienz sowie durch schlechtes Management verursacht werden. Vor allem die laufenden Betriebskosten sollten vor der Planung berücksichtigt werden. Die Investitionskosten sind in den meisten Fällen zu hoch, um von den Kommunen getragen zu werden. Hierbei ist die Kommune häufig auf Entwicklungshilfe angewiesen (NASSOUR, 2005).

Anstatt sich auf die Unterstützung finanzieller Mittel, Technologien und in Folge dessen auf die häufig vermeintliche Verbesserung der kommunalen Abfallwirtschaft aus (westlichen) Drittstaaten respektive LHE zu verlassen, führt in den meisten Fällen der Einsatz arbeitsintensiver Technologien und lokaler Möglichkeiten zu einer Verbesserung der Abfallwirtschaft in LGE (DIAZ et al. 2005).

## **3. Abfallsammlung und Transportmittel**

Die kommunale Abfallsammlung umfasst Abfallsammelsysteme, Umladestationen für Abfälle sowie den Abfalltransport. Sammlung und Transport der kommunalen Abfälle stellen die größte Herausforderung an das Budget einer Kommune dar (COFFEY und COAD, 2010). In LGE fließen rund 20 – 40 % des öffentlichen Budgets in die kommunale Abfallwirtschaft (ALAM et al. 2006), wobei rund 80 – 90 % für die Abfallsammlung und Transportmittel verbraucht werden (NASSOUR, 2005). Dennoch werden 30 – 60 % des Abfalls nicht gesammelt, wobei weniger als die Hälfte der Bevölkerung an ein kommunales Sammelsystem angeschlossen sind (UNEP, 2009).

Beispielsweise produzieren die 5 Mio. Einwohner Kalkuttas (Indien) 2.920 t Abfall pro Tag. Dies entspricht einer Abfallmenge von 0,632 kg/Kopf/Tag. Die totalen Kosten der Abfallwirtschaft belaufen sich auf EUR 31 Mio. wovon rund 70 % die Abfallsammlung, 25 % der Transport und 5 % die Entsorgung verbrauchen (HAZRA und GOEL, 2008).

Des Weiteren stellt dieser Bereich die Beschäftigungsgrundlage für bis zu 6 Arbeiter pro 1000 Einwohner dar (ALAM et al. 2006), wobei die durchschnittliche Produktivität eines Abfallsammlers bei 250 kg/Tag liegt (DIAZ et al., 2005). Die bereitgestellten finanziellen Mittel werden häufig zur Anschaffung inadäquater und ineffizienter Abfallsammeleinrichtungen verwendet. Die Abfallsammeltätigkeiten können ebenso als unzuverlässig und

ineffizient beschrieben werden (DIAZ et al., 2007). Die Gründe dafür liegen in vielen Fällen in falschen Anweisungen koordinierender Drittstaaten, welche eine gänzlich andere Abfallpolitik verfolgen und andere Abfallzusammensetzungen sowie ein anderes Sozialgefüge aufweisen als die Kommunen in LGE (COFFEY und COAD, 2010).

Die Straßen- und Siedlungsstrukturen sind bei der Planung eines angepassten Abfallsammelsystems zu berücksichtigen. Die Logistik und Technologien der Abfallsammlung in LGE sind in Abb. 1 schemenhaft dargestellt (ZHU et al., 2008):

1. Erzeugung des Hausmülls und dessen Sammlung auf Haushaltsebene oder kommunaler Ebene
2. Reuse und Recycling im Haushalt; dies beinhaltet auch die Kompostierung des organischen Abfalls oder dessen Verfütterung an Tiere in der Landwirtschaft
3. Primäre Abfallsammlung mit nicht-motorisierten und motorisierten Transportmitteln des Abfalls zu Umladestationen oder direkt zur Deponie oder Behandlungsanlage
4. Umladung des Abfalls an Umladestationen in der Regel von kleineren Kurzstreckenfahrzeugen auf Langstreckenfahrzeuge
5. Sekundäre Abfallsammlung in der Regel mit motorisierten Transportmitteln zur Abfalldeponie oder Behandlungsanlage

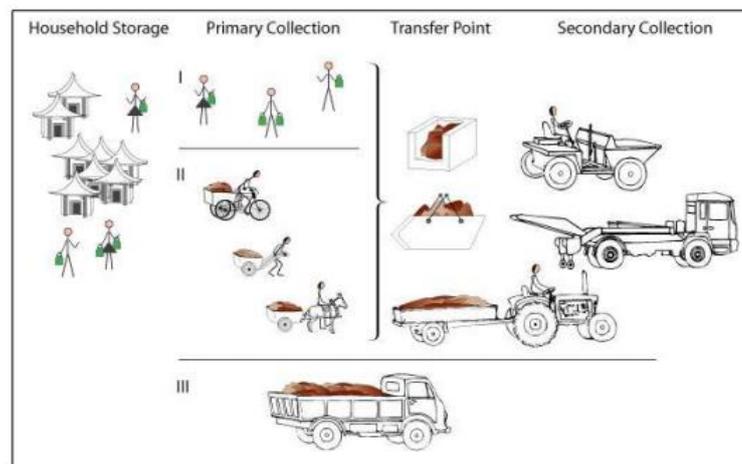


Abb. 1: Typische Elemente der kommunalen Abfallwirtschaft in LGE (nach ZURBRÜGG et al., 2010)

Um sich einen Überblick von den Abfall- und Materialflüssen einer Stadt oder eines abfallwirtschaftlichen Einzugsgebietes zu verschaffen, empfiehlt es sich nach dem ISWM ein *Process Flow Diagram* (PFD) zu erstellen (SCHEINBERG et al., 2010).

Das Volumen von Sammelgefäßen ist von der Abfallmenge, Anzahl der Einwohner innerhalb des Einzugsgebietes und dem Abfuhrintervall abhängig (DIAZ et al., 2005). Je nach Wahl des Behälters, müssen die Haushalte über dessen Handhabung informiert werden. Eine regelmäßige und verlässliche Müllabfuhr motiviert die Einwohner und erhöht die Abfallsammelquote (ROTHENBERGER et al., 2006).

Die Kooperation der Einwohner mit der Kommune und deren Partizipation in der Abfallentsorgung sind wichtige Erfolgskriterien für die Abfallsammlung. Die Bürger müssen über das Verbot und die Auswirkungen von *littering* geschult und informiert werden. In Folge dessen sollen sie zur getrennten Sammlung motiviert werden. Die Behälter für unterschiedliche Abfallfraktionen müssen dabei einheitlich gekennzeichnet werden (ZUH et al., 2008).

Vielorts ist die Motivation zu einer geordneten Entledigung der Abfälle nicht vorhanden. Beispielsweise erwartet sich die Mehrzahl der Bevölkerung Kairos die tägliche Abfallsammlung im Holsystem. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Einwohner abgeneigt sind ihren Abfall in der Öffentlichkeit zu transportieren oder mit diesen zu hantieren (COFFEY und COAD, 2010). Eine Einführung der Bürgerbeteiligung bei der Abfallsammlung und bei der Wahl geeigneter Sammelbehälter würde mehr Verantwortungsbewusstsein und Motivation schaffen (ZHU et al. 2008).

In Tab. 2 werden die Vor- und Nachteile der Hol- und Bringsysteme nach ZUH et al. (2008) dargestellt.

System	Vorteile	Nachteile
Holsystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bequemlichkeit für Benutzer</li> <li>+ Minimierung von <i>littering</i></li> <li>+ Reduzierung der Bringsysteme</li> <li>+ Getrenntsammlung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bindung der Abfallsammlung an die Abholfrequenz</li> <li>- kostenintensiv</li> </ul>
Bringsystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kostenextensiver als Holsystem</li> <li>+ 24-Stunden für Benutzer verfügbar</li> <li>+ Getrenntsammlung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problem der illegalen Deponierung, weil es die Benutzer als unbequem empfinden ihren Abfall zur Sammelstelle zu bringen</li> <li>- NIMBY – stößt auf Ablehnung der Anrainer</li> <li>- herumstreunende Tiere, Fliegen- und Geruchsprobleme</li> </ul>

Tab. 2: Vergleich Vor- und Nachteile der Hol- und Bringsysteme (nach ZUH et al. 2008)

In Lattakia (Syrien) werden die Abfälle in Containern und Fässern gesammelt und von der staatlichen Müllabfuhr entleert. Die Einwohner bringen die Abfälle in Kunststoffsäcken zu den Containern oder Abfallsammler holen die Abfälle im Holsystem ab. In schmalen Straßen fegen Straßenkehrer die Abfälle von der Straße und bringen diese zu den Containern. In manchen Vierteln verbrennen die Einwohner die Abfälle auf offener Straße oder in Fässern. Die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber den Containern ist gut, allerdings ist die Containerverteilung in einigen Fällen ungünstig und das Containervolumen nicht ausreichend. Am Abend sind oft alle Container voll und somit bilden sich zusätzliche Abfallhaufen rund um den Sammelbehälter. Die Anschaffungskosten pro Container variieren je nach verwendetem Material und können bis zu EUR 100 betragen. Untersuchungen ergaben, dass 70 % der Abfallbehälter voll oder überfüllt sind. Der Anteil an halbvollen Containern betrug rund 30 %. Die vorhandene Containeranzahl reicht damit nicht zur Sammlung aller Abfälle aus. Zusätzlich sind die Container häufig alt oder defekt. Die Entleerung ist schwierig wegen nicht passender, fehlender oder defekter Vorrichtungen am Abfallsammelfahrzeug. Manche Container stehen ungekennzeichnet auf den Straßen und stellen eine Gefahr für den Verkehr dar (NASSOUR, 2005).

### 3.1 Haushaltsnahe Abfallsammelbehälter

Die Einführung einer geordneten Abfallwirtschaft führt in der Regel zu größeren und widerstandsfähigeren Abfallsammelbehältern (COFFEY und COAD, 2010). Dabei ist zu erwähnen, dass das Ausführungsdesign der Behälter grundsätzlich den wirtschaftlichen Wohlstand eines Einzugsgebietes widerspiegelt. Die verschiedenen Arten umfassen Körbe, Kartonagen, Kunststoffsäcke sowie metallische Container respektive Container aus *High Density Polyethylen* (HDPE) (DIAZ et al., 2007). Dabei ist nach COFFEY und COAD (2010) folgendes zu beachten:

- die Menge an organischem Anteil beeinflusst aufgrund der Säurebildung beim Abbau der Organik die Anforderung an die Materialqualität von Sammelbehältern und Transportmitteln
- der Inertanteil im Abfall (Sand, Asche, Ton) führt zu einem abrasivem Verschleiß von Transportmitteln
- der (heiße) Ascheanteil, wenn Holz für die Essenzubereitung verwendet wird

In LGE sollten sofern möglich vor allem kostenextensive, von der Gemeinde verwaltete Abfallsammelbehälter in Betracht gezogen werden. Daher sollten vor allem geeignete, standardisierte und lokal verfügbare Materialien gewählt werden (SCHÜBELER et al., 1996). Nach DIAZ et al. (2005) stellt allerdings die Standardisierung der Behälter vor allem in dichtbesiedelten, armen Stadtteilen ein Problem dar und kann zum Ausschluss dieser von der geordneten Abfallsammlung führen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Behälter häufig für andere Zwecke verwendet oder je nach Materialqualität in manchen Fällen gestohlen werden. Allerdings führt eine Standardisierung der Behälter zur Maximierung der Produktivität bei der manuellen Abfallsammlung, wobei die physische Konstitution des Abfallsammelpersonals berücksichtigt werden muss.

Beim Design eines Behälters sollte auf den Wartungsaufwand und die Reparaturkomplexität sowie auf eine gesicherte Verfügbarkeit von Ersatzteilen geachtet werden. Die Privatisierung bei Wartung und Reparatur sollte aufgrund der Kosten- und Nutzenoptimierung berücksichtigt werden (DIAZ et al., 2005).

Klimatische Faktoren wie hohe Temperatur und Luftfeuchtigkeit begünstigen einen raschen Abbau des hohen organischen Anteils im Restmüll in Sammelbehältern. Dies mündet wiederum in unhygienischen Bedingungen (HAZRA und GOEL, 2008). Daher empfiehlt es sich in der Regel die Abfallsammelbehälter vor herumstreunenden Tieren und Geruchsbildung zu verschließen und auf eine regelmäßige Abfallsammlung zu achten (COFFEY und COAD, 2010). Allerdings führt die Demotivation der Einwohner zur Öffnung der Verschlussysteme häufig zu *littering* neben den Behältern (NASSOUR, 2005).

### 3.1.1 Temporäre Kunststoffsäcke aus LDPE

Temporäre Behältnisse wie Kartonagen und Kunststoffsäcke aus LDPE werden häufig als temporäre Abfallbehältnisse verwendet. Temporär bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Sammelbehälter nicht als solcher wiederverwendet wird. Der Vorteil von Kunststoffsäcken für die Abfallsammlung ist die einfache Handhabung für das Abfallsammelpersonal (COFFEY und COAD, 2010). Aufgrund der Materialzusammensetzung (LDPE) und der dünnen Wandstärke (UMWELTBUNDESAMT, 2011a), können Kunststoffsäcke einerseits leicht von herumstreunenden Tieren aufgerissen oder durch spitze Gegenstände sehr leicht zerrissen werden und das Sammelpersonal oder Fußgänger gefährden. (COFFEY und COAD, 2010).

Nicht geeignet sind sie in Gegenden, in denen mit Holz, Holzkohle oder ähnlichen Materialien gekocht wird. Die überbleibende Asche kann, falls sie heiß weggeworfen wird, die Säcke beschädigen wodurch der gesamte, meist nasse Inhalt ausfließt (COFFEY und COAD, 2010).

Vielerorts werden Kunststoffsäcke im Zuge von Lebensmitteleinkäufen oder ähnlichem kostenlos verteilt und stellen somit ein günstiges oder kostenloses Abfallsammelbehältnis dar (COFFEY und COAD, 2010). Müssen allerdings die Säcke gekauft werden, kann dies zu Engpässen im Haushaltsbudget einer Familie führen. Beispielsweise beträgt das jährliche Abfallbudget einer Familie in einem LGE rund EUR 15. Müssten die Säcke gekauft werden – 150 Säcke/Jahr zu einem Preis von rund EUR 0,10/Sack – wäre damit das jährliche Abfallbudget dieser Familie bereits nur für die Abfallsammlung in Kunststoffsäcken aufgebraucht (DIAZ et al., 2005). Eine zusätzliche Abfallgebühr könnte somit nicht mehr eingehoben werden.

Für die Beladung des Abfallsammeltransportmittels ist die Schüttkantenhöhe (COINTREAU, 1982) der Ladefläche entscheidend. Je nach Gewicht der vollen Säcke erschwert sich die Handhabung mit zunehmender Höhe der Schüttkante eines Abfallsammelfahrzeuges. Darüber hinaus sind Kunststoffsäcke nur bedingt oder nicht wetterfest (UMWELTBUNDESAMT, 2011a). Weitere Probleme ergeben sich vor allem beim Altstoffrecycling. Werden die Plastiksäcke mit Rotopressmüllfahrzeugen gesammelt (sh. Kap. 3.4.2.4) ist eine Handauslese des enthaltenen Glasanteils in der Regel nur mit einer Sortiertechnologie möglich. Darüber hinaus müssen die Säcke zusätzlich aufgerissen werden und erhöhen die Verletzungsgefahr des Sortierpersonals (COFFEY und COAD, 2010).

### 3.1.2 Permanente Behälter aus recycelten Materialien

Diese Behälter können im Gegensatz zu temporären Abfallbehältern für die Abfallsammlung wiederverwendet werden. Recycelte Behälter aus Altreifen mit Verschluss und einem Volumen von 30 bis 80 l sind eine waschbare, widerstandsfähige und kostengünstige Möglichkeit für die Abfallsammlung geringer Mengen. Je größer die Behälter sind, desto schwieriger werden deren Handhabung (COFFEY und COAD, 2010) und die manuelle Beladung des Abfallsammeltransportmittels. Werden die Behälter manuell geleert, sollten diese nicht mehr als 50 – 60 l aufweisen. Die Abfalldichte muss hierbei berücksichtigt werden.

Die Einführung einer organisierten Abfallsammlung führt in der Regel zum Einsatz von stabileren und widerstandsfähigeren Sammelbehältern, wie beispielsweise 100 – 200 l Ölfässern aus Metall, recycelten Reifenmänneln oder verzinkten Kübeln (sh. Abb. 2).



Abb. 2: Beispiele für permanente Sammelbehälter (nach COFFEY und COAD, 2010)

Ölfässer als Abfallbehältnis mit einem Volumen von 200 l können ohne Rollen nicht mehr manuell bewegt und in ein Abfallsammelfahrzeug entleert werden. Dadurch werden diese in der Regel umgekippt um anschließend

den Inhalt arbeits- und zeitintensiv auf ein Transportmittel zu schaufeln. Dieser Prozess ist darüber hinaus unhygienisch, unproduktiv und wird in den meisten Fällen unvollständig ausgeführt (COFFEY und COAD, 2010).

Die Form der Behälter ist für eine effiziente Abfallsammlung von großer Bedeutung. Um das Gewicht zu reduzieren werden Ölfässer horizontal gekürzt. Durch die unachtsame Hantierung können die Gefäße eine zylindrische Form annehmen, wodurch Abfallreste im Behälter zurückbleiben. Durch den Abbau der organischen Substanz und der Bildung von Säuren korrodieren die Behälter im Laufe der Zeit. Im Zuge der Beschädigungen am Behälterrand können auch spitze Kanten entstehen und diese das Sammelpersonal gefährden. Daher sollten die Ränder abgerundet sowie die Behälter durch Legierungen oder ähnlichem stabilisiert werden (COFFEY und COAD, 2010).

Allerdings ist hier zu beachten, dass je höherwertiger die Behälterausführung ist, desto öfter werden diese gestohlen oder für die Gewinnung recycelbarer Materialien demoliert. Verzinkte Container aus Kunststoff mit Verschlussystemen werden oft in Gegenden mit mittlerem bis hohem Einkommensniveau eingesetzt. Aufgrund ihrer höherwertigen Ausführung werden diese allerdings häufig gestohlen (UNCHS, 1988).

## 3.2 Kommunale Abfallsammelstellen

Kommunale Abfallsammelstellen werden entweder direkt vom Abfallerzeuger oder im Zuge der primären Abfallsammlung mit verschiedenen Transportmitteln (sh. Kap. 3.4) gefüllt. Diese Sammelsysteme eignen sich für dicht besiedelte Gebiete mit Einfamilienhaushalten oder Wohnungsanlagen (COFFEY und COAD, 2010). Das Design einer kommunalen Sammelstelle muss aufgrund des hohen organischen Anteils im Abfall die klimatischen Bedingungen berücksichtigen und wenn nötig mit einem Verschluss ausgestattet sein (DIAZ et al., 2005).

Die Verwendung einer kommunalen Sammelstelle kann zur Kostenreduzierung in der Abfallsammlung führen (DIAZ et al., 2007). COLLIVIGNARELLI und VACCARI (2007) verglichen in Louga (Senegal) die Eignung eines Hol- und Bringsystems für die kommunale Abfallsammlung. Im Bringsystem würden 660 l und 100 l Container sowie vier Hinter- oder Seitenlader mit einer Beladungskapazität von je 14 m<sup>3</sup> zum Einsatz kommen und eine Investitionssumme von EUR 360.000 benötigen. Diese Variante birgt allerdings Nachteile, da unter anderem in einigen Stadtteilen die Straßen zu eng wären und die LKWs aufgrund der lokalen Gegebenheiten, wie trockenem Klima, staubigen Straßen und hohem Sandanteil im Abfall sehr wartungsintensiv wären.

Bei der Holsystem-Variante bilden zwei Abfallsammler mit einem Maultierkarren mit einer Beladungskapazität von 2 m<sup>3</sup> ein Team, das 8 h/Tag arbeitet und dabei 8 m<sup>3</sup> Abfall/Tag sammeln könnte. Der Abfall wird anschließend in Wechselcontainer an einer Abfallumladestation in einen Absetzkipper mit einer Beladungskapazität von 10 m<sup>3</sup> umgeleert. Um die gesamte Stadt zu versorgen wären 20 Umladestationen sowie 6 Fahrten pro LKW notwendig. In diesem Beispiel würde der Investitionsaufwand rund EUR 205.000 betragen und somit die Kosten des Bringsystems unterschreiten (COLLIVIGNARELLI und VACCARI, 2007).

Folgende Probleme, die häufig bei kommunalen Sammelstellen auftreten, werden im Überblick nach DIAZ et al. (2007) erläutert:

- zeitaufwändige und schwierige Beförderung des Abfalls vom Container zum Abfallsammelfahrzeug
- die Inbrandsetzung oder Abfalldeponierung rund um den Container aufgrund ungeeigneter Größe der Container oder unregelmäßiger Abfallsammlung
- Zugriffsmöglichkeit des informellen Sektors auf Wertstoffe

### 3.2.1 Abfallsammelbunker

Die Wände von Abfallsammelbunkern können aus Holz, gewölbtem Blech, Ziegel oder Beton bestehen und mit einem Dach oder ähnlichem Verschluss abgeschlossen werden. Die Einhausung schützt den Abfall vor Wind und verbirgt die Sicht auf selbigen. Die Kapazität liegt bei 1 bis 10 m<sup>3</sup> und kann je nach Größe für ein Einzugsgebiet von rund 2000 Personen geeignet sein. Diese Systeme sind grundsätzlich entlang von Straßenrändern oder an Grenzen offener Flächen zu errichten. Der Abfall kann entweder durch Wandöffnungen oder über die Wände in den Bunker geworfen werden. Bei letzter Variante muss die Höhe der Wände berücksichtigt werden. DIAZ et al. (2005) nennen hierbei eine maximale Wandhöhe von 1,2 bis 1,5 m, um eine ordentliche Entledigung des Abfalls zu gewährleisten. Durch die gleichen Öffnungen ladet anschließend das Sammelpersonal mit Schaufeln oder ähnlichem den Abfall vom Bunker auf ein Transportmittel.

In Abb. 3 ist ein Bunkersystem dargestellt. Schlecht ausgeführte und gewartete Bunkersysteme verursachen Geruchs- und Hygieneprobleme. Aufgrund der langsamen aufwändigen Räumung mit Schaufeln oder Mistga-

beln resultiert dies in einer schlechten Auslastungsgrad von kostenintensiven Transportmitteln (COFFEY und COAD, 2010).



Abb. 3: Abfallsammelbunker (nach COFFEY und COAD, 2010)

COFFEY (2006) untersuchte kommunale Bunkersysteme in drei Städten Ugandas und kam zu dem Ergebnis, dass diese weder hygienisch noch wirtschaftlich sind. Im Folgenden werden die Probleme erläutert:

- Die Räumung und anschließende Beladung auf die Sammelfahrzeuge ist ein sehr zeitintensiver und ineffizienter Prozess. Dazu werden beispielsweise Mistgabeln verwendet und die Räumung dauert je nach Größe 1,5 – 2 Stunden pro Bunker.
- Die Bunker werden nur unvollständig geräumt. Der zurückbleibende Abfall dient als Lebensraum für Schaben, Fliegen etc. Die unvollständige Räumung wirkt sich auch auf die benötigte Beladungskapazität des Transportmittels aus und kann zu Fehllanschaftungen in diesem Bereich führen.
- Der zurückbleibende organische Abfall führt zu Geruchsproblemen. In manchen Fällen zünden die Anrainer die Bunker an, um die störenden Gerüche zu beseitigen. Die daraus resultierenden toxischen Dämpfe verwandeln das Geruchsproblem in ein Gesundheitsproblem.

Als Lösung sollten die Bunker mindestens jeden zweiten Tag vollständig geräumt werden. Kommunale Wechselcontainer, die von motorisierten Sammelfahrzeugen aufgeladen und ausgetauscht werden, können eine mögliche Alternative sein, um die oben erwähnten Probleme zu beseitigen. Hierbei sind allerdings auch auf kurze Entleerungsintervalle sowie deren gründlichen Reinigung zu achten (COFFEY, 2006).

### 3.2.2 Kommunale Wechselcontainer

Bei diesem System wird der vollbeladene Container auf ein Sammelfahrzeug geladen und gegen einen leeren ausgetauscht. Der volle Container wird anschließend zu einer Behandlungsanlage oder Deponie transportiert (COFFEY und COAD, 2010). Es können Abroll-, Absetz- und Pressmüllcontainer (mit festgekoppelter oder abgekoppelten stationären Presse) voneinander unterschieden werden (MARTIN, 2009). Fahrzeuge für das Wechselbehälterverfahren sind zum Auf- und Abladen der Container mit fahrzeugeigenen Hub- und Absetzkippsystemen, Abrollkippsystemen mit Hakenaufnahme oder Abgleitsystemen mit Seilzug ausgestattet (NASSOUR, 2005).

Die Transportmittelauslastung ist dabei sehr effizient, da die Austauschzeit der Behälter sehr schnell von staten geht. Voraussetzung dafür sind spezielle und funktionierende Vorrichtungen am Fahrzeug für das Auf- und Entladen der Container. Die Produktivität ist von der zu transportierenden Abfallmenge abhängig. In einigen Fällen werden allerdings nur halbvolle Container transportiert (COFFEY und COAD, 2010).

Die Informationsbereitstellung über das Abfallentsorgungssystem ist ein Schlüsselkriterium für den Erfolg von Wechselbehältern. Beispielsweise wurden in Katmandu rund 500 Wechselcontainer für die Abfallsammlung aufgestellt. Der Abfall wird von den Einwohnern neben den Containern entsorgt oder in Kunststoffsäcken gesammelt auf dem ungeöffneten Container platziert. Der Grund liegt in der fehlenden Information und Schulung der Einwohner, da diese nicht daran gewöhnt sind, ihren Abfall in Container zu werfen (THE KATHMANDU POST, 2009).

Wenn die Klappen für den Einwurf zerstört sind (DIAZ et al., 2005) oder unachtsam offen stehen gelassen werden (STERKELE und ZURBRÜGG, 2003) kann der gesamte Inhalt aus dem Container fließen. Dieser Ausfluss ermutigt dann die Einwohner in der Regel den Abfall neben die Container zu werfen (DIAZ et al., 2005). Beispielsweise werden in Dharamsala (Indien) die Container laut den dortigen Ladenbesitzern sowie eines Besitzers einer öffentlichen Toilette ein bis zweimal pro Woche von Abfallsammelfahrzeugen entleert. Die Klappen der Container werden entweder unachtsam offen gelassen oder sind beschädigt und werden nicht repariert. Viele Menschen werfen dann aus der Ferne ihren Abfall zu den Containern, wovon sich anschließend herumstreunende Tiere ernähren. Darüber hinaus wird die wilde Abfalldeponierung neben den Containern aufgrund der Geruchsbelästigung von den Anrainern entzündet (STERKELE und ZURBRÜGG, 2003) und gefährdet somit die Gesundheit dieser und verursacht Umweltschäden.

In den meisten Fällen werden die angebrachten Dreh- oder Schiebedeckel nicht so genützt, wie es vorgesehen ist. Für Kinder sind sie zu hoch angebracht oder zu schwer zu öffnen und für andere wirken sie zu schmutzig. Des Weiteren motivieren geschlossene Deckel ebenfalls zur Abfallablagerung neben dem Container (COFFEY und COAD, 2010).

In Abb. 4 sind Beispiele von Wechselcontainern in LGE dargestellt. Diese variieren nach Fassungsvermögen, Abdeckungen und Verschlussmechanismen. Auch Traktoranhänger sind in einigen Ländern für Wechselcontainer geeignet (COFFEY und COAD, 2010) und werden in Kap. 3.4.2.2 näher beleuchtet.

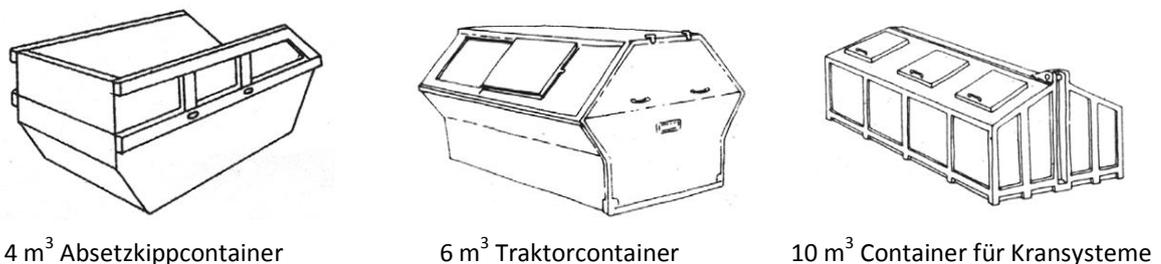


Abb. 4: Beispiele für Wechselcontainer (nach COFFEY und COAD, 2010)

Eine Voraussetzung für die Standorteignung von Wechselcontainern ist der benötigte Platz für das Abfallsammelfahrzeug. Der Untergrund sollte soweit befestigt sein, dass der Wechselcontainer bei voller Befüllung nicht einsinkt (UMWELTBUNDESAMT, 2011b).

In Städten in Kenia am Victoriasee wurden Absetzkipper für das Wechselbehälterverfahren erfolgreich eingeführt. Diese können einerseits 4 m<sup>3</sup> kommunale Abfallcontainer und 8 m<sup>3</sup> Umladecontainer aufladen, transportieren und wieder abladen. Die 4 m<sup>3</sup> Container werden bei 75 %-igen Befüllungsgrad abgeholt. Die spezielle Hochkippvorrichtung ermöglicht es den Inhalt in größere 8 m<sup>3</sup> Container an Umladestationen umzuleeren. Dieser Wechselprozess ermöglicht es die Rundfahrten auf ein Drittel zu reduzieren und somit Treibstoffkosten zu sparen (COFFEY, 2006).

Wechselcontainer können in Depots zusammengefasst werden. Diese werden meist am Rande dichtbesiedelter Gebiete errichtet. Ein Vorteil der Depots ist die mögliche Überdachung und somit Schutz der Sammler und des Abfalls vor Regen und sonstigen Wetterereignissen. Depots können mit Sicherheitspersonal ausgestattet werden, wodurch die Zugriffsmöglichkeit des informellen Sektors kontrolliert werden kann. Probleme treten beim Finden des geeigneten Standortes auf, da der Anlagenumfang sehr großflächig zu planen ist und die Zufahrtsstraßen für breite Fahrzeuge ausgelegt sein sollten. Dadurch kann der Standort sehr kostspielig sein (DIAZ et al., 2005).

Die Anzahl der Depots ist von der Stadtfläche und Einwohnerzahl abhängig. In dichtbesiedelten Gebieten sollte für 5.000 – 10.000 Einwohner ein Containerdepot aufgebaut werden. Je nach Einzugsgebiet muss das Fassungsvermögen des Containers angepasst werden. Wird der Abfall mit Handkarren (sh. 3.4.1.1) angeliefert, sollten Depots in einem Radius von 250 m errichtet werden (ZHU et al., 2008).

Häufig fehlt allerdings das benötigte und geeignete Transportmittel für das Wechselcontainerverfahren in LGE, oder die Zufahrtsstraßen sind zu eng für LKWs bemessen. Der Abfall muss dadurch aus den Containern geschaufelt werden um ihn dann beispielsweise mit Körben auf das Transportfahrzeug zu leeren. Dies ist eine für die Arbeiter eine sehr unhygienische Arbeitsweise (DIAZ et al., 2005).

Wird der Abfall getrennt gesammelt, müssen auch separate Container, vor allem für recycelbare Materialien, aufgestellt werden. Angepasste Abfalldepots sind nach ZHU et al. (2008):

- gut erreichbar (Radius 250 m)
- einfach in der Handhabung für den Weitertransport
- leicht zu reinigen
- kontrollierte Zugriffsmöglichkeit vom informellen Sektor und von Tieren

In Bamako (Mali) gibt es 36 Depots, wovon nur 14 in Verwendung sind. Lediglich ein System ist voll funktionsfähig. Die ungenutzten Depots werden entweder als öffentliche Flächen oder als Wohngelegenheit von Obdachlosen genutzt (SCHEINBERG et al., 2010).

### 3.3 Abfallumladestationen

An Umladestationen erfolgt das Umladen von Abfällen für gewöhnlich aus (kleineren) Kurzstreckensammel-fahrzeugen in (größere) Ferntransportmittel mit oder ohne Verpressung der Abfälle (UMWELTBUNDESAMT, 2011c). In LGE wird der Abfall in der Regel mit nicht- oder motorisierten Kurzstreckentransportmitteln angelie-fert. Danach wird dieser mit oder ohne Verpressung auf größere Fahrzeuge geladen, um ihn anschließend zur Behandlungsanlage oder Deponie zu bringen (UNEP, 1996).

Die Wahl einer Abfallverpressungsmethode ist von der Abfalldichte und dem Wassergehalt des Abfalls abhän-gig. Beispielsweise wird bei der stationären Verpressung der Abfall mit Hilfe einer hydraulischen Maschine verpresst (COFFEY und COAD, 2010). Des Weiteren kann die Verpressung des Abfalls im Container selbst erfol-gen (COINTREAU, s. a.) oder innerhalb eines Pressmüllfahrzeuges (DIAZ et al., 2005). In LGE, in denen der Abfall eine hohe Dichte aufweist, ist ein integriertes Verpressungssystem im Container nicht sinnvoll. Das zusätzliche Gewicht wirkt sich darüber hinaus negativ auf die Beladung des Transportmittels aus und kann zu einer Überla-dung führen. Grundsätzlich ist die Notwendigkeit einer Verpressungsanlage bei der Umladestation zu überbedenken, sollte eine effiziente Abfallsammlung auch ohne diese Technik umsetzbar sein (COFFEY und COAD, 2010).

Der Standort einer Umladestation sollte eine gute wetterunabhängige Zugänglichkeit für die Abfallsammler aufweisen und nahe am Abfallaufkommensschwerpunkt des Entsorgungsgebietes gelegen sein (UMWELTBUN-DESAMT, 2011c). Je größer die Entfernung der Umladestation zum Abfallaufkommensschwerpunkt ist, desto häufiger überladen die primären Abfallsammler ihr Transportmittel, um die Fahrten zu sowie Wartezeiten an den Umladestationen zu verkürzen. Dadurch werden diese instabil und schadensanfälliger und erhöhen den Kraftaufwand um den Karren zu schieben (ROUSE und ALI, 2002).

Nach NASSOUR (2005) und COINTREAU (1982) empfiehlt es sich eine Umladestation zu errichten, wenn die Transportstrecke zur Deponie oder Abfallbehandlungsanlage zwischen 20 und 100 km beträgt oder die einfache Fahrzeit zur selbigen mehr als 30 Minuten in Anspruch nehmen würde.

Die Koordinierung der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge stellt hohe Ansprüche an die Anlagenkapazitäten-planung und an die Abfalllagerungsmöglichkeiten. Vor allem die Nutzung der Umladestation ist über den Tag verteilt sehr heterogen. In Abb. 5 ist die Anzahl der ankommenden Fahrzeuge innerhalb eines Tages an einer Umladestation in Mexico City (Mexiko) dargestellt. Im Durchschnitt trifft der Großteil der Sammelfahrzeuge alle 2 – 3 Stunden ein. Von 9:00 Uhr bis 13:00 Uhr treffen rund 50 Sammelfahrzeuge gleichzeitig ein, wobei diese Anzahl im Laufe des Tages kontinuierlich abnimmt. Die daraus resultierenden Wartezeiten können das Problem der Überladung von primären Abfallsammelfahrzeugen – wie weiter oben und in Kap. 3.4.1.1 erwähnt – mit sich bringen (DIAZ et al., 2005).

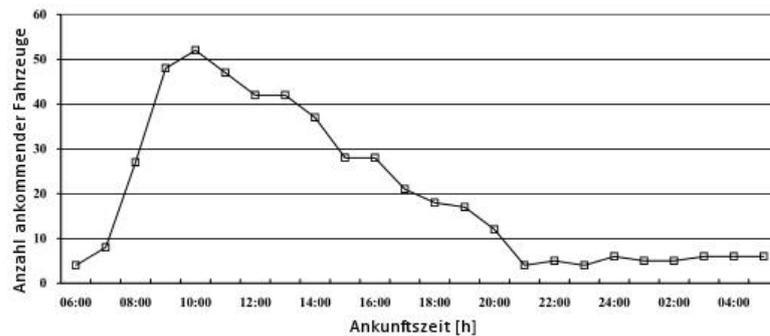


Abb. 5: Frequenz der ankommenden Fahrzeuge einer Umladestation (nach DIAZ et al., 2005)

Des Weiteren ist die Siedlungsdichte ein wichtiges Kriterium für das Anlagendesign. Ist diese hoch, können kleinere Kurzstreckenfahrzeuge wie beispielsweise Handkarren eingesetzt werden. Bei niedrigen Siedlungsdichten können Langstreckenfahrzeuge wie LKWs verwendet werden (ROUSE und ALI, 2002). Dabei ist die Akzeptanz der umliegenden Bewohner einer Umladestation entscheidend. Geruchsprobleme, Lärm, Sickerwasser und ein erhöhtes Verkehrsaufkommen können diese Akzeptanz mindern (UNEP, 1996).

Beispielsweise wurde in Khulna (Bangladesch) ein Rampensystem mit Wechselcontainern errichtet. In dieser Stadt ist dieses System erfolgreich, da es eine kleine Stadt mit niedriger Bevölkerungsdichte ist. Anders ist dies in Delhi (Indien). Dort wurde dasselbe System vorgeschlagen, allerdings von der Kommune abgelehnt, da nicht genügend Platz dafür vorhanden war (ROUSE und ALI, 2002).

Eine Umladestation kann sich des Weiteren positiv auf das Gesamtbild einer Stadt und auf die Umweltbewusstseinsbildung der Einwohner auswirken. Beispielsweise war es für die Einwohner in Surabaya (Indonesien) wichtig zu sehen, dass eine regelmäßig bemannte Umladestation existiert. Das Vorhandensein des Arbeitspersonals bewirkte einerseits eine strukturiertere Arbeit der primären Abfallsammler, reduzierte die Wartezeiten an der Umladestation und demonstrierte den Anrainern eine geordnete Abfallwirtschaft (COINTREAU, 1982). Wird zusätzlich Sicherheitspersonal eingestellt, kann dieses einerseits Gebühren für die Abfallsammlung erheben und andererseits die illegale Abfallablagerung kontrollieren und verhindern (SCHEINBERG et al., 2010).

Darüber hinaus empfiehlt es sich bei Umladestationen eine Wertstoffauslese zu integrieren. Eine Integrierung dessen kann sich je nach Wertstoffausleseprozess positiv auf die variablen Kosten einer Umladestationen auswirken, da sich aufgrund der reduzierten Abfallmenge die Transportkosten reduzieren (DIAZ et al., 2005). Dabei sollte ebenfalls die Notwendigkeit einer Abfallverpressung überlegt werden, da diese eine nachträgliche Abfalltrennung (UMWELTBUNDESAMT, 2011c).

Das Fehlen von Umladestationen führt vielerorts zur wilden Deponierung der Abfälle (USAID und ICMA, 2006). Allerdings gibt es auch Beispiele, bei denen Umladestationen nicht notwendig sind. Beispielsweise, wenn es die lokalen Rahmenbedingungen zulassen, dass größere Abfallsammelfahrzeuge den Abfall direkt vom Erzeuger zu einer nahe gelegenen Deponie oder Behandlungsanlage bringen könnten (COFFEY und COAD 2010).

In der folgenden Tab. 3 werden ökologische und gesundheitliche Vor- und Nachteile einer Umladestation nach UNEP (1996) zusammengefasst.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Reduzierung von Luftemissionen (z.B. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>) und des Treibstoffverbrauchs</li> <li>+ Abfallsortierung und Wertstoffauslese möglich</li> <li>+ dadurch Separierung der Wertstofffraktion und im Zuge dessen geringer Treibstoffverbrauch</li> <li>+ Der informelle Sektor kann bei seiner Tätigkeit überwacht werden</li> <li>+ Verringerung der zu deponierenden Menge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zu Nahe an der Bevölkerung gelegene Umladestationen wirken sich schlecht auf deren Akzeptanz aus (Lärm, Gerüche,...)</li> <li>- ohne ausreichende Überwachung der Station, wird der Standort häufig als illegale Deponie verwendet</li> </ul>

Tab. 3: Ökologische und gesundheitliche Aspekte einer Umladestation (nach UNEP, 1996)

Neben den folgenden Beispielen von Umladestationen in LGE gibt es auch Liftsysteme. In Da Nang (Vietnam) wurde ein Liftsystem entwickelt, womit die Handkarren auf eine höhere Ebene gebracht werden um den Abfall anschließend mittels Schwerkraft in einen Container zu leeren (COFFEY und COAD, 2010). Die Container kön-

nen entweder am Boden stationär oder wechselbar sowie am sekundären Abfallsammelfahrzeug befestigt sein (DIAZ et al., 2005). Zusätzlich kann eine elektronische Waage installiert werden, um den Abfall beim Eingang zu wiegen, um die Umladungen zu optimieren und eine Überladung der Transportmittel zu verhindern (SCHEINBERG et al., 2010).

### 3.3.1 Umladestationen mit Rampensystem

Diese Methode ist eine zweistufige Gliederung der Abfallumladung, bei welchem das primäre Abfallsammelfahrzeug (zB Handkarren) über eine Rampe auf eine erhöhte Ebene hinaufgeschoben wird, um den Abfall mit Hilfe der Schwerkraft direkt in einen darunter stehenden Container größerer Kapazität zu kippen. Alternativ können hierzu auch Förderbänder eingesetzt werden (DIAZ et al., 2005). Somit können diese Systeme mit nicht motorisierten als auch mit motorisierten Abfallsammeltransportmittel kombiniert werden (BELLA, 2010).

Für den erfolgreichen Betrieb wird kein gut ausgebildetes Personal benötigt und es fallen aufgrund der geringen/nicht-mechanisierten Bauweise geringe Wartungskosten an (COINTREAU, 1982). Des Weiteren ist die physische Konstitution der primären Abfallsammler zu berücksichtigen, da einen vollbeladenen Handkarren eine Rampe hochzuschieben problematisch sein kann (ROUSE und ALI, 2002).

In Hargeysa (Somalia) sollte eine Umladestation mit Rampensystem errichtet werden. In der Planungsphase wurde das Design und die Standortwahl nach folgenden Kriterien ausgewählt (BELLA, 2010):

- nahe bereits existierender Abfallsammelzentren
- neben offenen Kanalsystemen, um die wilde Deponierung in diese zu vermeiden
- minimaler Zeitaufwand der Umladung von Hand- und Eselskarren auf motorisierte Abfallsammeltransportmittel
- größtmögliche Minimierung des direkten Kontakts des Sammelpersonals mit Abfall
- Einhausung aufgrund Abfallverwehungen und Regenwasserakkumulation

Das Design wurde anschließend mit Hilfe von lokalen Technikern ausgewählt und wird erfolgreich betrieben. Es wurde ein betonierter Bunker mit 3 m Länge, 4 m Breite sowie 1,2 m Höhe mit einer Kapazität von 3 t errichtet. An einer Seite ist eine Rampe mit 8° Neigung angebracht. Am Ende dieser Rampe befindet sich eine verschließbare Öffnung, um den Abfall hineinzukippen. Der Boden dieses Bunkers ist auf der selben Höhe wie die Beladungsfläche des sekundären Transportmittels. Dazu wurde auf der anderen Seite des Systems eine Holzplatte angebracht, die horizontal geöffnet werden kann um den Abfall auf das weggehende motorisierte Transportmittel zu schaufeln (sh Abb. 6) (BELLA, 2010).

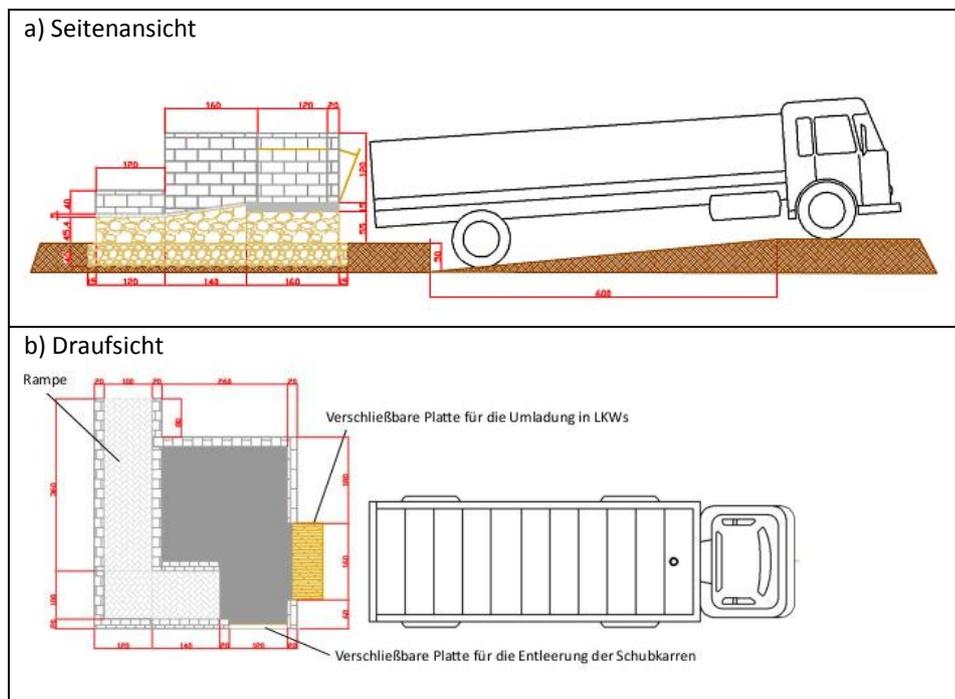


Abb. 6: a) Seiten- und b) Draufsicht der Umladestation mit Rampe in Hargeysa (nach BELLA, 2010)

### 3.3.2 Case Study: Umladestation mit Wechselcontainern und hydraulischem Kransystem – *Chinese-style Transferstation*

In China wurde eine Umladestation entwickelt und bereits in anderen Städten Ägyptens, Vietnams und Nicaraguas erfolgreich eingeführt und trägt die Bezeichnung *Chinese-style Transferstation*. Diese Umladestation verfügt über eine tägliche Abfallkapazität von 120 t. Aufgrund der kleinen Dimension von 26 m x 10 m ist diese laut SCHEINBERG et al. (2010) für dichtbesiedelte Stadtteile geeignet. Die Investitionskosten betragen rund EUR 80.000 (COFFEY und COAD, 2010).

Zuerst wird der Abfall mittels Handkarren angeliefert und in Wechselcontainern, welche im Boden eingebettet sind, mit Kraftaufwand des Sammelpersonals in die Behälter gekippt (sh. Abb. 7). Die vollen Container werden mit Hilfe eines hydraulischen Krans aus der Bodeneinlassung herausgehoben und können entweder übereinander gestapelt oder sofort auf das Ferntransportmittel gehoben werden. Für diesen zeiteffizienten Vorgang wird ein auf das Kransystem eingeschultes Personal benötigt (COAD, 1997).

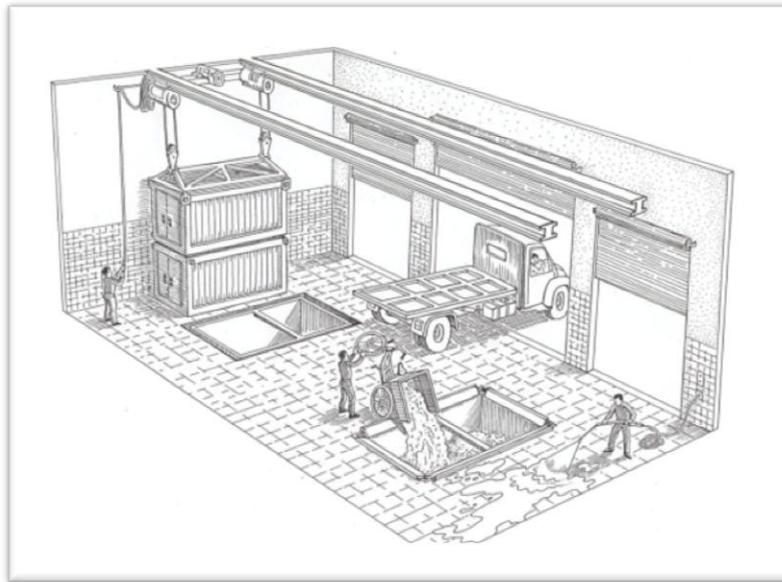


Abb. 7: *Chinese-style Transferstation* (nach COAD, 1997)

Die Vorteile dieses Systems werden im Folgenden nach COFFEY und COAD, 2010 erläutert:

- Standort nahe der Abfallentstehung oder unterhalb von größeren Wohnkomplexen möglich
- geringer Platzbedarf
- Reduzierung der Transportdistanz des primären Abfallsammelfahrzeuges
- Geeignet für kleine kostengünstige Kurzstreckenfahrzeuge
- geringer Kontakt mit Abfall bei der Umladung
- die Kapazität der Container ist an die Nutzlast des Ferntransportmittels angepasst
- der Abfall wird mit Hilfe einer elektronischen Waage beim Eingang gewogen. Dadurch können auch die primären Abfallsammler nach ihrem Arbeitsaufwand entsprechend entlohnt werden.
- mit dem stationären einfachen Kransystem können die Container kosten- und zeiteffizient aus dem Boden gehoben und auf den LKW geladen werden.
- eine tägliche Reinigung vorausgesetzt ist dieses System sehr hygienisch und geruchsarm.

### 3.4 Transportmittel

Jeder Transportprozess ist mit hohen Fixkosten und variablen Kosten verbunden und beeinflusst somit die Wirtschaftlichkeit des gesamten abfallwirtschaftlichen Systems (NASSOUR, 2005). Von den Ausgaben in die kommunale Abfallwirtschaft fließen 70 – 80 % direkt in die Abfallsammlung und den Transport (UNCHS, 1988). Demzufolge sollte sich eine effiziente Abfallwirtschaft die Kostenreduzierung in diesen Bereichen als Ziel setzen. Um dies zu erreichen sollte nach COFFEY und COAD (2010) darauf geachtet werden, dass

- ein Stakeholderdialog im Entscheidungsprozess stattfindet,

- sich die benötigten abfallwirtschaftlichen Transportmittel nach der Abfallzusammensetzung und Abfallmenge orientieren,
- die Kapazität der Transportmittel mit den anschließenden Anlagenkapazitäten korrelieren
- sowie Treibstoffkosten, verschiedene soziale und kulturelle Aspekte berücksichtigt werden.

Ergänzend dazu bezieht sich PORTER (2002) auf folgende Ursachen für das Scheitern fehlgeschlagener Projekte in LGE: hohe Anschaffungskosten, ungeeignete Beladungskapazitäten, schlechte Bauweise, komplexes Design, geringe Reparaturkapazitäten, schlecht geplante Mittelbereitstellung von Hilfsorganisationen sowie ungenügende finanzielle Mittel für Reparatur und Treibstoff.

Die Wahl eines geeigneten Abfallsammelfahrzeuges für ein spezifisches Sammelgebiet ist eine wichtige Aufgabe (ROTHENBERGER et al., 2006) und ist Voraussetzung für eine effiziente Abfallsammlung (IMAM et al., 2007). Nach UNCHS (1988) empfiehlt es sich Transportmittel für die Abfallwirtschaft zu wählen, welche für gewöhnlich in anderen Bereichen bereits eingesetzt werden. Dadurch muss eine Technik nicht neu eingeführt werden, sondern kann besser mit lokalem Know-How und Mitteln für die jeweilige Situation modelliert werden. Darüber hinaus kann sich dies positiv auf die Verfügbarkeit von Ersatzteilen auswirken.

Das Design und der Mechanisierungsgrad des Transportmittels beeinflussen die Effizienz der Abfallsammlung sowie die Sicherheit des Sammlers. Daher sollte die Wahl eines geeigneten Abfalltransportmittels nach ROUSE und ALI (2002), ROTHENBERGER et al. (2006) und IMAM et al. (2007) folgende lokale Rahmenbedingungen berücksichtigen:

- Straßenbedingungen und Siedlungsstruktur: zB Straßenbreite, Untergrund, Verkehrsaufkommen, Siedlungsdichte, Einzugsgebiet
- Abfallzusammensetzung
- Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen am lokalen Markt; vor allem leicht abnutzbare Teile wie Räder sowie Radlager sollten gut und schnell verfügbar sein.
- Die körperliche Konstitution des Abfallsammlers; vor allem bei nicht-motorisierten Transportmitteln.
- In Gebieten mit Getrenntsammlung sollten die Fahrzeuge nach den getrennten Fraktionen unterteilt werden
- Die Transportstrecke zur nächsten Transferstation, Behandlungsanlage oder Deponie
- Die jeweilige zuständige Sammelinstitution – öffentlich, privat oder gemeinschaftsbasierten Sammlung

Werden die Abfallsammelfahrzeuge manuell beladen, sollte die Schütthöhe des Transportmittels nicht höher als 1,5 m sein (COINTREAU, 1982). Dabei ist es wichtig zu wissen, dass die manuelle Beladung mit Schaufeln oder ähnlichem den Abfall mit Sauerstoff durchmischt und dies die Abfalldichte reduziert (COFFEY und COAD, 2010). Darüber hinaus sollte die Ladefläche während der Fahrt verschleißbar sein, um den Abfall vor Verwehungen oder zusätzlichem Wassereintrag durch Regen zu schützen (ROTHENBERGER et al, 2006).

Nach DIAZ et al. (2005) streben die Kommunen in LGE eine Standardisierung der Abfallsammelfahrzeuge an. Dies soll zu einer kosteneffizienten Wartung und Betriebsführung führen. Jedoch mündet eine Standardisierung der Transportmittel häufig in den Ausschluss von Stadtteilen mit dichten Siedlungsstrukturen, in denen vorrangig Einwohner mit niedrigem Einkommensniveau leben. Da allerdings für gewöhnlich das standardisierte Design an dünnbesiedelte Strukturen angepasst ist, kann der Großteil der Bevölkerung eines LGE nicht von einer geordneten Abfallsammlung profitieren. Vielmehr sollte die Wahl auf höherwertige Fahrzeuge fallen, da diese laut ROUSE und ALI (2002) schadensresistenter sind und auf lange Sicht die Wartungskosten gering halten können.

Beispielsweise verglichen ROTICH et al. (2006) die Siedlungsdichte in Nairobi (Kenia) hinsichtlich differenzierender Einkommensklassen. Vor allem bei schwierigen Straßenverhältnissen während der Regenzeit beschränkt sich die Abfallsammlung nur auf gut befahrbaren Straßen im Businessviertel. Die dichtbesiedelten ärmeren Viertel werden ausgelassen. Da mehr Einwohner auf kleinem Raum in armen dichtbesiedelten Vierteln als in dünnbesiedelten reichen Vierteln wohnen, hat der Großteil der Einwohner keinen Anschluss an die kommunale Abfallsammlung.

Nach ROUSE und ALI (2002) sind die Bedürfnisse der Fahrzeugbenützer für eine angepasste Transportmittelwahl zu berücksichtigen. Allerdings werden die Benützer oft zu wenig in den Entscheidungsfindungsprozess einbezogen. Ein wichtiger Unterschied zwischen den LGE und LHE besteht im Bewusstsein von Ansprüchen auf Komfort, Sicherheit und Rechte. In Tab. 4 sind diesbezüglich Designprobleme und Optimierungsvorschläge für eine benutzerfreundliche Abfallsammlung mit einem Handkarren (sh. Kap. 3.4.1.1) dargestellt.

Kriterium	Problem	Optimierungsvorschläge
Gesundheit und Sicherheit des Sammelpersonals	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesundheitliche Beeinträchtigung durch Schieben und Entladen der Handkarren</li> <li>• Verletzungsgefahr durch scharfe Handgriffe</li> <li>• Krankheiten durch direkten Abfallkontakt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Anpassung der Karren nach z.B. Alter, Geschlecht, Größe und physische Konstitution des Benützers</li> <li>➤ Abrundung des Handgriffs, Ummantelung mit Kunststoff etc.</li> <li>➤ Arbeitsschutzmaßnahmen z.B. Kleidung, Mundschutz etc.</li> </ul>
Abfallsammlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ineffizienter Workflow</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verbesserung der Be- und Entladetechnik</li> </ul>
Komfort und Akzeptanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ästhetik</li> <li>• Fehlende Motivation der Sammler zur Reparatur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Extra-features am Fahrzeug z.B. Haken für Müllsäcke, Handtücher, Signalvorrichtungen</li> </ul>

Tab. 4: Designprobleme und Lösungsansätze für eine benutzerfreundliche Modifizierung eines Handkarrens für die Abfallsammlung (nach ROUSE und ALI, 2002)

Um eine angenehme manuelle Beladung der Transportmittel zu gewährleisten sollte die Beladungshöhe respektive die Schüttkante der Ladefläche die Schulterhöhe des Abfallsammelpersonals (rund 1,5 m) nicht überschreiten (UNCHS, 1988).

### 3.4.1 Nicht-motorisierte Abfalltransportmittel

Der Mechanisierungsgrad eines Transportmittels ist für den Erfolg einer funktionierenden Abfallwirtschaft in LGE nur geringfügig ausschlaggebend. In der primären Abfallsammlung werden überwiegend nicht motorisierte Abfalltransportmittel eingesetzt. Diese reichen von einfachen Handkarren über Fahrradkarren bis Tierkarren (STARKEY, 2001). Hierbei ist der informelle Sektor zu erwähnen, der vor allem nicht motorisierte Transportmittel verwendet. Diese Transportmittel können auch für die sekundäre Abfallsammlung eingesetzt werden (ZURBRÜGG, 2003). Nach UNEP (1996) ist die Eignung nicht motorisierter Transportmittel unter bestimmten lokalen Rahmenbedingungen in Tab. 5 dargestellt.

Geeignet	Nicht geeignet
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ dichtbesiedelte Gebiete mit wenig Zugangsmöglichkeiten und unbefestigten Straßen</li> <li>+ illegale Siedlungen (z.B. Slums)</li> <li>+ geradlinige Straßen</li> <li>+ bei geringer Abfallmenge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- der Einsatz von Menschenkraft oder Tieren nicht erlaubt oder beschämend ist</li> <li>- weite Distanzen zurückzulegen sind</li> <li>- schlechte und hügelige Straßenverhältnissen</li> </ul>

Tab. 5: Einsatzbereiche nicht-motorisierter Abfalltransportmittel (nach UNEP, 1996)

#### 3.4.1.1 Handkarren

Dies sind für gewöhnlich Schubkarren und werden mit menschlicher Kraft in Bewegung gesetzt (UNCHS, 1988). Hierbei spielt die physische Konstitution des Abfallsammlers eine wesentliche Rolle. Nach ROUSE und ALI (2002) sind Frauen oft zu schwach um die Handkarren alleine zu schieben. Aufgrund dessen muss eine zusätzliche Person den Karren schieben, was wiederum zu einer Erhöhung der Personalkosten führt. Damit physisch schwache Personen die Sammeltätigkeit mit Handkarren alleine ausführen können, können zusätzlich angebrachte Vorderräder zur Gewichtsentlastung beitragen. Die Anbringung größerer Räder wie beispielsweise in Hanoi (Vietnam) bringen nach COFFEY und COAD (2010) weitere Vorteile und erleichtern die Arbeitsweise.

In manchen Situationen ist es allerdings von Vorteil, wenn Männer und Frauen gemeinsam den Abfall mit Handkarren einsammeln. Beispielsweise ist es in strenggläubigen muslimischen Gebieten familienexternen Männern verboten in die Nähe von Frauen zu treten. Frauen und Kindern ist dies gestattet und so wurde ein System eingeführt, indem die Sammler die Handkarren führen während die Sammlerinnen den Abfall auf Haushaltsebene einsammeln. Andererseits wird aufgrund kultureller Gegebenheiten in Teilen Afrikas nicht akzeptiert, dass Männer „die Arbeit eines Esels“ verrichten und deswegen die Arbeit mit Handkarren als beschämend angesehen wird (ROUSE und ALI, 2002).

Der Vorteil von Handkarren ist die lokale Verfügbarkeit und kostengünstige Anschaffungsmöglichkeit in LGE (OXFAM, 2008). Beispielsweise kostet die Anschaffung einer Handkarre in Indien rund EUR 80. Die jährlichen

Wiederbeschaffungskosten der Sammelaufbauten belaufen sich auf rund EUR 20. Die durchschnittliche Lebensdauer einer Handkarre liegt zwischen 3 und 5 Jahren (ZHU et al., 2008).

Ein weiterer Vorteil der Handkarren ist, dass sie mit lokalen Mitteln und Know-How repariert werden können. Die Ersatzteilverfügbarkeit an lokalen Märkten stellt vielerorts kein Problem dar (OXFAM, 2008). Dies ist der Vorteil gegenüber motorisierten Transportmitteln. Beispielsweise können in Zimbabwe 90 % aller motorisierten Transportmittel aufgrund fehlender oder nicht leistbarer Ersatzteile nicht repariert werden und für die Abfallwirtschaft nicht eingesetzt werden. Hingegen sind 94 % aller eingesetzten Handkarren aufgrund deren einfachen Wartung im Einsatz (PORTER, 2002).

Der Sammelradius von Handkarren beträgt je nach Straßenbedingungen, Topografie und Siedlungsstruktur laut ROTHENBERGER et al. (2006) rund 1 km. Sie können in engen Straßen sowie in Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen eingesetzt werden. Handkarren werden in der Regel manuell beladen, wobei die Beladung mit Säcken aus LDPE (sh. Kap. 3.1.1 und 7.1) schneller ist, als die Beladung aus Bunkern (sh. Kap. 3.2.1 und 7.2.) mit Schaufeln oder ähnlichem Werkzeug. Die Beladungskapazität einer Handkarre beträgt im Schnitt laut COFFEY und COAD (2010) rund 0,5 m<sup>3</sup>. Um die Kapazität zu erhöhen respektive die Fahrten zu den Umladestationen zu minimieren, werden häufig zusätzliche Vorrichtungen auf der Seite der Handkarren angebracht. Dies kann sich jedoch negativ auf die Stabilität der Karren auswirken und erhöht zusätzlich den Kraftaufwand (ROUSE und ALI, 2002).

Eine spezielle Form der Handkarren ist in Ghana sehr beliebt und verbreitet. Dies sind vierrädrige Leiterwagen mit einer Plattform aus Holz. Die Frontachse ist auf einer Drehscheibe für eine Optimierung der Beweglichkeit montiert. Manche sind mit Bremssystemen ausgestattet. Die Karren werden in informellen Einrichtungen aus Almetall hergestellt. Aufgrund der stabilen Bauweise können diese schwerer beladen werden und bei entsprechend guten Straßenverhältnissen 2 bis 3 km weit geschoben werden. Aufgrund der stabileren Ausführung und der eingesetzten Materialien sind die Leiterwagen im Gegensatz zu gewöhnlichen Handkarren teurer (PORTER, 2002).

#### 3.4.1.2 Fahrradkarren

Dazu zählen Fahrräder, Dreiräder und Fahrrad-Rikschas (STARKEY, 2001). Dreiräder mit Pedalantrieb sind laut ROTHENBERGER et al. (2006) für einen Sammelradius von 2 km geeignet und werden grundsätzlich von Männern oder Frauen für die Abfallsammlung verwendet. Allerdings verbietet es die Kultur in manchen LGE, dass Frauen Dreiräder fahren (COFFEY und COAD, 2010). Beispielsweise müssten Frauen in Dhaka für das Fahrradfahren eine andere Kleidung wie beispielsweise Hosen anziehen, doch dies wird in der vorwiegend muslimischen Kultur nicht akzeptiert. In Delhi können Frauen Fahrräder nicht bedienen, da sie in der Regel nicht mit dem Fahrrad fahren (ROUSE und ALI, 2002).

Ein Vorteil des Dreirades sind die geringen Anschaffungskosten. Beispielsweise kostet in Indien ein Dreirad inklusive dazu gehörigem Container rund EUR 150. Die Wartungs- sowie Personalkosten sind laut ZHU et al. (2008) so hoch wie bei Handkarren. Probleme finden sich im Design wider. Die Räder, Fahrradmäntel sowie Fahrradschläuche stammen für gewöhnlich von normalen Fahrrädern ab und sind für höhere Belastungen nicht geeignet (ROUSE und ALI, 2002).

In Ho Chi Minh City (Vietnam) befindet sich der Sammelcontainer des Dreirades auf der Vorderseite. Damit wird der Abfall zu einer Umladestation gebracht. Aufgrund der direkten Umladung des Abfalls in Ferntransportmittel müssen die Abfallsammler sehr lange auf die sekundären Abfallsammelfahrzeuge warten. Um die Wartefrequenz zu verringern überladen die Abfallsammler die Dreiräder. Folglich können die Dreiräder nicht mehr gefahren, sondern müssen von mindestens zwei Abfallsammlern geschoben werden. Daraufhin wurden *Chinese-style Transferstations* eingeführt um dieses Problem zu beseitigen (sh. Kap. 3.3.2 und 7.3) (COFFEY und COAD, 2010).

GALLAGHER (1992) untersuchte Fahrrad-Rikschas in Bangladesch und sah Potentiale für folgende Probleme im Design und Ausführung:

- unnötig schwerer Rahmen
- nicht funktionierende Gangschaltungen
- ungeeignete Räder und Fahrradschläuche
- ineffektive Bremsmechanismen
- schlechtes ergonomisches Design

### 3.4.1.3 Tierkarren

Dies sind für gewöhnlich von Lastentieren (Eseln, Pferden, Ochsen, Kamelen etc.) gezogene Karren (STARKEY, 2001). Der Sammelradius beträgt laut ROTHENBERGER et al., 2006 rund 3 km und das Transportmittel ist gut für steileres Gelände geeignet, wobei die Reichweite und Leistung von der Fitness des jeweiligen Tieres abhängig ist. Die Kapazität beträgt nach OXFAM (2008) durchschnittlich 2 m<sup>3</sup>. Die Anschaffungs- und Haltungskosten können teuer sein und Krankheitserscheinungen oder der Tod des Tieres unvorhergesehen eintreten (ROUSE und ALI, 2002). Diese Art des Transportmittels ist hauptsächlich dann geeignet, wenn die Bevölkerung traditionell Zugtiere verwendet und diese auch lokal verfügbar sind sowie die Futtermittelbereitstellung kein Problem darstellt (OXFAM, 2008).

In Bamako (Mali) litten die zuständigen Abfallkleinunternehmen *Groupement d'Intérêt Economique* (GIE) unter finanziellen und technischen Problemen, weil die Hälfte deren Kunden nicht (regelmäßig) die Abfallgebühr zahlte. In Folge dessen konnte kein Futtermittel für die Tiere angeschafft werden und somit reduzierte sich der Bestand, wodurch wenige Esel mehr tragen mussten und überladen wurden. Dadurch starben die Tiere in nur wenigen Monaten. Hinzu kam, dass die Kommune die nahgelegenen Abfallumladestationen schloss und neue in weiterer Entfernung errichtete. Zusätzlich verbot der damalige Bürgermeister Tierzüge entlang der Hauptstraßen, sodass der Einsatz der Tierkarren gesetzeswidrig wurde. Als Folge dessen wurde die Nachfrage nach motorisierten Fahrzeugen größer (ANSCHÜTZ und KEITA, 2004).

Mit Hilfe des *Urban Waste Expertise Programme* (UWEP I und UWEP II) wurden in Workshops zwei motorisierte Prototypen entwickelt sowie eine Variante eines verbesserten, leistungsfähigeren Tierkarren. Miteinbezogen in den Entscheidungsfindungsprozess waren Vertreter der GIEs, Designer sowie lokale Techniker. Die Fahrer und Arbeiter der GIEs sowie die lokale Bevölkerung gaben Feedback zum Design der Prototypen und waren ebenso im Entscheidungsfindungsprozess integriert.

Die drei getesteten Prototypen waren:

1. Mini-Traktor mit Dieselmotor (18 PS); 3 Räder; ohne Kippmechanismus; 2,8 m<sup>3</sup> Kapazität
2. Motorisierter Karren mit einem Vespamotor; Mischbrennstoff; mit Kippmechanismus; 0,4 m<sup>3</sup> Kapazität
3. Verbesserter Tierkarren; ohne Kippmechanismus; 0,72 m<sup>3</sup> Kapazität

Jeder Prototyp wurde mit einem Abfallsammel-LKW verglichen. Kriterien wurden evaluiert und sind in Tab. 6 nach dem Schulnotensystem dargestellt, wobei 1 als sehr schlecht und 5 als sehr gut zu betrachten sind.

Kriterien	Minitraktor	Motorisierter Karren	opt. Tierkarren	LKW	Anmerkung
Widerstandsfähigkeit	5	4	3	5	vor allem auf steinigem Untergrund war die Bodenhaftung der Tiere problematisch und erhöht die Reparaturkosten
Treibstoffverbrauch	4	4	0	3	Je leistungsfähiger der Motor, desto höher der Treibstoffverbrauch
Akzeptanz bei den Fahrern	4	4	3	5	Alle Prototypen wurden als instabiler als der LKW bewertet
Akzeptanz bei der Bevölkerung	4	4	1	5	motorisierte Prototypen wurden als sicherer empfunden
Akzeptanz bei den Arbeitern	3	4	2	5	Das Design bei der Entladung wurde höher priorisiert, als die Höhe, obwohl diese mehr Einfluss auf die Gesundheit der Arbeiter hat
Ersatzteilkosten	4	4	5	4	Räder und Schläuche → Eselkarren; Aufhängung, Kupplung → Motorisierte Prototypen
Ersatzteilverfügbarkeit	4	4	5	3	

Tab. 6: Technische Performance der getesteten Alternativen (nach ANSCHÜTZ und KEITA, 2004)

Die motorisierten Prototypen stellten sich effizienter als der Eselkarren heraus. Während der Eselkarren bis zu 1.200 kg Abfall/Tag transportieren kann, sammeln die motorisierten Prototypen 1.800 kg und trotz höherer Investitionskosten sind diese aufgrund der höher erzielten Einnahmen profitabler. Dennoch stellen die finanziellen Aspekte ein Problem dar. Es konnte während des Workshops nicht geklärt werden, ob die Treibstoffkosten aufgebracht werden können oder ob die erzielten Sammelquoten mit den Prototypen in einer vernünftigen Relation zu den Gesamtkosten stehen (ANSCHÜTZ und KEITA, 2004).

### 3.4.2 Motorisierte Transportmittel

Vorweg lassen sich zwei Hauptprobleme bei der Wahl von motorisierten Fahrzeugen bei der Abfallsammlung in LGE definieren. Erstens werden häufig solche gewählt, die nicht für eine abfallwirtschaftliche Tätigkeit modifiziert wurden und zweitens wird das Fahrzeugdesign aus LHE stammend ohne Anpassung an die lokalen Bedingungen übernommen (COFFEY und COAD, 2010).

Die Treibstoffpreise sind proportional zum Einkommen in LGE sehr hoch. Als Folge dessen haben Transportkosten großen Einfluss auf die Gesamtkosten und sollten möglichst minimiert werden (LINZNER, 2008). Vor allem ältere Fahrzeuge sind sehr reparaturanfällig und treibstoffhungrig. Für gewöhnlich sind die motorisierten Fahrzeuge in LGE zwischen 10 und 15 Jahre alt. In manchen Fällen, wie beispielsweise Chittagong (Bangladesch) werden auch Fahrzeuge mit > 30 Jahren eingesetzt (DIAZ et al., 2005).

Viele Probleme existieren im Bereich der Wartung, Reparatur und deren Kapazitäten. Beispielsweise kann in Nairobi (Kenia) mehr als ein Drittel der motorisierten Abfallsammelfahrzeuge aufgrund fehlender Reparaturmöglichkeiten nicht eingesetzt werden. Ein beschädigter Reifen ist ausreichend um den gesamten LKW für mehrere Wochen außer Betrieb zu setzen. Der Grund hierfür sind nicht vorhandene finanzielle Mittel, dennoch bekommen die Fahrer weiterhin ihren vollen Lohn ausbezahlt (ROTICH et al., 2006). Darüber hinaus werden die Fahrzeuge oft viel länger als deren ökonomische Effizienz genutzt. Dies wirkt sich negativ sowohl auf die Wartungskosten als auch auf die Schadensanfälligkeit aus und schränkt die Effizienz der Abfallsammlung stark ein (DIAZ et al., 2005).

Ein weiteres Problem ist die vielerorts fehlende Motivation die Transportmittel zu reparieren oder zu optimieren. Beispielsweise sind in Katmandu (Nepal) ein Drittel der motorisierten Abfallsammelfahrzeuge (größtenteils Pressmüllfahrzeuge) defekt. Für den Abteilungsleiter der Umladestation in Teka ist das häufige Gebrechen der Fahrzeuge Normalität und somit kein besonderer Grund eine Lösung für dieses Problem zu suchen. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit der Ersatzteile von gespendeten, motorisierten Fahrzeugen aus LHE teuer und kaum am lokalen Markt verfügbar. Zu jeder Zeit warten in der Werkstätte rund 10 Fahrzeuge auf die Reparatur (ALAM et al., 2006).

Erfolgt die Beladung der motorisierten Transportmittel manuell, so reduziert sich die Produktivität des Fahrzeuges. Da motorisierte Transportmittel teurer als die (manuelle) Arbeitskraft sind, sollten Verbesserungen vor allem auf die Optimierung des Auslastungsgrades gelegt werden. Nach COINTREAU (1982) ist die Optimierung je nach Einkommensniveau unterschiedlich auszurichten:

LHE → max. Tonne Abfall/Stunde/Arbeiter  
LGE → max. Tonne Abfall/Stunde/Fahrzeug

Der Entleerungsmechanismus ist entscheidend für eine einfache Handhabung. Wird der Abfall bei Umladestationen wie beispielsweise der *Chinese-style Transferstation* (sh. Kap. 3.3.2) in Boden eingebettete Wechselcontainer gekippt, ist es nicht sinnvoll Transportmittel mit hoher Kippachse zu verwenden (COFFEY und COAD, 2010). Diese sind dann sinnvoll, wenn der Abfall in einen Container oder ähnlichem oberhalb des Bodens entleert wird.

#### 3.4.2.1 Kleinmotorige Transportmittel mit niedrigem Bodenabstand

Kleinfahrzeuge sind beispielsweise motorisierte Dreiräder mit einem statischen oder beweglichen Abfalltransportgefäß, welches manuell oder hydraulisch gekippt werden kann. Diese Transportmittel sind für den Einsatz in engen, befestigten Straßen gut geeignet (COINTREAU, 1982). Die in Bangkok (Thailand) eingesetzten Dreiräder (*Tuk-Tuks*) sind für enge Straßen sehr gut einsetzbar. Um Verkehrsstaus zu umgehen, erfolgt die primäre Abfallsammlung bei Nacht (EAWAG, 2008).

Zweirädrige Handtraktoren mit einem 6 – 12 kW Dieselmotor (sh. Abb. 8a) sind für die Abfallsammlung in LGE weitverbreitet. Je nach Beladung können sie bis zu 8 km bei langsamer Geschwindigkeit (rund 20 km/h) zurücklegen. Aufgrund der geringen Motorleistung ist der Treibstoffverbrauch gering und nach COFFEY und COAD

(2010) bei geringem Wartungsaufwand langlebig. Die Be- und Entladung erfolgt bei niedriger Schüttkante manuell.

Dreirädrige Rikschas (sh. Abb. 8b) sind in Indien und anderen asiatischen Ländern im gewöhnlichen Straßenverkehr vielerorts zahlreich vertreten und lassen sich gut für die Abfallsammlung modifizieren. Die Entleerung erfolgt manuell oder mit einem hydraulischen Kippmechanismus (UNCHS, 1988).

Den Kleinfahrzeugen ist gleich, dass sie aufgrund ihrer kleinen Raddimensionen und geringen Bodenhöhe einfach zu beladen, jedoch aufgrund dessen auch nicht geeignet für schlechte Straßenbedingungen (z.B. Schlaglöcher) sind.

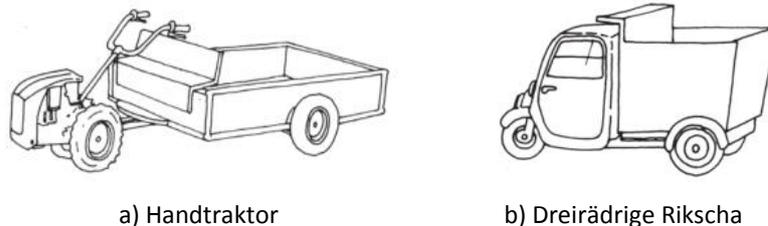


Abb. 8: Kleinmotorige Abfalltransportmittel (UNCHS, 1988)

### 3.4.2.2 Traktoren

Der Traktor ist eines der am meist eingesetzten, motorisierten Transportmittel in der Abfallwirtschaft in LGE (DIAZ et al., 2005) und kann sowohl mit Anhängern als auch Wechselcontainern verbunden werden. Im Gegensatz zu LKWs haben Traktoren einen geringeren Treibstoffverbrauch und geringere Wartungskosten sowie eine gute Ersatzteilverfügbarkeit. Das Getriebe kann darüber hinaus sehr einfach gestaltet sein (UNCHS, 1988).

Das Einsatzgebiet von Traktoren ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Generell setzen diese eine gute Akzeptanz gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern und Einwohnern aufgrund der langsamen Fortbewegung und lauten Motorgeräusche voraus (COINTREAU, 1982). Die gewichtsbezogene Leistung des beladenen Anhängers eines Traktors bestimmt den Treibstoffverbrauch, die Beschleunigung und Geschwindigkeit des Traktors. Dies ist für die topografischen Eigenschaften eines Einzugsgebietes von Bedeutung. Typische Leistungsangaben der Hersteller beziehen sich auf eine Seehöhe von 150 m. Jede Erhöhung um 300 m führt zu einer Leistungsabnahme des Motors um 3,5 %. Zusätzlich führt eine Erhöhung der Temperatur um jeweils 5,5 °C oberhalb von 30 °C zu einer 2,2 %-igen Leistungsabnahme (COFFEY und COAD, 2010).

Allerdings profitieren die Benützer dieser Fahrzeuge vom hohen Bodenabstand, guter Manövrierbarkeit sowie der geringen Anforderung an die Qualität des Untergrunds (DIAZ et al., 2005).

#### Anhänger

Verbesserungen in Bezug auf die Abfallwirtschaft lassen sich bei Traktoren gut vornehmen. Die Manövrierbarkeit mit dem Anhänger lässt sich mit Hilfe einer gebogenen Anhängerdeichsel in Form eines Schwanenhalses verbessern. Dadurch kann die Anhängerdeichsel über das Hinterrad geschoben werden, wodurch sich der Einschlagsradius deutlich verringert und sich somit die Beweglichkeit in engen Kurven verbessert (COFFEY und COAD, 2010). Dies ist in Abb. 9 dargestellt.

Beim Anhängerdesign gibt es sehr unterschiedliche Ausführungen und Kapazitäten. Sind Traktoren mit einer Zapfwelle ausgestattet, kann damit der Anhänger hydraulisch gekippt werden (DIAZ et al., 2005). Der Beladungsvorgang kann dadurch vereinfacht werden, indem die Bodenfläche des Anhängers niedriger gesetzt wird wodurch sich die Schüttkantenhöhe des Anhängers reduziert. Darüber hinaus können die Wände des Anhängers nach außen hin schräg in einem Winkel  $> 90^\circ$  modifiziert werden, wodurch sich die Beladungskapazität steigert (COFFEY und COAD, 2010).

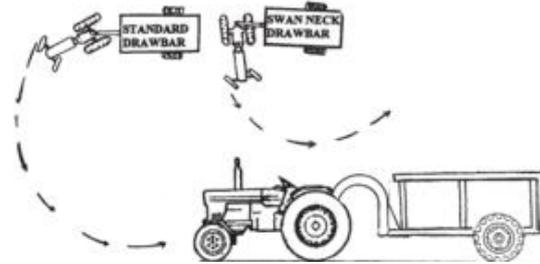


Abb. 9: Modifiziertes Anhängerdesign mit Schwanenhals, reduzierter Beladungshöhe und erhöhter Beladungskapazität (nach COFFEY und COAD, 2010)

### Wechselcontainer

Traktoren können mit zwei verschiedenen Modellen von Wechselcontainern arbeiten. Zum einen können Abfallcontainer mit dem rückwärts montierten Hydraulikarm aufgenommen und transportiert werden. Beispielsweise wurden in Gaza (Palästina) landwirtschaftliche Traktoren mit frontalen Hubarmen für die Abfallwirtschaft modifiziert. Diese werden in dichten Siedlungsstrukturen eingesetzt. Die Hubarme fassen den vollen Abfallcontainer mit rund  $1 \text{ m}^3$  Volumen welcher anschließend aus den engen Gassen heraus auf eine breite Hauptstraße gestellt wird. Von dort nimmt ein LKW-Krankkippsystem den Abfallcontainer auf und entleert den Inhalt in seinen Laderaum. Danach transportiert der Traktor den leeren Container zurück an seine ursprüngliche Stelle (COAD, 1997) (sh. Kap. 3.4.2.3 und Abb. 11).

Zum anderen können Traktoren ab einer Leistung von 30 kW mit einem Sattelaufleger Wechselcontainer mit rund  $10 \text{ m}^3$  Kapazität transportieren. Leistungsstärkere Traktoren können auch größere Wechselaufbaucontainer mit über  $20 \text{ m}^3$  Kapazität transportieren. Der standardisierte, hintere Hydraulikarm des Traktors löst einen Mechanismus am Sattelaufleger aus, wodurch dieser den Container aufnimmt (sh. Abb. 10). Anschließend kann der Container weitertransportiert werden. Am Zielort kann der Inhalt des Containers entweder auf den Boden gestellt oder der Inhalt mit der integrierten Kippvorrichtung entleert werden. Für die gesamte Arbeit ist nur ein Traktorfahrer notwendig, welcher beim Fahrersitz den gesamten Vorgang steuern kann. Diese Systeme sind bei kurzen oder mittleren Strecken sehr wirtschaftlich (COFFEY und COAD, 2010).



Abb. 10: Traktor mit Sattelaufleger (nach COFFEY und COAD, 2010)

### 3.4.2.3 LKW-Abrollkipper mit hydraulischem Kransystem

Dies ist ein LKW-Kipper mit Pritschenaufbau mit hohen Bordwänden und einem hydraulischen Kran, welcher in Gaza für die Abfallsammlung entwickelt wurde. Zuvor stellt der in Kap. 3.4.2.2 beschriebene Traktor einen  $1 \text{ m}^3$ -Container auf eine breite Straße. Ein Arbeiter muss Greifhaken des Kranes mit den Vorrichtungen am Container befestigen. Vom Straßenrand aus nimmt der Kran des LKWs den kleinen Container auf und rotiert diesen in die Position oberhalb des LKW-Laderaums, um den Inhalt in selbigen zu entleeren (COAD, 1997) (sh. Abb. 11).



Abb. 11: LKW-Abrollkipper mit hydraulischem Kransystem und dazugehörigem Container (nach COFFEY und COAD, 2010)

Dieses Transportmittel kann die Container aus rund 8 m Entfernung aufnehmen. Diese Distanz ermöglicht es, auf befestigtem Untergrund den Container aufzunehmen, der beispielsweise auf unbefestigten Untergrund steht. Darüber hinaus verhindert es die Blockierung von Fußwegen am Straßenrand während der Abfallsammlung. Da der LKW-Körper zu hoch für eine manuelle Beladung ist, kann die volle Beladungskapazität des LKWs nur mit diesem mechanischen System erreicht werden (COFFEY und COAD, 2010).

Die Beladung erfolgt hygienisch, sofern die aufzunehmenden Container keine Verunreinigungen an der Aufnahmevorrichtung aufweisen. Die auf den Seiten befindlichen Klappen des LKW-Körpers werden hydraulisch geschlossen und verhindern Abfallverwehungen. Dieses System ist effizient und kann mit rund 2 Arbeitern gesteuert werden. Sofern keine oberirdisch laufenden (Strom)Kabel den Beladungsprozess stören ist es ein einfach zu bedienendes System. Das hydraulische Kransystem muss importiert werden. Es ist teuer und benötigt einen breitgefächerten Vorrat an Ersatzteilen (COFFEY und COAD, 2010).

Eine Optimierung des Entleerungsvorganges bei Abrollkippsystemen kann durch die Modifikation der Schanierposition (sh. Abb. 12a) erfolgen. Für gewöhnlich ist der Kippmechanismus hydraulischer Natur. Dabei muss der Öffnungswinkel von 55 ° berücksichtigt werden. Der Punkt an dem der Laderaum gekippt wird ist dabei für die vollständige Entleerung des Inhalts entscheidend. Wird die Schanierposition am Fahrzeug mit der Hinterkante des Aufbaus gleich gesetzt, so kann der Inhalt vollständig ausfließen (sh. Abb. 12b) (COFFEY und COAD, 2010).

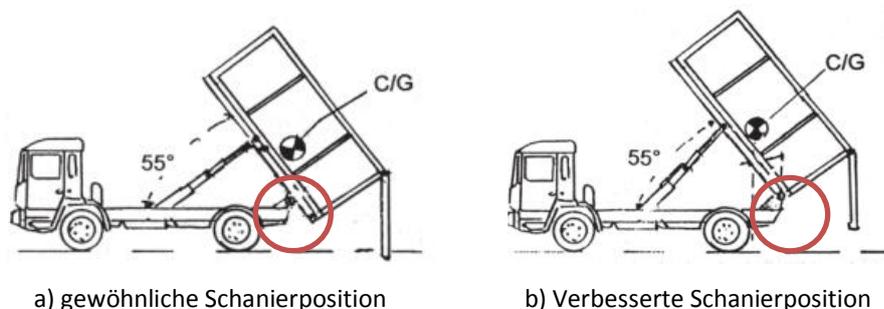


Abb. 12: Modifizierung der Schanierposition des Abrollkippsbehälters (nach COFFEY und COAD, 2010)

#### 3.4.2.4 Pressmüllfahrzeuge

Pressmüllfahrzeuge kommen in LGE häufig zum Einsatz, obwohl in der Regel wenig bis keine Verpressung aufgrund der bereits hohen Abfalldichte stattfinden kann (DIAZ et al., 2007). Ist die Schüttdichte  $> 250 \text{ kg/m}^3$  ist nach COFFEY und COAD (2010) in den meisten Fällen eine Abfallsammlung mit Pressmüllfahrzeugen nicht sinnvoll. Des Weiteren eignen sich Pressmüllfahrzeuge nur bei dünner Siedlungsstruktur (UNEP, 1996).

Die Gründe für die Fehlanschaffung sind auf der einen Seite auf fehlende oder falsche abfallwirtschaftliche Daten rückzuführen. Auf der anderen Seite tendieren in vielen Fällen Entscheidungsträger in LGE, Pressmüllfahrzeuge aufgrund des hochwertigen Status-Symboles zu beschaffen, da diese in ihren Augen als Modernisierung des Fuhrparks gesehen werden. Dies wird oft von den Verkäufern in LHE oder Hilfsorganisationen (aus)genutzt ohne auf die lokale Rahmenbedingungen dieser Fahrzeuge zu achten (UNEP, 1996).

Als negatives Beispiel kann hier Abuja (Nigeria) angeführt werden, da die Hälfte der Abfallsammelfahrzeuge der öffentlichen Abfallwirtschaft aus Pressmüllfahrzeugen besteht. Diese wurden von Hilfsorganisationen ohne die Erhebung abfallwirtschaftlicher Daten der Kommune gespendet. Aufgrund des hohen organischen Anteils im Abfall und der daraus resultierenden hohen Abfalldichte sind diese Fahrzeuge für die Abfallsammlung in Abuja nicht geeignet (IMAM et al., 2007).

In vielen Fällen werden die Fahrzeuge allerdings nicht aufgrund ihrer primären Eigenschaft der Abfallverpressung, sondern aufgrund deren angenehmen Schüttkantenhöhe von < 1,5 m für die manuelle Beladung eingesetzt (COFFEY und COAD, 2010). In der Regel sind die in der Abfallsammlung vielerorts eingesetzten offenen Pritschen-LKWs aufgrund der hohen Bordwände mit einer Oberkante von rund 2,8 m (UNCHS, 1988) schwer oder nicht manuell beladbar.

Eine weitere günstige Eigenschaft der Pressmüllfahrzeuge ist die Großteils gänzliche Verschließung des Abfalls vor Verwehungen oder Regenwasserakkumulation während des Transportes. Allerdings kann Presswasser während des Pressvorganges austreten und während des Transportes auf den Straßen unkontrolliert verteilt werden. Daher sollten diese Fahrzeuge regelmäßig innerhalb und außerhalb der Presskammer gereinigt werden (COFFEY und COAD, 2010). Darüber hinaus benötigt der Pressvorgang mehr Treibstoff (UNCHS, 1988).

Werden Pressmüllfahrzeuge mit hohen Abfallschüttdichten beladen, so folgt daraus eine Überladung welche die Fahrzeugachsen, Aufhängung und die Räder beschädigen kann. Des Weiteren wirkt sich dies auf eine Verschlechterung des Straßenzustandes aus. Hinzu kommt, dass das Gesamtgewicht aufgrund der Pressmechanik schwerer ist, als bei Nicht-Pressmüllfahrzeugen. Dies wird häufig aufgrund schlecht überlegter Planungen und Entscheidungen übersehen (COFFEY und COAD, 2010).

Aufgrund der Komplexität der Pressmüllfahrzeuge wird gut geschultes Personal benötigt (COINTREAU, 1982). Dieses ist allerdings vielerorts in LGE limitiert (BOADI und KUITUNEN, 2003). Liegen die Zuständigkeiten in privater Hand haben diese in der Regel weniger Probleme bei Wartungsarbeiten am Fahrzeug, da diese besser in der Lage sind, das Bestellsystem für Ersatzteile zu optimieren. Nachdem das Geschäftsmodell gewinnbringend ausgerichtet ist, sind im Zuge dessen die Reparaturarbeiten kürzer als bei einer öffentlichen Organisationsstruktur (COFFEY und COAD, 2010).

Im Bereich des Wertstoffrecyclings ist es von entscheidender Bedeutung, ob die Wertstoffauslese dem Transport mit einem Pressmüllfahrzeug vor- oder nachgeschaltet stattfindet, da es bei Pressmüllfahrzeugen zu hohen Verlusten an Wertstoffen kommt. Dies ist vor allem beim Glasrecycling zu beachten (SANTOS, 2001).

#### Beispiel – Rotopressmüllfahrzeug

Neben den gängigen Front- und Heckladerpressmüllfahrzeugen kommen Rotopressmüllfahrzeuge in LGE häufig zum Einsatz (COINTREAU, 1982). Dieses Transportmittel kann auch als Homogenisierungstrommel für die mechansich-biologische Abfallbehandlung (sh. Kap. 6.1.1.2) modifiziert werden. Der Abfall wird in die Heckschüttung eingebracht. Die Förderschnecke der Trommel zerkleinert den Abfall und befördert diesen in das Innere der Presstrommel. Die Beladung kann mit einem Hebmechanismus für Abfallbehälter als auch manuell erfolgen, wobei die Bautiefe der Heckklappe rund 1,6 m beträgt. Die Gewichtsverlagerung zwischen der Vorder- und Hinterachse ist bei diesem Systemen kein Problem. Die Entladung ist zeitaufwändiger als bei anderen Systemen. Vorteilhaft bei diesem System ist die geringe Anzahl mechanischer und hydraulischer Teile. Die Entladung erfolgt wie bei einem Betonmischfahrzeug (COFFEY und COAD, 2010). In Abb. 13 ist das Rotopressverfahren dargestellt. Dieses Fahrzeug ist für geringe bis mittlere Abfalldichten geeignet, führt allerdings bei Beladung mit abrasiven Materialien zur schnellen Beeinträchtigung der Förderschnecke (UNCHS, 1988).

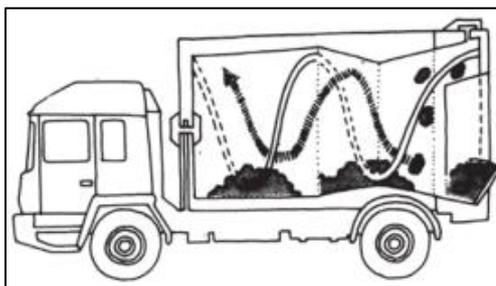


Abb. 13: Rotopressmüllfahrzeug (nach COFFEY und COAD, 2010)

## 4. Recycling von Altstoffen

Das Recycling von Altstoffen wirkt sich in der Regel positiv auf die Wirtschaftlichkeit, Ökologie und soziale Nachhaltigkeit eines Landes aus, indem es die zu transportierende und deponierende Abfallmenge reduzieren kann (EAWAG, 2008). Das Recycling anorganischer Materialien ist mit Hilfe des informellen Sektors in LGE größtenteils sehr gut ausgebaut, obwohl dessen Aktivitäten grundsätzlich nicht erkannt, unterstützt oder von der Kommune sowie Gesellschaft geduldet werden (ZURBRÜGG, 2003). Hierbei ist zu erwähnen, dass die Wertstoffsammlung des informellen Sektors vor allem in Stadtteilen höherer Einkommensschichten stattfindet, da der Wertstoffanteil meist größer als in einkommensschwachen Stadtteilen ist (ALI und HASAN, 2001).

Recycling in LGE ist nach WILSON et al. (2006) von folgenden Faktoren abhängig und folgt im informellen Sektor dem Recycling Prinzip von BALL et al. (2007) (sh. Kap. 1.3):

- Einkommensniveau
- Preis der primären Rohstoffe
- Bedarf an sekundären Rohstoffen
- Existenz lokaler und nationaler Märkte für Sekundärrohstoffe
- rechtliche Rahmenbedingungen

Als Beispiel für die rechtlichen Rahmenbedingungen ist hier Damaskus (Syrien) als Beispiel anzuführen. Die Sammlung recycelbarer Materialien innerhalb der Stadt ist verboten. Allerdings wird dies dennoch aufgrund der schlechten ökonomischen Situation vieler Menschen akzeptiert (NASSOUR, 2005). In Tab. 7 sind die recycelbaren Materialien mit deren typischen Recycling- und Reuse-Möglichkeiten in Karachi (Pakistan) dargestellt.

Material	Recycling und Reuse Möglichkeit
Glasbruch	Farbliche Trennung; Sekundärrohstoff für Glasflaschen
Kunststoff	Recycling ist von der Verwendung abhängig; z.B. Schuhe, Sohlen, Sandalen; Weiterverkauf an Industrie
Kunststoffflaschen	Waschen; Wiederverkauf
Zeitungspapier	Paketierung; Verkauf an Mittelmänner
Papier	Aufschließung der Fasern; Sekundärrohstoff für Karton und Altpapier
Bücher, Magazine	Wiederverkauf im Secondhandshop
Eisenmetalle	Recycling im Stahlwerk
Aluminium	Schmelzung; Sekundärrohstoff für verschiedene Industrien
Autobatterien	Aufschließung und Gewinnung von Bleimetallen
Gebrauchte Möbel	Secondhandshop

Tab. 7: Recycling und Reuse Möglichkeiten von Materialien in Karachi (nach ALI und HASAN, 2001)

Der Sonderabfall aus Krankenhäusern und Industrie stellt ein großes Problem dar. Diese Abfälle landen häufig mit dem kommunalen Restmüll auf offenen (wildem) Deponien, welche dann in der Regel ohne ausreichende, gesundheitliche Sicherheitsvorkehrungen entzündet werden (NASSOUR, 2005). Die Technologien der Behandlung dieser Abfallfraktion werden in der vorliegenden Arbeit nicht näher durchleuchtet. Hier sei auf BELLA (2010) verwiesen.

Der Ort der Sammlung der getrennten Wertstoffe hat Einfluss auf den Reinheitsgrad der Wertstoffe. Je näher die Wertstoffe in der Abfallkette am Ort der Entstehung getrennt gesammelt werden, desto höher ist deren Wert und einfacher die Weiterverarbeitung für die anschließende Recyclingindustrie (ZHU et al., 2008).

Werden die Wertstoffe bei kommunalen Sammelbehältern, Abfallsammelfahrzeugen oder auf Deponien vom informellen Sektor ausgeklaut, ist der Reinheitsgrad der Wertstoffe bei Gemischtsammlung meist gering. Typische Materialien, die an diesem Ort erfasst werden, sind in der Regel Altpapier, Kunststoffsäcke, Glasbruch sowie Flaschen und Knochenreste. Werden die Abfälle am Ort der Entstehung in organische und anorganische getrennt gesammelt, mündet dies in einem hohen Reinheitsgrad der Wertstoffe. Dabei werden vor allem eisenhaltige Dosen, Metalle, Zeitungspapier, Flaschen und Kunststoff getrennt erfasst (ALI und HASAN, 2001).

Die Einführung eines Getrenntsammlensystems nach einem Nass-Trocken Prinzip könnte zur Gewinnung von saubereren, vermarktungsfähigen Wertstoffen in LGE umgesetzt werden. Die Vorteile der getrennten Sammlung sind Einsparungspotentiale von mechanischen Sortieranlagen, Qualitätserhöhung des Sekundärrohstoffes,

Verbesserung der Kompostqualität und daraus schließend höhere Gewinne, Minderung der Entsorgungskosten und Abfallgebühren (NASSOUR, 2005).

Die Nassfraktion stellt dabei die organische Fraktion dar, welche anschließend in organischen Behandlungsanlagen zu Produkten recycelt werden kann (sh. Kap. 5). Trockene Abfälle sind größtenteils Karton, Papier, Kunststoff, Metalle und Glas und lassen sich durch die Trennung der nassen Stoffe leichter und effektiver sortieren. Zur erfolgreichen Umsetzung ist dazu eine solide und nachhaltige Öffentlichkeitsarbeit erforderlich, um Fehlwürfe zu vermeiden (NASSOUR, 2005).

Nach ZHU et al. (2008) wird in Indien die Sortierung recycelbarer Materialien am Abfallentstehungsort zu wenig durchgeführt. Würde ein verpflichtendes Getrennsammelsystem eingeführt, könnte eine Getrennsammelquote von 15 bis 20 % erreicht werden. Der informelle Sektor übernimmt die Getrennsammlung in vielen Fällen indirekt, indem die wertstoffreichen Materialien beim Abfallerzeuger abgeholt werden, allerdings laut COINTREAU (1982) vorrangig nur in Gebieten mit höherem Einkommensniveau.

## 4.1 Sortieranlagen

Nach DIAZ et al. (2007) erfordert die Einführung (hoch)mechanisierter Sortieranlagen eine komplexe Prozesskontrolle sowie gut geschulte Arbeitskräfte für die Sortierung und Anlagenwartung. Diese Anforderungen können allerdings häufig in LGE nicht erfüllt werden. In den letzten Jahren stellten LHE komplexe Sortieranlagen LGE zur Verfügung, ohne auf lokale Rahmenbedingungen zu achten und gegebenenfalls zu modifizieren. Probleme entstanden vor allem durch die unterschiedlichen Abfalleigenschaften des Einzugsgebietes und traten beim Wartungsaufwand der Anlagen, bei der Modifizierung des Anlagendesigns und Anlagenprozesstechnik sowie bei der Verfügbarkeit von Ersatzteilen und deren Kapitalbereitstellung auf (NASSOUR, 2005).

Beispielsweise verfügt die *Robinson Deep Landfill Site* in Süd-Afrika über eine Sortierungs- und Zerkleinerungsanlage sowie Verbrennungsanlage und eine Deponie. Während die Deponie sowie die Verbrennungsanlage funktionieren, konnten die Sortierungs- und Zerkleinerungsanlagen aufgrund der Nicht-Anpassung an die Abfallzusammensetzung nie ordnungsgemäß in Betrieb genommen werden (WAGNER et al., 2001).

Die Wertstoffauslese ist neben einer bedeutenden Einnahmequelle für sozial benachteiligte Bevölkerungsschichten eine wichtige Materialquelle für die Industrie in LGE und führt zu einer wesentlichen Reduzierung der zu entsorgenden Abfallmengen (HÜTTNER und KEBEKUS, 2000).

Eine Möglichkeit zur Eindämmung und Kontrolle informeller Aktivitäten in diesem Bereich ist die Überführung deren Tätigkeiten von dezentralisierten in zentralisierte Sortierungseinrichtungen wie beispielsweise Umladestationen oder eigene Einrichtungen (ALI und HASAN, 2001).

Aus Kostengründen sollten mechanische Sortieranlagen auf Standorten der Abfallbehandlung oder Sammlung (beispielsweise Umladestationen) bei gleichzeitig ausreichender Entfernung zu Wohngebieten errichtet und betrieben werden. Bei der Errichtung einer Sortieranlage müssen laut NASSOUR (2005) folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Funktionsziele und Qualität des Outputmaterials
- Zielgerechtes Stoffstrommanagement innerhalb der Anlage
- Bereitstellung von umfangreichem Know-How aufgrund der Funktionsanfälligkeit technischer Einzelteile der Abfallsortieranlagen
- Der Energiebedarf der Anlage muss gedeckt werden können
- Berücksichtigung und Sicherstellung technischer und organisatorischer Schutzmaßnahmen (Hygiene, regelmäßige Reinigung und Instandhaltungsmaßnahmen)

Im folgenden Kapitel wird eine teilmechanische Sortieranlage in Iloilo (Philippinen) im Zuge einer Fallstudie näher beleuchtet. Die Mechanisierung basiert dabei auf einer Siebtrommel zur Aussiebung des Feinmaterials (< 40 mm Korngröße). Die Förderbänder werden alle einzeln mit elektrischen Motoren betrieben. Vorweg kann gesagt werden, dass hierbei die Stromversorgung ein großes Hindernis darstellt (PAUL et al., 2007; PAUL et al., 2009). In der vorliegenden Arbeit nicht näher beleuchtete Beispiele teilmechanisierter Sortieranlagen in Ägypten, welche mit elektrisch betriebenen Magnetsystemen ausgestattet sind, unterliegen der selben Schwachstelle (SHERIF, 2007).

#### 4.1.1 Case Study: Teilmechanisierte Sortieranlage mit kontinuierlichem Gutstrom in Iloilo

PAUL et al. (2010) beschreiben in einer Fallstudie die Gewinnung alternativer Kraftstoffe und Sekundärmaterialien mit Integrierung des informellen Sektors in Iloilo (Philippinen) in einer formellen Sortiereinrichtung. Der Organikanteil des kommunalen Abfalls beträgt rund 60 %. Ein weiterer Großteil (20 %) besteht aus LDP (*light density plastics*) und Verpackungsmaterialien, welche als alternative Kraftstoffe und Sekundärressourcen recycelt werden können.

Die Sortieranlage wurde an die Deponie von Iloilo angeschlossen, um das Volumen der zu deponierenden Abfallmenge zu reduzieren sowie den informellen Sektor in das Projekt zu integrieren, um die unerwünschte Wertstoffauslese auf der Deponie zu unterbinden (PAUL et al., 2007). Die gewonnenen Wertstoffe werden anschließend an die Zementindustrie verkauft. Die Sortierung erfolgt nach der Positivauslese, bei welcher die unerwünschten Materialien im Gutstrom bleiben (PAUL et al., 2010).

##### 1. Abfallannahme und manuelle Vorsortierung

Die gesamte Sortiereinrichtung benötigt rund 1.200 m<sup>2</sup> Fläche und ist überdacht. Der gemischte kommunale Abfall (25 t/Tag) wird auf einer betonierten Annahmefläche abgeladen (PAUL et al., 2007). Der Abfall wird an dieser Stelle manuell vorsortiert, indem Kunststoffsäcke oder Kartonagen von den Arbeitern geöffnet werden und eine grobe Auslese der sperrigen und wertstoffreichen Materialien stattfindet. Dabei wird bereits eine signifikante Menge an verkaufbaren Materialien aussortiert. Anschließend wird der restliche Abfall mit einem Kompaktlader vom Typ Bobcat auf das Einlauf-Förderband (5m x 0,5 m) geladen (PAUL et al., 2009). Folgende Probleme traten bei einem 20-tägigen Testlauf der Anlage an dieser Stelle auf (PAUL et al. 2007):

- Dem Annahmeplatz fehlt eine Rampe um ein effizientes Beladen des Einlauf-Förderbandes zu ermöglichen.
- Dadurch wird der Prozess arbeitsintensiver und zeitaufwendig.
- Das Einlauf-Förderband ist zu eng bemessen, wodurch das Förderband regelmäßig überläuft.
- Der Kompaktlader fiel aufgrund häufiger Reifenplatten aus.

##### 2. Trommelsieb

Das Einlauf-Förderband wird mit einem elektrischen Motor mit 2 PS betrieben und transportiert den unsortierten Abfall zu der rotierenden Siebtrommel (sh. Abb. 14) (PAUL et al., 2007). In dieser werden die Feinmaterialien (< 40 mm Korngröße) ausgesiebt. Diese Fraktion wird anschließend zur Deponie transportiert. Der Überlauf (> 40 mm) gelangt weiter zu einem Vier-Wege-Förderbandsystem (PAUL et al., 2010).



Abb. 14: Einlauf-Förderband mit rotierender Siebtrommel (nach PAUL et al., 2010)

Folgende Probleme traten bei einem 20-tägigen Testlauf der Anlage an dieser Stelle auf (PAUL et al. 2007):

- Der Trichter unterhalb des Trommelsiebs verstopfte häufig aufgrund des hohen Wassergehalts im Abfall
- Die Hammermühle und der Shredder waren nicht funktionstüchtig und konnten im Untersuchungszeitraum nicht repariert werden.

Als Alternative zu Trommelsieben könnten Scheibenseparatoren eingesetzt werden (Abb. 15), welche in Europa zur Trennung der organischen und heizwertreichen Fraktion in einigen Sortieranlagen implementiert sind. Damit könnten bis zu 90 % der organischen Stoffe aus dem Abfall aussortiert werden. Eine funktionierende Zerkleinerungsanlage und ein Metallabscheider muss dazu vorgeschaltet sein (NASSOUR, 2005).

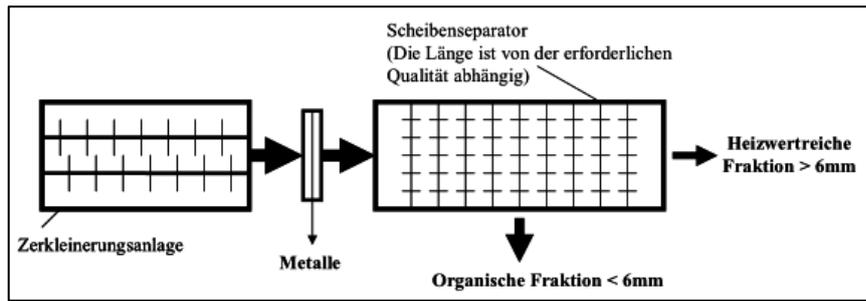


Abb. 15: Schematische Darstellung eines Scheibenseparators (nach NASSOUR, 2005)

### 3. Vier-Wege-Förderbandsystem

Der Überlauf des Trommelsiebs gelangt nun zu einem Vier-Wege-Förderbandsystem, wobei jedes Förderband eine Dimension von 4 m x 0,5 m aufweist und separat mit je einem elektrischen Motor (2 PS) angetrieben wird. An jeder Station stehen 2 Arbeiter, welche auf Sicht die recycelbare Materialien, alternative Kraftstoffmaterialien und organische Materialien aussortieren (PAUL et al., 2007). Die visuelle Handsortierung ermöglicht die Trennung nach Stückform, physikalischen Eigenschaften, sowie nach der stofflichen Zusammensetzung (SCHUBERT, 1999).

Die vier Förderbänder sind quadratisch angeordnet, wodurch der Gutstrom ständig in Bewegung bleibt (PAUL et al., 2007). Eine Klaubanlage mit kontinuierlichem Gutstrom hat den Vorteil, dass auf geringem Raum eine effiziente Handklaubung stattfinden kann. Durch die Übergabestellen wird das zu sortierende Material aufgelockert und gewendet (SCHUBERT, 1999). Die am Förderband verbleibenden Materialien werden zusammen mit den Feinmaterialien der Trommelsiebung (< 40 mm) zur Deponie transportiert (PAUL et al., 2010).

In Abb. 16 ist die Sortiereinrichtung schematisch dargestellt. Jedes Förderband wird individuell mit einem elektrischen Motor mit 2-3 PS betrieben (PAUL et al., 2010).

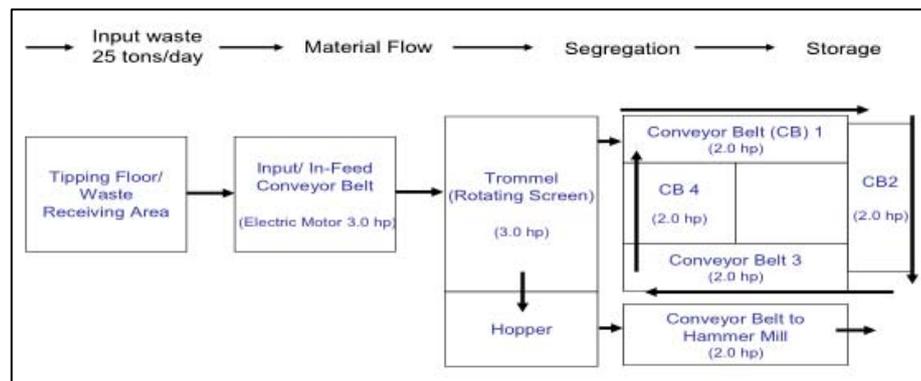


Abb. 16: Materialfluss der Sortieranlage [hp = horsepower] (nach PAUL et al., 2007)

Während des 20-tägigen Testlaufs war neben den bereits erwähnten Problemen die ungesicherte Stromversorgung ein Problem. Dies ist auf eine ineffiziente Sickerwassersammlung der Deponie zurückzuführen, welche das Sickerwasser in einem offenen Kanal an der Sortieranlage vorbeiführt. Der Kanal ist häufig verstopft, wodurch bei starken Regenfällen das unbehandelte Sickerwasser aus den Kanälen austritt und dadurch Teile des Sortierplatzes überschwemmt werden. Aufgrund der schlechten Isolierung beziehungsweise fehlerhaften Anbringung der Stromleitungen, kommt es dabei zu Schäden an den elektrischen Einrichtungen und Ausfällen der Anlagenteile. Darüber hinaus wurden weitere Probleme während des Testlaufs identifiziert (PAUL et al., 2007):

- fehlende Abfalleingangswaage
- kein back-up Generator
- mangelnde Treibstoffversorgung für den Kompaktlader
- fehlende Ballenpresse
- Beeinträchtigung der Arbeitseffizienz der Arbeiter durch lange Arbeitszeiten in stehender Position
- enger Kontakt mit Abfall
- fehlender Wasseranschluss
- fehlende sanitäre Einrichtungen

Aufgrund der teilweise schlechten Performance der Sortiereinrichtung aufgrund der genannten Probleme konnte ein Auslastungsgrad der Anlage von 82 % erreicht werden. Der Durchsatz ist 883 kg Abfall/h. Bei 24h Dauerbetrieb in drei Schichten wird ein Output von 21,19 t/Tag erreicht. Laut Herstellerangaben sind allerdings 40 t/Tag möglich (PAUL et al., 2007).

Die Qualität der aussortierten Materialien wird von HOLCIM, einer international agierenden Zementfabrik, akzeptiert. Die Sortieranalyse (sh. Abb. 17) während des Testlaufes ergab, dass rund 5 % des Inputmaterials am Ende an HOLCIM weiterverkauft werden können (PAUL et al., 2010). Dies ist für prognostizierte 40 % an recycelbaren Materialien vor der Sortieranalyse ein ernüchterndes Ergebnis. Der Großteil (52 %) wird als Feinmaterial durch das Trommelsieb aussortiert und zusammen mit dem Anteil nicht-verkaufbarer Fraktion (30 %) deponiert. Rund 13 % könnten in einer Kompostanlage behandelt werden (PAUL et al., 2007).

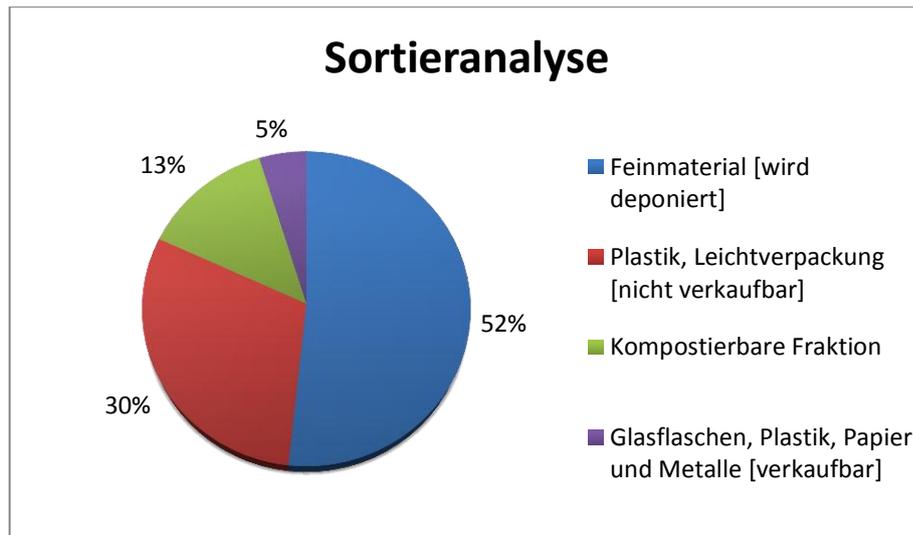


Abb. 17: Sortieranalyse der teilmechanisierten Sortieranlage in Iloilo (nach PAUL et al., 2007)

Die Integration des informellen Sektors stellt eine win-win Situation für den informellen Sektor und die Anlagenbetreiber dar. Die *waste pickers* bekommen nun einen regelmäßigen Lohn und profitieren von einem wettergeschützten Arbeitsplatz, Arbeitsschutzmaterialien, sowie Zugang zu Trinkwasser und Sanitäranlagen. Allerdings war es für die Arbeiter schwierig, sich an reguläre Arbeitszeiten zu gewöhnen (PAUL et al., 2010).

Die Investitionskosten belaufen sich auf rund EUR 170.000 (PAUL et al., 2007). Die täglichen Betriebskosten belaufen sich auf rund EUR 100, wobei die Personalkosten rund 75 % davon einnehmen (PAUL et al., 2009). Die Kosten pro Tonne recycelten alternativen Kraftstoffen belaufen sich auf rund EUR 40. Möglicherweise kann die Herstellung von Kompost aus der sortierten organischen Fraktion, welche parallel am selben Standort getätigt werden könnte, durch zusätzlichen Erlös zu einer Kostenreduzierung führen (PAUL et al., 2010).

## 4.2 Abfallvermeidungsmaßnahmen und Recycling von Altreifen

Eine geeignete Recyclinganlage für anorganische Materialien ist von den physischen und chemischen Eigenschaften sowie dessen Reuse-Potential abhängig (ZHU et al., 2008). Dabei ist zu erwähnen, dass kleindimensionierte Recyclingaktivitäten häufig in den Armutsvierteln stattfinden und aufgrund der Ästhetik oft als ein „schmutziges“ Gewerbe von der Bevölkerung angesehen werden. In der Regel sind die verwendeten Technologien dabei meist kapitalextensiver Natur mit geringen Wartungs- und Betriebskosten. Häufig fehlt es an Arbeitsschutzmaßnahmen, wodurch die Arbeiter gesundheitsschädlichen Beeinträchtigungen ausgesetzt sind (HASAN und ALI, 2001). Aufgrund des hochwertigen Status der Altreifen und Gummiabfälle gelangen diese zum Großteil nicht in den Sekundärabfallstrom, sondern werden entweder vom informellen Sektor beim Abfallentstehungsort eingesammelt oder in formellen oder informellen Recyclinganlagen aufbereitet (AHMED et al., 1996).

Reifen setzen sich aus der Karkasse und der Lauffläche zusammen. Die Karkasse besteht aus gummiummantelten Textilschichten, welche vorwiegend aus Rayon und Nylon hergestellt werden, sowie dem Gürtel und den Wulst, die aus Drähten bestehen und besonders bei LKW-Reifen stark ausgeprägt sind. Die chemische Zusammensetzung der Reifen ist je nach Hersteller verschieden (UMWELTBUNDESAMT, 2011d). In Tab. 8 ist die durchschnittliche

liche Reifenzusammensetzung in Masse-% eines LKW-Reifens ersichtlich. Dabei kann die Verteilung der Bestandteile im Reifen sehr unterschiedlich sein. Aufgrund des hohen Anteils an Kohlenstoffverbindungen von 31 GJ/t ergibt sich ein guter Brennwert (BACH, 2009).

Reifeninhaltsstoffe	Anteil in M-% [LKW]
Kautschuk [Natur- und Synthetikautschuk]	45
Füllstoffe [Ruß, Silca]	21
Festigkeitsträger [Stahl, Nylon, Cord]	25
Öle, Zuschlagsstoffe	9

Tab. 8: Zusammensetzung eines Kraftfahrzeugreifens (nach BACH, 2009)

Ein Reifen aus Kautschuk als Endprodukt ist auf Grund der langen Wertschöpfungskette ein sehr hochwertiges Produkt. Wird der Reifen als Sekundärrohstoff für die Herstellung von Schuhen oder ähnlichem verwertet, verliert dieses Material den ursprünglichen monetären Wert. Allerdings verbrauchte das Produkt in der Primärherstellung viele Ressourcen. Diese Umweltkosten werden größtenteils nicht in den Verkaufspreis inkludiert. Demnach kann aus ressourcenschonender Sichtweise die Sekundärherstellung von Schuhen als positiv bewertet werden, solange der Prozess nicht zusätzliche Ressourcen oder Energie benötigt. Darüber hinaus wirken sich die geringen Personalkosten in LGE positiv auf die Kostenrechnung aus, wodurch das Kautschukrecycling in diesen Ländern weiter verbreitet als in LHE ist (AHMED et al., 1996).

Da defekte Reifen größtenteils zur Ineffizienz der kommunalen Abfallwirtschaft in LGE beitragen, werden in diesem Kapitel auch Maßnahmen zur Weiterverwendung und Reparatur von Altreifen beleuchtet. Für das Recycling von Altreifen und Altgummi steht zum derzeitigen Stand der Technik nur die werkstoffliche Verwertung zur Verfügung (BACH, 2009). Die rohstoffliche Verwertung wird nicht behandelt. Der Werkstoff Gummi wird in der Industrie grundsätzlich als Industrie- respektive Altgummi bezeichnet (BACH, 2009).

#### 4.2.1 Wiederverwendung

##### Weiterverwendung

In Tab. 9 sind häufige Weiterverwendungsmöglichkeiten von Altreifen aufgelistet – im speziellen Reifenmantel und Innenschlauch – welche mit einfachen Schneidgeräten in LGE realisiert werden können.

Material	Weiterverwendungsmöglichkeit
Reifenmantel	Agglomeration als künstliches Riff für die Förderung des Fischbestandes
	Agglomeration als Wellenbrecher zur Küstenerosionskontrolle
	Schutzvorrichtungen im Schiff- und Straßenverkehr
	Beschwerung- und Verstärkungsmittel
	Sammelbehälter für Wasser, Lebensmittel und Abfälle
	Reifenersatz für Handkarren
	Spielzeug für Kinder
Innenschlauch	Eiszerkleinerung
	Schwimmreifen
	Sammelbehälter für Wasser, Lebensmittel und Abfälle
	Förderbänder

Tab. 9: Weiterverwendungsmöglichkeiten von Altreifen in LGE (nach AHMED et al., 1996)

Beispielsweise werden in Karachi (Pakistan) die gesammelten Reifen mit manuellen Schneidgeräten in Teile geschnitten. Der Reifeninnenring (Reifenwulst) wird mit einem Messer entfernt. Die Stahlfelgen werden ohne Schutzvorrichtung bei offenem Feuer von den übrigen Gummiteilen herausgebrannt. Anschließend werden der Kernreiter (Kernprofil) und die Reifenrinne entfernt. Der Kernreiter wird in dünne Streifen geschnitten und kann als Ummantelung von Tierkarrenreifen verwendet werden. Die Reifenrillen werden für die Produktion von Schuhsolen, Sandalen oder Dichtungsringen verwendet (REES, 1998).

### Reifenplattenfüllung

Platte Reifen können mit Hilfe der Kalt- oder Heißmethode repariert werden. Bei der Kaltmethode wird mit einer Raspel die Stelle um das Loch geglättet und mit einer Zementmischung aufgefüllt. Bei der Heißmethode wird ebenfalls das Profil um das Loch geglättet und mit ungehärtetem Naturkautschuk mit Hilfe einer Vulkanisierungspressen aufgefüllt. In Abb. 18 ist eine dampfbetriebene Vulkanisierungspressen dargestellt. Diese kann auch elektrisch betrieben werden (AHMED et al., 1996).

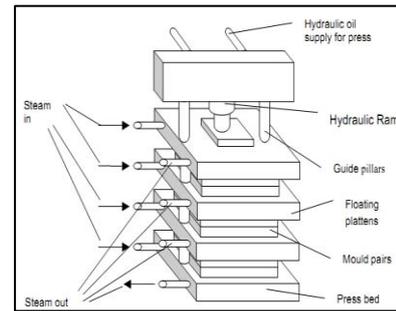


Abb. 18: Dampfbetriebene Vulkanisierungspressen (nach REES, 1998)

In Karachi gibt es beispielsweise an fast jeder Tankstelle und Autobahn eine kleine Reifenreparaturstätte. Hierbei wird der Reifenschlauch vom Mantel entfernt, aufgeblasen und in ein Wasserbad getaucht, womit die löchrigen Stellen sichtbar und markiert werden. Danach wird das Profil um das Loch mit einer Raspel geglättet. Mit einem Klebstoff wird ein Gummipropfen in ein Loch geklebt. Anschließend wird der Reifen in eine Vulkanisierungspressen gelegt, welche mit Elektrizität betrieben wird. Eine Reparatur kostet rund EUR 0,50 pro Reifen und ca. 50 Füllungen pro Tag können in einer Reparaturwerkstätte von zwei Arbeitern durchgeführt werden. Die Vulkanisierungspressen kann lokal und kostenextensiv angeschafft werden (AHMED et al., 1996).

### Neuprofilierung

Die Neuprofilierung benötigt keine Maschine und kann mit einfachen Schneidgeräten von lokalen Arbeitern durchgeführt werden. Die Voraussetzungen sind ein ausreichendes Restprofil der Lauffläche sowie eine gute Qualität der Felgen. Häufig werden die Reifen großmotorisierter Fahrzeuge wie LKWs so hergestellt, dass eine Neuprofilierung durchgeführt werden kann. Neuprofilierte Reifen kosten rund ein Viertel weniger als Neuwertige. Die generell sehr schlechten Straßenbedingungen in Pakistan tragen zur hohen Nachfrage an neuprofilierten Reifen bei.

Für den Neuprofilierungsprozess wird viel Platz benötigt um die zu reparierenden als auch reparierten Altreifen lagern zu können. Zuerst muss die Qualität des Altreifens geprüft werden. Danach können die Heiß- oder Kaltmethode für die Neuprofilierung angewandt werden. Die Kaltmethode funktioniert mit einem einfachen Schneidwerkzeug, während die Heißmethode (sh. Abb. 19) ein elektrisch aufgeheiztes Schneidgerät benötigt. Die Produktionsrate bei der Kaltmethode ist geringer als bei der Heißmethode, jedoch ist die Kaltmethode kostenextensiver (AHMED et al., 1996).

Das neue Profil hat eine Tiefe von 5 – 10 mm. Eine Neuprofilierung dauert rund 15 Minuten. Die Lebensdauer des Altreifens kann je nach verwendetem Material und Qualität um die Hälfte verlängert werden und der neuprofilierte Reifen kostet rund ein Viertel des neuwertigen Reifenpreises (AHMED et al., 1996).



Abb. 19: Neuprofilierung mit Heißmethode (nach AHMED et al., 1996)

### Runderneuerung

Bei der Runderneuerung wird dem Altreifen bei Wiederverwendung des Grundkörpers eine neue Lauffläche übergezogen (BACH, 2009). Bei dem Prozess fällt Gummigranulat an, welches als hochwertiger Sekundärrohstoff weiterverarbeitet werden kann (sh. Kap. 4.2.2). Bevor die Altreifen diesen Prozess unterzogen werden können, müssen sie eine Qualitätskontrolle passieren. Rund die Hälfte wird in dieser Phase ausgeschieden (AHMED et al., 1996). Die Voraussetzungen für eine Runderneuerung sind nach WANG et al. (2009) folgende:

- ausreichende Menge an qualifizierten Altreifen
- Standardisierte Qualitätsprüfung bei der Selektierung der Altreifen
- Standardisierte Tests nach dem Prozess

Zwei Techniken stehen dabei zur Auswahl. Das Heißrunderneuerungsverfahren mit nicht-vulkanisiertem Kautschuk sowie das Kaltrunderneuerungsverfahren mit vorvulkanisierter Lauffläche (AHMED et al., 1996). Der Hauptunterschied dieser beiden Methoden ist der Vulkanisierungsprozess, welcher in der Heißmethode ausfällt. Hierbei ist die Qualität und Performance der neugummierten Reifen vom Schulungsgrad der Arbeiter sowie von der Qualität des Altreifens abhängig und daher sehr variabel. Die Lebensdauer des Reifens kann mit dieser Methode um rund 40 % verlängert werden und kostet rund ein Viertel eines Neureifens. Die Qualität und Performance bei der Kaltmethode ist beständiger. Die Lebensdauer kann dabei um rund 85 % verlängert werden und der neugummierte Reifen kostet rund die Hälfte des Preises eines Neuwertigem (TIFAC, 2009).

Aufgrund der geringen Personalkosten, ist diese Technik in LGE weiter verbreitet als in LHE, da der Preis der neugummierten Reifen kostenintensiv gehalten werden kann. Diese Technik wird vor allem an Traktoren- und LKW-Altreifen angewendet (AHMED et al., 1996). Da bei der Runderneuerung auch der Grundkörper wiederverwendet wird, welcher rund 80 Masseprozent eines Reifens beträgt, ist die Wiederverwertung von Altreifen aus ökologischer Sicht nach BACH (2009) die sinnvollste Verwertungsart, auch wenn materialbedingt die Runderneuerungsfähigkeit der Reifen begrenzt ist.

#### 4.2.2 Stoffliche Verwertung

Für das Recycling von Altreifen und Altgummi steht zum derzeitigen Stand der Technik nur die werkstoffliche Verwertung zur Verfügung. Das Ziel der werkstofflichen Verwertung besteht in der Zerkleinerung der Ausgangsprodukte (Altreifen und anderen Altgummi) zu Gummistücken, Gummigranulat und Gummimehl. Die Verwendungsmöglichkeiten sind hierbei auf die Qualität der Ausgangsmaterialien begrenzt (BACH, 2009). Die hergestellten Produkte profitieren von den Eigenschaften des Kautschuks wie Dehnbarkeit, Widerstand gegen Verschleiß, Spannkraft, Wasserdichtheit sowie chemische Widerstandsfähigkeit (AHMED et al., 1996).

##### Gewinnung von Gummistücken

Die Abtrennung des Kautschuks vom Grundkörper erfordert Expertise und Erfahrung und kann mit einfachen Werkzeugen wie beispielsweise Messern von statten gehen. Es ist ein sehr arbeitsintensiver Prozess. Technische Verbesserungen am Altreifen erschweren hierbei die Arbeit, da moderne Reifen einen höheren Stahlanteil aufweisen. Aus diesem Grund müssen bei modernen LKW-Reifen spezielle Schneidwerkzeuge verwendet werden (REES, 1998). In Abb. 20 ist ein stationäres, mechanisches Schneidgerät dargestellt. Wenn Reifen mit Textilien verstärkt sind, können diese mit Hilfe einer einfachen Ziehbank in unterschiedliche Materialschichten aufgerissen werden.

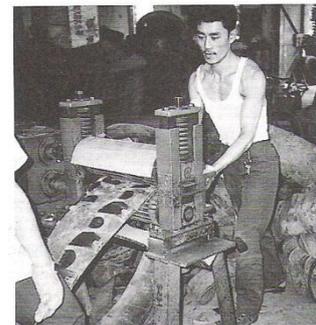


Abb. 20: Stationäres, mechanisches Schneidgerät (nach AHMED et al., 1996)

##### Zerkleinerung der Gummistücke zu Gummigranulat

Nach einer groben Vorzerkleinerung des Kautschuks mit einem Shredder wird der Kautschuk mit einem Scherenshredder oder ähnlichem auf eine Korngröße von rund 4 mm zerkleinert und danach ausgesiebt. Die Granulate mit einer Korngröße von 1 – 4 mm werden als Kautschukgranulat weiterverarbeitet (AHMED et al., 1996).

In Abb. 21 ist ein Shredder mit horizontaler Achse dargestellt. Die Kautschukteile müssen vorgeschritten werden, bevor sie in den Trichter eingefüllt werden können. Die rotierenden Schneidblätter zerschneiden das Material und je nach Korngröße fallen die Granulate durch ein Gitter in einen Sammelbehälter. Dabei ist anzumerken dass die Korngröße variabel ist. Der hier dargestellte Shredder ist mit einer horizontalen Achse ausgestattet und kann 60 kg Material pro Stunde zerkleinern. Die Leistung beträgt 10 – 15 kW und kostet rund EUR 3.000 (LARDINOIS und KLUN-



Abb. 21: Elektrisch angetriebener Shredder (nach LARDINOIS und KLUNDERT, 1995)

DELT, 1995).

Die Granulierung von Kautschuk ist ein sehr kapital- und energieintensiver Prozess und setzt eine gute Verfügbarkeit von qualifizierten Altreifen voraus. Müssen zusätzlich Altreifen dafür importiert oder transportiert werden, steigern die variablen Kosten des Prozesses (AHMED et al., 1996). Eine mögliche Alternative zu elektrischen Shreddern ist ein vertikaler Handshredder, welcher aus einem Schneidblatt und einer gebrauchten Gangschaltung eines Autos zusammengebaut wird. Mit einem Hebel wird die Maschine in Bewegung gesetzt. Für diesen Prozess ist viel Kraftaufwand erforderlich (LARDINOIS und KLUNDERT, 1995).

Alternativ kann das bei der Reifenrunderneuerung anfallende Gummigranulat diesen Prozess ersetzen. Dieses Granulat ist hoch qualitativ, da es rein ohne zusätzliche Komponenten wie Stahl oder Textilien vorliegt (AHMED et al., 1996).

#### Vermahlung zu Gummimehl

Dabei wird verfahrenstechnisch die Kaltvermahlung – auch kryogene Vermahlung – von der Warmvermahlung unterschieden. Bei der kryogenen Vermahlung werden vorzerkleinerte Reifenstücke mit Hilfe von Stickstoff auf ca. minus 100 °C heruntergekühlt (AHMED et al., 1996). Dadurch werden die Reifenteile spröde und können besser in der darauf folgenden Hammer- oder Pressmühle zu Gummimehl verarbeitet werden. Bei der Warmvermahlung erfolgt die Verarbeitung der Ausgangsmaterialien bei Umgebungstemperatur (BACH, 2009).

Bei beiden Verfahren können Stahl- und Faserteile vom Gummimehl abgetrennt werden. Das Gummimehl ist charakterisiert durch eine zerrissene und zerklüftete Oberfläche von 50 µm bis 1 mm. Neben der Gewinnung des Gummimehls kann der Stahlschrott als Sekundärrohstoff für die Industrie bereitgestellt werden (BACH, 2009).

Für die Herstellung von recycelten Produkten aus Gummistücken, Gummigranulat und Gummimehl sind Moulding-Technologien von Nöten um die Sekundärrohstoffe unter Druck und Hitze zu vereinen um Recyclingprodukte herstellen zu können. In Abb. 22 ist eine kostenextensive, handbetriebene, elektrisch erhitzte Moulding-Presse zur Herstellung von recycelten Reifen für Schubkarren in Kalkutta (Indien) dargestellt. Damit kann eine Produktionskapazität von 200 kg/Tag respektive 60 t/Jahr an recycelten Reifen erreicht werden. Für die Herstellung von insgesamt 1.170 kg recycelten Schubkarrenreifen werden rund 1.000 kg Sekundärrohstoff (Gummigranulat und Gummimehl) sowie 560 kg anderer Materialien verwendet. Die Bedienung und Wartung dieser Maschine benötigt geschultes Personal (AHMED et al., 1996).

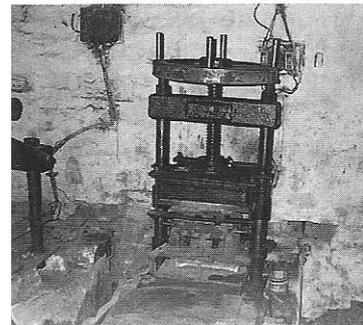


Abb. 22: Moulding-Presse (nach AHMED et al., 1996)

In LGE werden vor allem Fußmatten, Schuhsohlen oder ähnliches mit Moulding-Pressen hergestellt. Generell entstehen bei den Prozessen der Neuprofilierung, Runderneuerung und ähnlichen manuellen Prozessen mit Raspeln, Schneidgeräten etc. kleine Partikel und Staub. Mechanische Anlagen wie Shredder oder Moulding-Pressen verursachen üble Gerüche, die Probleme bei der Akzeptanz der umliegenden Bevölkerung mit sich bringen können. Manche brennen auf offenen Werkstätten den Reifenmantel von den Felgen heraus, was darüber hinaus gesundheitliche Beeinträchtigungen mit sich bringt (AHMED et al., 1996).

## 5. Organische Abfallbehandlung

Die organische Fraktion beträgt in LGE für gewöhnlich weit über 50 % der gesamten kommunalen Abfallmenge (ALI et al., 2004). Wenn organische Materialien recycelt und vermarktet werden, handelt es sich hierbei größtenteils um die Kompostherstellung (ZURBGRÜGG, 2003; ALI et al., 2004) oder um die Sammlung von Essensresten für die Tierfütterung (NASSOUR, 2005). Die verschiedenen Verwertungsmethoden können in Konkurrenz zu einander auftreten, sodass die Substratbeschaffung schwierig sein kann. In Verwertungsgesellschaften, in denen der organische Anteil der Tierverfütterung im Haus oder in der Landwirtschaft dient (ASCHABER, 2011a), kann dies zu einer Fehllanschaftung einer Behandlungsanlage führen.

In Abb. 23 sind die Verwertungswege der organischen Fraktion in LGE dargestellt. Die Herstellung von Kompost im Zuge von Kompostierungsanlagen wird in Kap. 5.1 beschrieben und die Erzeugung von Biogas in Kap. 5.2.

Dabei ist vorweg anzumerken, dass sich zur Kompostierung Substrat mit geringem Wassergehalt mit hohem C/N-Strukturanteil und für die anaerobe Vergärung Substrat mit hohem Wassergehalt und kleinem C/N-Strukturanteil eignet (BOGNER et al., 2007).

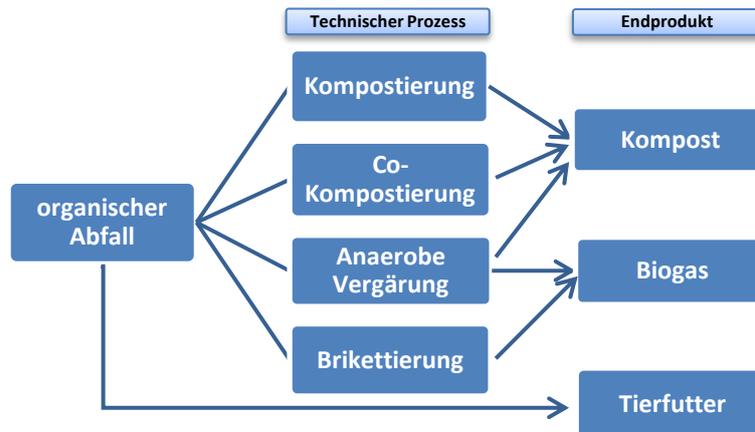


Abb. 23: Produktgewinnung aus organischem Abfall (nach LARDINOIS und KLUNDERT, 1993)

Vor allem sozio-kulturelle Aspekte sind im Umgang mit organischem Abfall bei der Wahl einer Behandlungstechnik zu berücksichtigen. In Afrika wird der Abfall als abstoßend und schmutzig aufgrund der damit verbundenen Assoziationen empfunden. Der Kontakt mit Abfall wird dabei generell vermieden. In China, Indonesien und Indien wird der organische Abfall seit geraumer Zeit in der Landwirtschaft verwertet und hat einen vorteilhaften Status. Des Weiteren können religiöse Hintergründe den Umgang mit organischem Abfall verbieten. Beispielsweise ist nach dem islamischen Glauben der Kontakt oder der Verzehr mit und von Tieren verboten, die sich von Aas oder Abfällen ernähren. Ebenfalls ist der Umgang mit menschlichen oder tierischen Fäkalien verboten (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993).

## 5.1 Kompostanlagen

Aufgrund mangelnder Substratqualität, Personalschulung und Ausbildung, Instandhaltung, hohen Betriebskosten, störender Geruchsbildung, unzureichender Krankheitserreger- und Unkrautunterdrückung, schlechtem Marketing für das Endprodukt und schlechter Kooperationen zwischen öffentlichen und kommunalen Organisationen schlugen viele Kompostprojekte, die in den letzten Jahren in LGE initiiert wurden fehl (HANKO, 2009). Ein weiterer Hauptgrund lag vor allem in der Errichtung großdimensionierter, zentralisierter Kompostanlagen und deren unterschätzten laufenden Betriebskosten (DIAZ et al., 2005).

Nach HOORNWEG et al. (1999) bietet die Kompostierung für LGE folgende Vorteile:

- Reduzierung der zu deponierenden Abfallmenge
- Verstärkung der Recyclingaktivitäten
- Herstellung eines Bodenverbesserungsmittels für eine nachhaltige Landwirtschaft
- geringe Investitions- und Wartungskosten möglich
- positiver Beitrag zur Gesundheit der lokalen Bevölkerung (z.B. Minimierung des Dengue Fiebers)
- positiver Beitrag zum kommunalen Abfallwirtschaftsmanagement
- Einbindung des informellen Sektors in der Abfallsammlung, Sortierung und Recycling möglich

Jedoch sind auch folgende Herausforderungen für LGE nach ZURBRÜGG et al. (2010) zu beachten

- Energiebedarf bei mechanisierten/automatisierten Technologien wie beispielsweise dem Containerverfahren oder aktiven Belüftungsverfahren;
- störende Geruchsbildung (z.B.)  $\text{NO}_3$ , wenn die Anlage nicht richtig betrieben wird;
- Die Kosten der Kompostierung sind in Relation zum Marktpreis des Produktes hoch;
- Die Produktqualität ist vom Ausgangsmaterial abhängig; Verunreinigungen im Endprodukt (Glas, Kunststoff, Salze, Schwermetalle) beeinflussen dessen Vermarktbarkeit und Einsatzmöglichkeiten.

Das Design einer Kompostierungsanlage stellt Anforderungen an die Transportmittel, Bodenbeschaffenheit, das Know-How der Arbeitskräfte, die Kapitalverfügbarkeit, die Ausgangsmaterialien sowie an die Distributionswege dar. Die folgenden Substratmaterialien eignen sich für die Kompostierung und sind in der Regel in LGE gut verfügbar (HOORNWEG et al. 1999): Obst- und Gemüseabfälle, Abfall aus landwirtschaftlicher Produktion (z.B. Zuckerrohr), Schalenabfall (z.B. Bananen, Kokosnüsse), Gartenabfall (z.B. Blätter, Gras, Pflanzenabschnitte), Sägemehl, Baumrinde, Küchenabfall sowie menschliche und tierische Exkremate. Nachdem die Transportkosten aufgrund der hohen Treibstoffkosten in LGE hoch sind (LINZNER, 2008), sollte eine Kompostierungsanlage in der Nähe von Abfallsammelzentren in Betrieb genommen werden.

Unabhängig vom Anlagendesign muss der Standort nach ROTHENBERGER et al. (2006) folgende Voraussetzungen erfüllen

- ausreichende Wasserversorgung (Wasserleitung oder Wassertank – je nach ariden oder humiden Klimata variiert die Größe des Speichers)
- Abdeckungsmöglichkeiten (in Form eines Daches oder Materialien, die direkt auf der Rotte aufliegen)
- Sortierplatz (Zugangsmöglichkeit für Sammelfahrzeuge, befestigt, Reinigungsmöglichkeiten, Werkzeuge)
- Lagerplatz für ausgelesene Stör- und Wertstoffe (Zugangsmöglichkeit für Sammelfahrzeuge)
- Personal, das gewillt ist mit Abfall zu hantieren (Kultur, Religion, Gender, etc.).

Die Kompostvermarktung ist nach KUMARA et al. (2011) aufgrund der großen Diversität der Ausgangsmaterialien und der daraus folgenden unterschiedlichen Kompostqualität ein häufig auftretendes Problem. In den meisten Fällen sind die Daten für die Kompostqualität nicht gegeben und werden oft mit den Daten von anderswo produziertem Kompost ersetzt (ALI et al., 2004). Um eine angemessene Kompostqualität zu erreichen ist es nach HOORNWEG et al. (1999) sinnvoll, eine getrennte Abfallsammlung auf Haushaltsebene einzuführen. Die Separierung der Fraktionen und das Auslesen der Störstoffe bei der Behandlungsanlage erfordern zusätzlichen Personalaufwand und Platzverfügbarkeit. Des Weiteren erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der Verunreinigung der organischen Fraktion mit Störstoffen um ein Vielfaches.

Grobe Unterschiede bestehen zwischen LHE und LGE in dieser Hinsicht bei den Richtlinien für die Kompostqualität. Beispielsweise wird in Syrien nur der olfaktorische Parameter für die Erfüllung hygienischer Bedingungen herangezogen. Beim Reinheitsgrad (Störstoffe, Schwermetalle etc.) ist die Anforderung, dass mindestens 95 % des Kompostes nach Abschluss der Rottephase durch ein Sieb von 1,2 cm Lochgröße fallen muss (URBAN und INTECUS, s.a.).

In dieser Arbeit werden kleinmaßstäbliche, dezentralisierte Komposttechnologien behandelt. Diese sind vor allem dann sinnvoll, wenn für großdimensionierte, zentralisierte Kompostanlagen keine gut funktionierende Infrastruktur vorhanden ist (ALI et al., 2004). Für großdimensionierte Anlagen sind die Anforderungen an ein gut funktionierendes Transportnetz sehr hoch. Die vielerorts mangelnde Bereitstellung der Treibstoffversorgung und der Mangel an Einsatz angepasster Transportmittel in der Abfallsammlung (KÖRNER et al., 2008) rechtfertigen den Einsatz kleindimensionierter Kompostierungsanlagen beispielsweise in Kuba (AGUILERA-CORRALES et al., 2007). Dezentralisierte Komposttechnologien ermöglichen es auf haushalts- und kommunaler Ebene im kleinen Maßstab den organischen Anteil des Abfalls kostenextensiv und mit geringen infrastrukturellen Anforderungen zu humifizieren (HOORNWEG et al., 1999).

Im Folgenden werden Vorteile von dezentralisierten, kleinmaßstäblichen Komposttechnologien aufgezählt (ALI et al., 2004):

- sie basieren auf arbeitsintensiven Technologien und können gut an den sozio-ökonomischen Kontext angepasst werden
- einfache Instandhaltung und Prozesssteuerung
- positiver Beitrag zur Kosten- und Emissionsreduzierung bei der Abfallsammlung, da der organische Anteil nicht weit transportiert werden muss
- Steigerung des Umweltbewusstseins in der Gesellschaft
- Schaffung lokaler Arbeitsplätze

#### **5.1.1 Case Study: Behälterkompostierung auf Haushaltsebene – Modell Saaga®**

Die Kompostierung auf Haushaltsebene wird bereits in vielen LGE als eine einfache und kostenextensive Methode verwendet, um den organischen Anteil des Restmülls direkt beim Abfallerzeuger zu humifizieren (LEKAMMUDIYANSE und GUNATILAKE, 2009). Aufgrund der Urbanisierung in vielen Städten von LGE ist der

Transport des organischen Abfalls zur Verwendung als Futtermittel in der Landwirtschaft respektive zu zentralisierten Kompostierungsanlagen oft schwierig und findet nicht statt, wodurch der Abfall in Kanälen wild deponiert wird (ZHU et al., 2008).

Ein Vorteil der Behälterkompostierung auf Haushaltsebene besteht darin, dass der Reinheitsgrad der organischen Fraktion sehr hoch sein kann, da der Abfall direkt bei der Abfallentstehung in eine organische und nicht-organische Fraktion getrennt werden kann. Dies kann sich positiv auf die Kompostqualität auswirken (LEKAMMUDIYANSE und GUNATILAKE, 2009). Dabei besteht allerdings die Gefahr, dass ungeeignetes Substrat wie beispielsweise Knochen oder Orangenschalen durch unzureichende Kenntnisse des biologischen Vorgangs oder in einem ungeeigneten Verhältnis kompostiert werden (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993). ALI et al. (2004) weisen dabei auf Abfallzerkleinerungstechnologien hin. Diese benötigen allerdings eine gesicherte Stromversorgung und müssen meist teuer angeschafft werden.

In Katmandu (Nepal) gibt es die Getrennt- als auch die Gemischtsammlung von Abfällen auf Haushaltsebene. Der Restmüll setzt sich aus den Fraktionen Organik (70 %), Kunststoff (10 %) und Papier (8,5 %) zusammen. Die Gemichtsammlung ist vorherrschend, jedoch würden 89 % der Einwohner für eine getrennte Sammlung des organischen Abfalls bereit sein. Die Organisation *Community Mobilization Unit* (CMU) stellt den Einwohnern Abfallbehälter zur Verfügung, die Abfallsammel- und Kompostbehältnis in einem sind und tragen den Namen Saaga® (TULADHAR, 2004). Dies sind perforierte, sechskantige Behälter aus HDPE mit einem Volumen von 100 l (sh. Abb. 24).

Die *Kathmandu Metropolitan City* (KMC) und *Clean Energy Nepal* (CEN) führten eine Umfrage mit 76 Saaga®-Benützern durch. Die Befragung ergab, dass 80 % ihren gesamten organischen Abfall mit diesem System kompostieren. Weitere 18 % gaben an, dass sie 75 % kompostieren. Der Großteil, 85 % ist sehr zufrieden mit diesem System und würde es auch weiterempfehlen. Allerdings traten bei 36 % der Befragten Probleme hinsichtlich unerwünschter Gerüche und Fliegen auf (TULADHAR, 2004).

Das Hinzufügen von trockenem, lokal verfügbarem Material wie Sägemehl, Strauchschnitt oder Erdmaterial könnte eine mögliche Lösung für das unkontrolliert austretende Prozesswasser, die Geruchs- und Fliegenbildung bewirken. Aufgrund fehlender Schulungsmaßnahmen wurden die Benutzer nicht darüber in Kenntnis gesetzt (TULADHAR, 2004).



Abb. 24: Saaga® Behälterkompostierung auf Haushaltsebene in Katmandu (nach WEPCO, 2009)

Die Anschaffungskosten liegen bei rund EUR 11 und werden von rund 70 % der Befragten akzeptiert, da die Einwohner für den Kompost entlohnt werden und sich die Anlage somit amortisieren kann (ALAM et al., 2006). Im Zuge der Getrenntsammlung ist der Reinheitsgrad der Wertstoffe sehr groß und dadurch deren Wiedervermarktbarkeit besser. Dadurch kann die Kompostierung auf Haushaltsebene laut LEKAMMUDIYANSE und GUNATILAKE (2009) zur Armutsbekämpfung in einem LGE beitragen. Die Effizienz und Kompostqualität bei diesen Systemen lässt allerdings großes Verbesserungspotential offen.

### 5.1.2 Gemeinschaftsbasierte Wurmkompostierung

Gemeinschaftsbasierte Komposttechnologien sind in LGE in den meisten Fällen Behälterkompostsysteme oder Wurmkompostanlagen (ALI et al., 2004). Für gewöhnlich können in diesen kleinmaßstäblichen Anlagen bis zu 2 t Abfall/Tag behandelt werden und sind mit der primären Abfallsammlung verbunden. Je nach Sammelsystem und Bürgerbeteiligung wird der Abfall auf Haushaltsebene getrennt gesammelt oder erst bei der Anlage sortiert (ZURBRÜGG et al., 2002). Für ALI et al. (2004) ist der Erfolg einer gemeinschaftsbasierten Komposttechnologie vom Grad der Bürgerbeteiligung abhängig.

Nach UNEP (1996) müssen folgende Bedingungen für den erfolgreichen Betrieb einer dezentralisierten, gemeinschaftsbasierten Kompostierungsanlage gegeben sein:

- klare Kennzeichnung (Schilder) des Anlagenbereichs
- gute Zugänglichkeit des Anlagenbereichs
- Zustimmung aller Anrainer für den Anlagenbetrieb
- Kontrollmechanismen, damit der Anlagenbereich nicht zu einer wilden Deponie führt
- Angemessene Bodensicherheit und Abwassersysteme für Sicker- und Prozesswasser

Wurmkompostanlagen bestehen aus unterschiedlichen Materialien (Beton, Holz, etc.) in denen Würmer organische Materialien abbauen und humifizieren. Dazu sollte die Homogenität des Substrates möglichst groß sein (DIAZ et al., 2005). Die Würmer können dabei eine große Diversität an organischen Abfällen als Substrat nutzen. Dazu zählen Gülle aus tierischer Landwirtschaft, Papierzellstoff und Kartonagen, Küchen- und Gartenabfälle, Schlämme aus industrieller Lebensmittelproduktion sowie der Gärrest, der im Zuge der anaeroben Vergärung überbleibt (VISVANATHAN et al., s.a.).

Der Standort sollte überdacht sein und ein leichtes Gefälle aufweisen, um eine unerwünschte Wassereinstauung zu verhindern und den Wasserabfluss gewährleisten zu können (AALOK et al., 2008). Darüber hinaus ist die Wurmkompostierung unter Einhaltung der erforderlichen Prozessparameter (sh Tab. 10) geruchslos und benötigt kein zusätzliches Umsetzen (HOORNWEG et al., 1999). Das Produkt wird am Ende als Wurmkompost bezeichnet (VISVANATHAN et al., s.a.)

Der Wurmkompost enthält hohe Konzentrationen an Nitrat, Kalium, Kalzium, Phosphor sowie Magnesium und kann chemische Düngemittel in der Landwirtschaft substituieren. Darüber hinaus können die im Endprodukt verbleibenden Wurmeier für eine nachhaltige Verbesserung der Böden sorgen (HOORNWEG et al., 1999) und die mikrobielle Diversität und Aktivität in diesen erhöhen. Im Folgenden werden die Schritte der Wurmkompostierung beschrieben.

### 1. Auswahl eines geeigneten Wurms:

Es sollten Würmer gewählt werden, welche auf natürliche Weise in den lokalen Böden vorkommen und für die Wurmkompostierung genutzt werden können (MITRA, 1997). Der weltweit verbreitete Kompostregenwurm *Eisenia foetida* kann die Wärmeentwicklung im Kompost am besten nutzen (VALENTIN, 2006). Der adulte Wurm ist zwischen 6 und 8 cm lang, rund 3 – 4 mm breit und kann nach Siebung des Wurmkomposts für die Kompostierung wiederholt eingesetzt werden (DIAZ et al., 2005).

### 2. Vorbereitung des Wurmbetts:

Es ist wichtig, dass die natürliche Lebensumgebung des Wurmes bestmöglich nachgestellt wird und die Materialien in ausreichendem Maß befeuchtet werden. Für den Untergrund können Materialien wie beispielsweise Zeitungspapier, Kokosnusssfasern, Torfmoos etc. verwendet werden. Dabei empfiehlt sich die Beigabe von zerkleinerten Eierschalen um den geeigneten Kalziumhaushalt herzustellen. Für die Entwässerungsschicht können Kieselsteine verwendet werden (VISVANATHAN et al., s.a.).

### 3. Kompostprozess:

Gemüseabfälle, Obstschalen, Teebeutel, Eierschalen, Brotreste und dergleichen sind als Startsubstrat für die Wurmkompostierung gut geeignet. Milchprodukte und Schlachthausabfälle sowie zu stark gewürzte Speiseabfälle sollten vermieden werden (VISVANATHAN et al., s.a.). Die optimalen Prozessbedingungen für die Kompostwürmer sind in Tab. 10 dargestellt.

Parameter	Anmerkung
Temperaturbereich:	10 – 30 °C beziehungsweise unterhalb von 35 °C (RIGGLE und HOLMES, 1994)
Feuchtigkeitsgehalt:	60 – 75 %; der Boden darf nicht zu nass sein, da ansonsten anaerobe Bedingungen die Produktion hemmen (RONALD und DONALD, 1977)
pH-Wert:	4,5 – 9; abweichende Werte hemmen den Abbau der organischen Substanz (EDWARDS und LOFTY, 1976)
Substrat:	regelmäßige Zugabe; Wird Material mit hohem Kohlenstoffgehalt verwendet, sollten Stickstoff ergänzende Mittel hinzugefügt werden, allerdings nur in Form einer sehr dünnen Schicht, da sonst eine zu hohe Wärmeentwicklung stattfinden kann (ISMAIL, 1997)

Tab. 10: Erforderliche Prozessparameter für die Wurmkompostierung (nach VISVANATHAN et al., s.a.)

Grundsätzlich kann als Anlagendesign von kleinen Behältern mit wenigen Litern Fassungsvermögen bis zu großen Behältnissen mit mehreren Tonnen Behandlungskapazitäten (VISVANATHAN et al., s.a.) jede Form verwendet werden, solange die obigen Parameter unter Sauerstoffzufuhr eingehalten werden können.

Nach HOORNWEG et al. (1999) können Probleme hinsichtlich der Entstehung von Fruchtliegen während der warmen Monate auftreten. Des Weiteren ist in Klimatas mit Temperaturen zwischen 13 und 25 °C die Wurmkaktivität eingeschränkt und aufgrund der geringen Prozesstemperatur ist die Abtötung von Krankheitserregern nicht ausreichend möglich. Findet eine Störstoffauslese und Sortierung der organischen Fraktion erst am Behandlungsort statt, kann am Ende eine erhöhte Schwermetallanreicherung im Kompost auftreten.

Beispielsweise wird in Pammal (Indien) auf einer Fläche von insgesamt 300 m<sup>2</sup> der organische Abfall von 476 Haushalten in einer gemeinschaftsbasierten Wurmkompostanlage zu Kompost recycelt (ALI et al., 2004). Im Jahr 1994 schlossen sich Frauen zu einer Bürgerbewegung für eine Verbesserung der Abfallwirtschaft zusammen und gründeten den Verein *Exnora Green Pammal* (EXNORA GREEN PAMMAL, 2011). Mit Hilfe kommunaler Standortbereitstellung und der finanziellen Unterstützung von PepsiCo wird in 120 Kompostbehältern mit je 1 t Fassungsvermögen der organische Abfall behandelt (Abb. 25). Des Weiteren sind am Standort ein Kuhstall sowie je ein Lager- und Sortierplatz vorhanden (UNICEF, 2010). Für die Deckung der laufenden Kosten wird eine jährliche Abfallgebühr von EUR 0,03 pro angeschlossenen Haushalt eingehoben. Dennoch können die Einnahmen, die mit dem Verkauf des Komposts und der getrennten Wertstoffen am Standort nur rund die Hälfte der laufenden Kosten dieser Anlage decken. Der Rest wird von PepsiCo zur Verfügung gestellt (SAPHTARISHI, 2010).



Abb. 25: Wurmkompostierung in Pammal (nach SAPHTARISHI, 2010)

4. Kompostgewinnung:

Am Ende der Rottephase wird die Zugabe von Wasser gestoppt, wodurch sich der Wassergehalt reduziert. Die Würmer ziehen sich in das Wurmbett zurück (MITRA, 1997) worauf der Kompost manuell gesiebt, getrocknet und in 1 kg Säcken verpackt werden kann (sh. Abb. 26a) (EXNORA GREEN PAMMAL, 2011).

Eine Möglichkeit zur Siebung ist mit Hilfe eines Wurmsacks (sh. Abb. 26b) die Würmer vom Kompost zu separieren. Hierbei wird der Kompost in die obere, größere Öffnung eingefüllt und die Würmer fallen nach einiger Zeit in ein darunter befindliches Behältnis. Anschließend können die Würmer wieder in den Kompostierungsprozess eingebracht oder beispielsweise an Fischer als Fang- oder Futtermittel weiterverkauft werden (VISVANATHAN, s.a.).



a) Kompostsiebung



b) Wurmsack

Abb. 26: Kompostsiebung (nach SAPHTARISHI, 2010)

Ein weiteres Problem besteht nicht im Kompostprozess an sich, sondern in den meisten Fällen in der Vermarktung des Komposts (HOORNWEG et al., 1999; ALI et al., 2004; ROTHENBERGER et al., 2006). Dabei ist die Anwendbarkeit in kontrollierten Fischaquakulturen als Substitut chemischer Düngemittel nach MITRA (1997) sehr gut geeignet. Beispielsweise ist das Wachstum des *Labeo rohita* (Karpfenart) in Aquakulturen mit Wurmkompost gegenüber konventionellen Düngemitteln besser. Darüber hinaus können die im biologischen Abbauprozess erzeugten Würmer als Fischfuttermittel das Fischmehl substituieren und so einen positiven Betrag zur nachhaltigen Fischwirtschaft liefern.

## 5.2 Biogasanlagen

Biogas wurde bereits vor 3.000 Jahren für die Erwärmung von Badewannenwasser im nördlichen Mesopotamien verwendet. Die erste Biogasanlage ist auf das Jahr 1859 datiert und wurde in Bombay (Indien) errichtet. In Europa wurde 50 Jahre später eine Anlage errichtet um aus dem Klärschlamm von Abwasserreinigungsanlagen Straßenlaternen mit Elektrizität zu versorgen (WASTE, 2007). Biogas hat demnach einen historischen „Süd-Nord“-Technologietransfer erlebt.

Dennoch wurde die anaerobe Vergärung der organischen Substanz in der Vergangenheit in LGE im Vergleich zu LHE selten als mögliche und nachhaltige Option zur Verbesserung der Lebensqualität gesehen. In den letzten Jahren setzten sich Biogasanlagen vor allem im ländlichen Raum durch und erlangten im städtischen Raum (MÜLLER, 2009) aufgrund der immer teurer werdenden und knapper werdenden (fossilen) Brennstoffe an Wichtigkeit (KOSSMANN et al., 1999). Durch die Abholzung der peripheren Wälder kommt es zu einer Holzverknappung in Gebieten, in denen Holz als primäres Brennstoffmittel dient (ASCHABER, 2011b).

Im Zuge der anaeroben Vergärung des organischen Abfalls kann einerseits Biogas, welches für die Stromversorgung, zum Heizen und Kochen im Haushalt sowie andererseits ein Abfallprodukt (Gärrest) erzeugt werden, welches für die Landwirtschaft als Dünger verwendet werden kann (FERRER et al., 2008). Nach RAI (2009) werden beispielsweise in Nepal durch Biogas 250.000 t/Jahr Brennholz für die Essenszubereitung substituiert. Dies führt zur einer Reduktion von rund 3t/Jahr CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Biogasanlage respektive 370.000 t/Jahr für die Anlagen, welche bis zum Jahr 2005 in Nepal installiert wurden. Die Werte wurden von *Biogas Sector Partnership* geschätzt.

Des Weiteren kann in Indien die Verwendung von chemischen Düngemitteln durch die Verwertung des Gärrests in der Landwirtschaft um 30 – 35 % reduziert werden (KOSSMANN et al., 1999). Darüber hinaus werden dadurch die N<sub>2</sub>O-Emissionen der Landwirtschaft reduziert (RAI, 2009).

Die Substitution fossiler Brennstoffe im Zuge der anaeroben Vergärung bewirkt nicht nur ökonomische und ökologische Vorteile sondern führt durch das Nicht-sammeln von Brennholz nach RAI (2009) auch zu einem Zeitgewinn von durchschnittlich 3h/Tag/Haushalt. Dieser Zeitgewinn hat großen Einfluss auf die Lebenserleichterung der Frauen und Mädchen, die oftmals vorrangig für das Sammeln von Brennholz zuständig sind. Hierbei ist auch der gesundheitliche Vorteil von Biogas zum Kochen anzumerken, da der Rauch beim Verbrennen von Holz oder Kohle fernbleibt (FAO und CMS, 1996).

Des Weiteren sind die Errichtung und der erfolgreiche Betrieb einer Biogasanlage in fast jeder klimatischen Zone geeignet (KOSSMANN et al., 1999). In kalten Gebieten sind die Fermenter zu dämmen oder je nach erwünschter Prozesstemperatur zu beheizen. Bei Standorten mit extremer Wasserknappheit ist diese Technologie nicht empfehlenswert (UMWELTBUNDESAMT, 2011e). Biogasanlagen können in kurzer Zeit errichtet und auf kleinmaßstäblicher Ebene kostenintensiv betrieben werden (MISI und FORSTER, 2001).

Die laufenden Kosten sind von der Substratverfügbarkeit und den damit verbundenen Transportkosten abhängig (RAI, 2009). Daher sollten Biogasanlagen an infrastrukturell gut erschlossenen Standorten und möglichst nahe an zentralen Abfallsammelpunkten errichtet werden. Größere Abstände zu Anrainern – wie bei anderen Behandlungsanlagen für organische Abfälle – sind normalerweise nicht notwendig (UMWELTBUNDESAMT, 2011e). Dabei gilt es die Anlagensicherheit regelmäßig zu überprüfen.

Das Design einer Biogasanlage muss an die durchschnittlich verfügbare Substratmenge angepasst werden. Wird als Substrat Reisstroh, Maisstroh oder ähnliches verwendet, sollte das Batchverfahren oder die diskontinuierliche Reaktorspeisung dem kontinuierlichen oder halb-kontinuierlichen vorgezogen werden. Dabei ist des Weiteren die Regelmäßigkeit der Beschickung entscheidend, sollte die Anlage individuell betrieben werden (FAO und CMS, 1996). Die verantwortlichen Betreiber der Anlagen unterschätzen dabei häufig den Betriebs- und Instandhaltungsaufwand (MSHANDETE und PARAWIRA, 2009).

Wird Biogas als Substitut von Feuerholz zum Kochen verwendet, so ist die damit erzielbare Kochzeit von Bedeutung. In vielen Kulturen liegt die Kunst des guten Geschmacks in den langen Garzeiten der Köstlichkeiten. Nach Mang et al. (2007) dauert die Kochzeit mit Biogas länger als mit konventionellen Brennstoffen. Aufgrund subjektiver und negativer Einstellungen sowie Erwartungshaltungen gegenüber Brennstoff aus menschlichen und tierischen Fäkalien präferieren viele Kulturen in LGE konventionelle Brennstoffe anstelle von Biogas. (ASCHABER, 2011b).

Nach KOSSMANN et al. (1999) müssen folgende soziale und politische Fragestellungen in der Planungsphase von Biogasprojekten beantwortet werden:

- Ist der Umgang mit menschlichen oder tierischen Fäkalien in der Kultur oder Religionsgemeinschaft erlaubt?
- Ist die Gasnutzung aus organischen Abfällen für die Essenzubereitung erlaubt?

Im Zuge dessen haben Erfahrungen gezeigt, dass fehlgeschlagene Biogasprojekte in LGE nicht vorrangig auf technischen Mängeln basieren (NI und NYNS, 1996). Technische Gründe für das Fehlschlagen von Biogasanlagen sind auf mangelhafte Bauweisen, die Auswahl ungeeigneter Materialien, unzureichende Reparaturmaßnahmen, eine fehlerhafte Betriebsführung aufgrund schlecht ausgebildetem oder unmotiviertem Personal sowie auf mangelnde Substratverfügbarkeit zurückzuführen (BHAT et al., 2001).

In der vorliegenden Arbeit werden zwei dezentralisierte, kleindimensionierte Biogasanlagen in Tansania beleuchtet. Biogasanlagen gibt es in Tansania bereits seit den 1950er Jahren (MSHANDETE und PARAWIRA, 2009). Aufgrund der Abhängigkeit von Feuerholz für das tägliche Leben ist die Abholzungsrate sehr hoch. Dabei ist Tansania mit dem Problem konfrontiert, Kapazitäten für eine alternative Energieerzeugung selbst herzustellen (SHEYA und MUSHI, 2000).

Beide in dieser Arbeit beschriebenen Technologien sind Entwicklungen von LGE und wurden in Tansania eingeführt. Für eine nachhaltige Gestaltung des „Süd-Süd“-Technologietransfers waren zunächst die jeweiligen Firmentechniker vor Ort. Beiden Technologien ist gleich, dass der Gärrest nur als Dünger aufgrund des hohen Gehalts an Ammoniumstickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) in der organischen Fracht verwendet wird und nicht in Abwässer geleitet werden darf (ESTOPPEY, 2010). Bei der Gaszusammensetzung muss der Schwefelwasserstoffgehalt ( $\text{H}_2\text{S}$ ) berücksichtigt werden (FERRER et al., 2008) und ist nach MATA-ALVAREZ (2003) mittels Gasreinigung ab einem Gehalt von mehr als 1.000 ppm zu entfernen.

### 5.2.1 Case Study: ARTI Compact Biogas System

Die von *Appropriate Rural Technology Institute* (ARTI) in Pune (Indien) entwickelte kleindimensionierte, kompakte Biogasanlage (*Compact Biogas System* – CBS) (KARVE, 2006), beruht auf dem Prinzip eines ungerührten *floating-dome* Fermenter. Dieser besteht aus einem zylindrischen oder kuppelförmigen Gärungsbehälter sowie einem beweglichen Gasbehälter. Wenn im Zuge der Methanisierung Biogas im Fermenter erzeugt wird, bewegt sich der Gasbehälter nach oben. Wird anschließend das Biogas verbraucht, sinkt der Behälter wieder nach unten (KOSSMANN et al., 1999). Dies ist in Abb. 27 dargestellt. Um den Gasdruck zu erhöhen, kann der Gasbehälter auf der Oberseite mit einfachen Mitteln – beispielsweise Steinen – beschwert werden, um somit die Gasproduktion zu erhöhen (KARVE, 2006).



Abb. 27: ARTI-CBS; links Gasbehälter leer, rechts Gasbehälter voll (nach LOHRI, 2009)

Die ARTI-CBS verwendet stärke- oder zuckerhaltiges Substrat und kann bei geringem Platzbedarf auf Haushaltsebene (Balkon, Terrasse, etc.) installiert werden. Sie besteht aus zwei HDPE-Behältern von unterschiedlicher Größe. Der größere Behälter ist der Fermenter mit einem Volumen von 0,75 m<sup>3</sup> bis 1 m<sup>3</sup>. Dieser ist mit dem kleineren Gasbehälter mit einer Rohrleitung aus HDPE vertikal verbunden (KARVE, 2006).

Durch einen Trichter wird der Fermenter täglich mit jeweils 1 kg morgens und 1 kg abends mit Substrat gefüttert (ARTI, 2011). Der Gärrest wird mittels einer Überlaufvorrichtung in einem Behälter aufgefangen. Aufgrund der fast vollständigen Vergärung im Gärbehälter beinhaltet der Gärrest einen geringeren Feststoffanteil als eine Biogasanlage basierend auf Substraten aus landwirtschaftlicher Produktion. Hierbei empfiehlt ARTI die Vermischung des Gärrestes mit neuem Substrat und die Wiedereinbringung in den Gärprozess. Über eine Rohrleitung wird das erzeugte Biogas zu einem Gasherd befördert und kann dort direkt verwendet werden (KARVE, 2006).

LOHRI (2009) untersuchte 12 errichtete ARTI-CBS Anlagen in Daressalam. Die Fermenter wurden mit zwei Substratmaterialien gefüttert: Speiseabfälle [24 % TR (Trockenrückstand), 91 % oTS (organische Trockensubstanz)] sowie Marktabfälle (10 % TR, 88 % oTS). Die täglich zugeführte Abfallmenge von 2 kg, verdünnt mit ca. 18 l Wasser, ist nach LOHRI (2009) für einen 5 köpfigen Haushalt realistisch. Die Aufenthaltszeit des Substrates im Fermenter betrug bei beiden Substraten 42,5 Tage. Die TR, oTS und CSB-Abnahmen verdeutlichen die Wirksamkeit der Anlagen und sind in Tab. 11 dargestellt. Die Konzentration an Schwermetallen liegt unterhalb der Grenzwertrichtlinien für Kompost.

Parameter	Speiseabfälle	Marktabfälle
Input – Nassgewicht [kg/Tag]	2	2
Output – Durchschnittlicher Gasertrag pro kg [NL/kg]	144	63
TR-Abnahme [%]	84,9	72,8
oTS-Abnahme [%]	92,2	85,3
CSB-Abnahme [%]	83,1	84,2
Gaszusammensetzung:		
- Methan (CH <sub>4</sub> ) [Vol-%]	56,8	66,4
- Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> ) [Vol-%]	41,7	33,2
- Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) [Vol-%]	0,5	0,4
- Schwefelwasserstoff [ppm]	72	72

Tab. 11: Input und Output des ARTI-CBS in Daressalam (nach LOHRI, 2009)

Von den zwölf installierten ARTI-CBS in Daressalam waren im Oktober 2008 nach der ersten Inspektion nur vier in Betrieb. Die Ausfallgründe für den Großteil der Anlagen sind folgende (LOHRI, 2009):

- Fehlende Schulung und Handbücher von ARTI
- mangelnde Instandhaltung des Betreibers (aufgrund fehlender Schulung)
- fehlendes Service von ARTI

Danach wurden folgende Verbesserungen vorgenommen:

- Anstellung eines zusätzlichen ARTI-Technikers für Fehlerbehebungen und Service
- Errichtung eines Workshops für ARTI-Techniker zur Schulung und Wartung eines ARTI-CBS
- Erstellung einer einfachen Betriebsanleitung in Englisch und Kiswahili
- Ermutigung der Anlagenbesitzer zur Wahrnehmung der telefonischen Hilfestellung von ARTI im Fall eines Gebrechens

Nach einer zweiten Untersuchung im November 2008 waren bereits 10 von 12 Anlagen wieder funktionstüchtig und in Betrieb. Die Ergebnisse der Untersuchung werden nach LOHRI (2009) in Tab. 12 zusammengefasst.

Technische Aspekte	Die Materialien zum Bau des ARTI-CBS sind lokal verfügbar und weisen eine hohe Lebensdauer von 30 Jahren auf. Verbesserungswürdig ist die Anlage hinsichtlich der austretenden Treibhausgase, da aufgrund des undichten Spalts zwischen dem Fermenter und Gasbehälter ein 22-%iger Gasverlust besteht. Die klimatischen Verhältnisse in Daressalam mit einer Durchschnittstemperatur von 30 bis 35 °C bei geringem Niederschlag eignen sich für diese Anlage.
Ökonomische Aspekte	Die Investitionskosten von rund EUR 550 sind für einen Haushalt in Daressalam relativ hoch. Die Produktion von 200 l Biogas aus 2 kg Küchenabfällen resultiert in einer

	Brennzeit von 45 min. Dies entspricht rund einem Drittel der Kochzeit eines 5-köpfigen Haushalts. Demnach amortisiert sich diese Biogasanlage durch den Substitutionseffekt nach 3 Jahren. Die Armutreduzierung wird als gering eingestuft.
Ökologische Aspekte	Folgende positive Ergebnisse können mit dieser Anlage erzielt werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bis zu 90 %-ige Reduzierung des organischen Anteils im Restmüll</li> <li>• 30 %-ige Reduzierung des Kohlebedarfs und dadurch reduzierte Waldrodung</li> <li>• Geruchloser hoch qualitativer Dünger (Gärrest)</li> </ul>
Soziale Aspekte	Die Akzeptanz von Biogas ist in Tansania sehr hoch und hat den Status einer modernen Technologie. Da allerdings das Bewusstsein zur Mülltrennung noch zu wenig vorhanden ist, landen oft ungeeignete Substrate wie Knochen, Holz, Kunststoff etc. im Fermenter. Der hohe Aufwand (tägliches Zuführen von Substrat) erfordert hohe Disziplin des Betreibers und gute Schulung.
Sicherheitsaspekte	Obwohl hohes Explosionspotential bei Biogas besteht, trat dieses Ereignis nicht ein. Aufgrund der luftdurchlässigen Bauweise der Wohneinrichtungen konnte auch keine gesundheitliche Gefährdung durch das Hantieren mit Biogas festgestellt werden. Mittels dem Dräger X-am 7000 Sensor wurden H <sub>2</sub> S Messungen um den Behälter durchgeführt und als gering und nicht bemerkenswert eingestuft.

Tab. 12: Bewertung der ARTI-CBS Anlage in Daressalam (nach LOHRI, 2009)

### 5.2.2 Case Study: VACVINA Hybrid Technology Biodigester with Automatic Scum Control (HTASC)

Die VACVINA-HTASC wurde 1998 von dem vietnamesischen Verein *The Centre for Community Health Research and Development* (CCRD) entwickelt. Dieses Modell ist eine Weiterentwicklung/Kombination des chinesisch/indischen *fixed-dome* Modells sowie des kolumbianischen Modells eines Gärsacks aus Kunststoff (*plastic digestion bag model*) (sh. Abb. 28), welches im Jahr 1994 in Vietnam entwickelt wurde (RCEE, 2011) und trägt daher „hybrid“ als Zusatznamen.

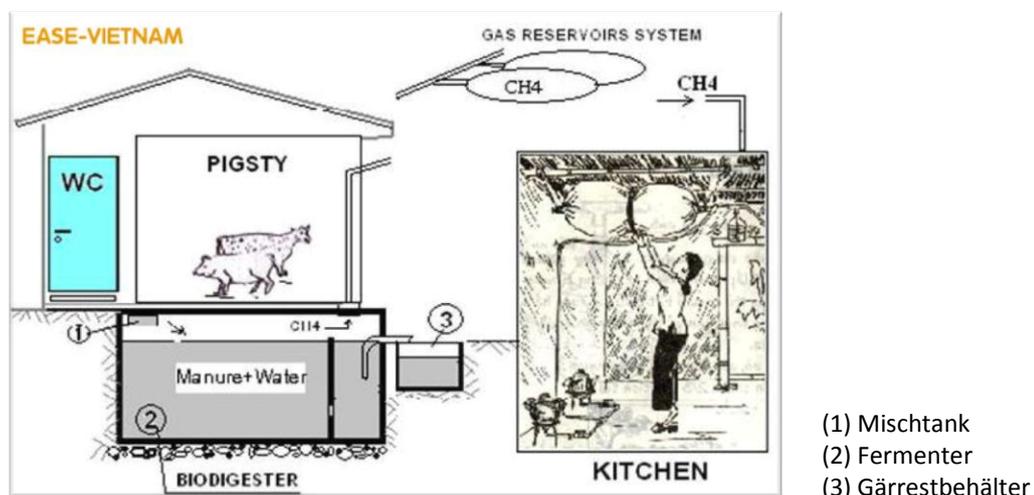


Abb. 28: Skizze einer VACVINA Biogasanlage (TATEDO, 2008)

Der rechteckige Fermenter dieser Modelle befindet sich unterhalb der Oberfläche. Die Wände bestehen aus Ziegel und Zement. Der Oberflächenabschluss aus Beton kann dabei gleichzeitig als Boden eines Viehstalls dienen. In dieser Anlage können Speisereste sowie menschliche als auch tierische Fäkalien ko-vergärt werden (TATEDO, 2008a).

Die Ko-Vergärung ist die simultane Behandlung von mehr als einem Substrat in einem Behälter. Nach MATA-ALVAREZ (2003) hat dies einen positiven Effekt auf den anaeroben Vergärungsprozess, da es die CH<sub>4</sub>-Ausbeute erhöht, sowie die Prozessstabilität verbessert. Bei der Miteinbeziehung von Grau- und Schwarzwasser aus Toiletten führt der anaerobe Vergärungsprozess zu einer signifikanten Hygieneverbesserung (RAI,

2009). Darüber hinaus ist diese Art der Vergärung wirtschaftlicher, da sie verschiedene Abfallarten zusammen in einer Anlage behandeln kann (MATA-ALVAREZ, 2003).

Der Biogasbehälter ist obererdig angebracht und besteht aus einem mehrschichtigen Schlauch aus PE. Die Anlage arbeitet mit geringem Druck, wodurch die Konstruktion einfach gehalten werden kann (TATEDO, 2008b). Um einen guten Biogasertrag zu erreichen, muss die Form und Größe des Fermenters an lokale Verhältnisse angepasst werden (RCEE, 2011).

Laut einer Studie von *Tanzania Traditional Energy Development and Environment Organization* (TaTEDO) wurden in Tansania innerhalb von 10 Jahren 6.000 kleinmaßstäbliche Biogasanlagen – hauptsächlich im *fixed-dome* Design – gebaut. Allerdings sind diese Anlagen laut TATEDO (2008a) mit je rund EUR 1.000 sehr teuer für die lokalen Verhältnisse. Aus diesem Anlass entschied sich TaTEDO für die Errichtung von zwei VACVINA-HTASC Biogasanlagen in einem Pilotprojekt. Die Investitionskosten je Anlage belaufen sich auf rund EUR 500 (TATEDO, 2008b).

Um lokale Fachkräfte aufzubauen, schulten Mitarbeiter des CCRD ein Team von TaTEDO ein. Handbücher über den Bau der Anlage sowie Wissen über die anaerobe Vergärung wurden in Englisch als auch in der lokalen Amtssprache (Swahili) angefertigt. Rund ein Viertel der Trainingszeit wurde in Workshops mit Diskussionsrunden über Design, Dimensionierung, Wartung sowie Handhabung der VACVINA Biogasanlagen abgehalten.

In Tab. 13 sind die benötigten Baumaterialien zur Errichtung einer VACVINA-HTASC mit einer Gärbehälterkapazität von 7 m<sup>3</sup> dargestellt. Das Biogas wird in einem zweischichtigen PE-Schlauch mit einem Durchmesser von 100 cm und einer Länge von 2,5 m und 1,8 m<sup>3</sup> Volumen gesammelt, womit ein 5-6 köpfiger Haushalt für 5-6 h/Tag kochen kann (RCEE, 2011).

Material	Maßeinheit	Anzahl
Ziegel	Stück	1.400
Zement	kg	600
grobkörniger Sand	m <sup>3</sup>	1,5
Eisenstangen [Ø 8 mm]	kg	30
Verbindungsrohr aus Zink	Stück	1
PVC-Rohr [Ø 21 mm]	m	4
Schrauben und Muttern	Stück	15
Kunststoffrohr [Ø 21 mm]	m	15
PVC-Rohr [Ø 110 mm]	m	1
Polyethylen-Sack	Stück	1
Siphon-Rohr	Stück	2
Gasherd	Stück	2
Kleber, Gummidichtungen		
Hacke, Schaufel, Messer, Zement Mischmaschine, Kelle etc.		

Tab. 13: Baumaterialien für eine 7 m<sup>3</sup>-VACVINA-HTASC (TATEDO, 2008b)

Für die Aushebung des Bodenloches (harter Lehmboden) mit Schaufeln und einfachen Werkzeugen benötigten vier Arbeiter 3 Tage. Probleme gab es bei der Adaptierung der Rohre. Der Durchmesser der vietnamesischen Rohre ist 1 mm größer als jener, die in Daressalam zur Verfügung stehen. Daher mussten die Rohröffnungen der Biogasanlagen an den lokalen Rohrdurchmesser angepasst werden (TATEDO, 2008a).

Der Durchmesser für das Einlaufvorrichtungsloch kann an einem beliebigen Ort an einer Wand des Fermenters angebracht werden. Ein Siphon verbindet den Mischtank mit dem Fermenter, welchem täglich neues Substrat zugeführt wird. Das Ausflussrohr besteht aus Polyvinylchlorid (PVC) (RCEE, 2011).

Für den Start einer VACVINA-HTASC soll laut dem Handbuch von TATEDO (2008c) 700 – 800 kg frisches Substratmaterial – im Verhältnis 1:5 mit Wasser vermischt – in den Fermenter eingebracht werden. Nach 5 – 10 Tagen kann das erste Biogas gewonnen werden. Für die tägliche Verwendung von Biogas als alternative Energiequelle für eine 7-köpfige Familie wird des Weiteren die tägliche Zufuhr von 15 – 20 kg frischem Substratmaterial empfohlen. Dabei ist anzumerken, dass eine Kuh oder Schwein rund 2 kg/Tag Dung produzieren. Die hydraulische Verweilzeit (HRT) des Substrats beträgt zwischen 40 und 50 Tagen im Fermenter.

Laut TATEDO (2008b) sind beide Versuchsanlagen in gutem Zustand und arbeiten ordnungsgemäß und stellen die beste Alternative zu den bisherigen Anlagen in Tansania dar. Eine VACVINA-HTASC charakterisiert sich durch folgende Vorteile:

- Der fix befestigte Oberflächenabschluss des Fermenters kann als Boden eines landwirtschaftlichen Stalls, einer Toilette oder Küche etc. dienen und kann somit die Baukosten eines Hauses senken.
- Die Hygiene im Haushalt wird aufgrund der Ko-Vergärung verbessert.
- Die Konstruktion ist einfach, erfordert kein gut geschultes Personal und kann mit gut verfügbaren Materialien in LGE realisiert werden.
- Die Biogasanlage ist bei hoher Qualität wartungsarm und kostenextensiv.

Die VACVINA-HTASC wurde bereits erfolgreich in anderen Ländern, wie beispielsweise Nepal, aufgrund dieser Eigenschaften adaptiert (TATEDO, 2008a). Dennoch weist diese Technologie einige Nachteile auf (SNV, 2004):

- Die Wände des Fermenters werden mit fünf Schichten Sand und Zement verspachtet. Dieser Aufwand ist unnötig, da kleinere Risse in den Wänden mit der Zeit durch den Schlamm von selbst gestopft werden.
- Der rechteckig geformte Fermenter weist ein ungünstiges Oberflächen/Volumen-Verhältnis auf, welches die Fließdynamik reduziert und somit „tote Ecken“ entstehen lässt. Hierbei sollte ein kugelförmiges Design gewählt werden.
- Das Gas wird in Rohrleitungen an der Oberfläche zu den Gärsäcken geführt, womit sie starkem Sonnenlicht ausgesetzt werden. Bei diesen Bedingungen werden die PVC-Rohre nach zwei Jahren porös. Um die Lebensdauer der Rohre zu erhöhen, wird empfohlen die selbigen unter der Erde zu verlegen oder mit schützenden Materialien zu umgeben.
- Im Gegensatz zur standardisierten Platzierung der Ausflussvorrichtung kann die Einlassvorrichtung willkürlich gewählt werden. Bei schlechter Platzierung kann dies unter anderem zu einer kurzen HRT im Fermenter führen, wodurch das Inputmaterial nicht vollständig vergären kann und das Biogaspotential nicht voll ausgeschöpft wird.

## 6. Abfallbehandlung vor Deponierung

Aufgrund fehlender gesetzlicher Richtlinien zur Vorbehandlung des Abfalls vor der Deponierung, findet diese meist auf freiwilliger Basis statt (HÜTTNER et al., 2003). In der vorliegenden Arbeit wird der Fokus auf die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) am Beispiel des FABER-AMBRA®-Verfahrens in Brasilien und Thailand gelegt. Neben der MBA ist die thermische Behandlung der Abfälle eine mögliche Variante zur Stabilisierung der organischen Substanz im Restmüll und führt zu einer deutlichen Reduzierung der abzulagernden Deponiemenge.

Die Verbrennung des Restmülls wurde in Asien in den letzten Jahren von Kommunen, Hilfsorganisationen etc. beworben. Viele größere und kleinere Verbrennungsanlagen wurden gebaut, jedoch lehnte die Bevölkerung diese Technik ab. Der Grund hierfür war die ineffiziente oder nicht vorhandene Abluftfilterung, die den Austritt gesundheitsschädlicher Dioxine und Furane in die Atmosphäre verhindern sollte. Des Weiteren stellte sich der Betrieb dieser Anlagen als sehr kostenintensiv heraus, da der Restmüll in LGE einen hohen Wassergehalt aufweist (HANKO, 2009) und folglich aufgrund des geringen Heizwertes für die Verbrennung ohne Trocknung nicht geeignet war. Wird darüber hinaus die getrennte Abfallsammlung auf Haushaltsebene durchgeführt, reduziert sich der Heizwert des Restmülls (ZHU et al., 2008). Die thermische Behandlung des Restmülls wird in dieser Studie nicht näher beleuchtet.

### 6.1 Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Aufgrund der meist hohen Durchschnittstemperaturen und der charakteristischen Abfallzusammensetzung in LGE liegt nach HÜTTNER und KEBEKUS (2000) *„die Vermutung nahe, dass mit der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Entwicklungsländern eine zusätzliche Möglichkeit eröffnet werden kann, nachhaltige und wirtschaftlich tragbare Entsorgungslösungen umzusetzen.“*

Das primäre Ziel der MBA ist die Stabilisierung der organischen Substanz in Abfällen. Im Zuge der Stabilisierung erhält man einen Organikpool, der als Kohlenstoff- und Stickstoffsенke dient und so zur Minimierung der Umweltbelastung beiträgt (LECHNER, 2004).

Entsprechend unterschiedlicher Zielsetzungen der MBA gibt es verschiedene Systeme für die mechanische Aufbereitung und die biologische Behandlungsstufe. In LHE dient eine MBA vorrangig zur stoffstromspezifischen Behandlung unter Separierung der heizwertreichen Fraktion und deren thermischen Verwertung. Dieses Ziel steht in LGE im Hintergrund. Zielsetzung in LGE ist überwiegend die Überführung einer unkontrollierten Abfallablagerung in eine kontrollierte Deponierung unter Berücksichtigung der Rückgewinnung von Wertstoffen (HÜTTNER und WUCKE, s.a.).

Bei der mechanisch biologischen Abfallbehandlung wird zwischen anaeroben und aeroben Verfahren unterschieden. Bei anaeroben Verfahren werden unter Sauerstoffabschluss die organischen Substanzen abgebaut. Von Vorteil bei diesem Verfahren ist die Einhausung. Die dabei entstehenden Gase können gut kontrolliert und erfasst werden sowie als alternativer Energieträger nutzbar gemacht werden. Nachteilig ist die Prozesstechnik sowie der Steuerungs- und Wartungsaufwand, wodurch hohe Investitions- und Personalkosten entstehen. Anaerobe Verfahren sind nur bei größeren Abfallmengen (> 50.000 t/Jahr) sinnvoll (SCHENK, 2000).

Aerobe Verfahren arbeiten unter Zuführung von Luftsauerstoff. Im Zuge der der Stabilisierung entstehen CO<sub>2</sub> und Wasser. Diese Verfahren lassen sich weiter in extensive und intensive Verfahren unterteilen. Intensive Verfahren arbeiten mit relativ hohem technischen Aufwand. Die Mieten werden häufig umgesetzt um die Belüftung und Befeuchtung der Rotte zu optimieren und dadurch die Behandlungszeiträume zu verkürzen. Dadurch steigen die Behandlungskosten. Des Weiteren sind ein Maschinenpark und eine Einhausung der Rotte erforderlich. Die Behandlungszeiten sind relativ kurz (2 – 3 Monate). Extensive Verfahren arbeiten auf einem relativ niedrigen technischen Niveau, wodurch die Kosten gering gehalten werden können. Dadurch verlängern sich die Behandlungszeiten auf 5 – 6 Monate. Die Möglichkeiten zur Prozesssteuerung sind geringer als bei intensiven Verfahren. Extensive Verfahren bieten sich in Regionen mit geringen Abfallmengen als kostengünstigen Einstieg in die Abfallvorbehandlung an (SCHENK, 2000). Die Amortisierungsdauer ist bei extensiven Verfahren länger als bei Intensiven (KEBEKUS et al., 2000)

Zur Bewertung der Einsatzpotentiale und der Nachhaltigkeit einer MBA unter den jeweiligen lokalen Rahmenbedingungen sind die Kenntnis der abfallwirtschaftlichen Situation und deren Einflussfaktoren notwendig. Dabei ist allerdings die quantitative und qualitative Datenlage in LGE oft unzureichend oder auch fragwürdig (HÜTTNER und KEBEKUS, 2000).

Die Sortierung von Abfällen wird in LGE weitestgehend vom informellen Sektor durchgeführt (WILSON et al., 2006). Die Einführung eines MBA-Verfahrens wirkt sich zwangsläufig verändernd auf die informellen Tätigkeiten im Abfallwirtschaftsbereich aus (SANTOS, 2001). Die Realisierung einer MBA sollte dabei die Arbeitsbedingungen dieser Menschen fördern und keinesfalls deren Lebensgrundlage zerstören (HÜTTNER, et al. 2003).

#### **6.1.1 Case Study: FABER-AMBRA® Verfahren**

Das FABER-AMBRA®-Verfahren ist eine extensive MBA und wurde in Deutschland von Faber Recycling GmbH in Kooperation mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie dem Leichtweiss-Institut in Braunschweig entwickelt (MÜNNICH et al., 2007).

Der aerobe Prozessschritt basiert auf den in Deutschland entwickelten Kaminzugverfahren (sh. Abb. 29) (HÜTTNER et al., 2003). Der Abfall wird in einer mobilen Mischtrommel unter Zugabe von Frisch- oder Sickerwasser homogenisiert. Gleichzeitig erfolgt in der Homogenisierungstrommel ein Aufreißen der Müllsäcke durch Reißhaken an der Trommelinnenwand sowie durch Umwälzvorgänge (SCHENK, 2001).

Danach wird der homogenisierte Abfall auf einer luftdurchlässigen Schicht zu einer Tafelmiete aufgesetzt. Zur Belüftung der Mieten werden in gleichmäßigen Abständen parallel zueinander gelochte Kunststoffrohre in der luftdurchlässigen Schicht verlegt, die in der Mietenmitte entlang der Längsachse zu Kaminen hochgezogen werden. Dadurch wird die Miete passiv mit Sauerstoff versorgt. Durch den biologischen Abbau entsteht Wärme im Mietenkörper, welche durch den Kaminzugeffekt aufsteigt und aus der Miete entweicht (HÜTTNER et al., 2003).

Ein wesentlicher Aspekt dieses Verfahrens ist die Abdeckung der Mietenoberfläche mit einer Schicht aus Kompost oder Rottematerial, welche wie ein Biofilter wirkt. Bei Niederschlag wirkt diese Schicht wie ein Puffer und verteilt den Wassereintrag gleichmäßig in der Miete (SCHENK, 2001).

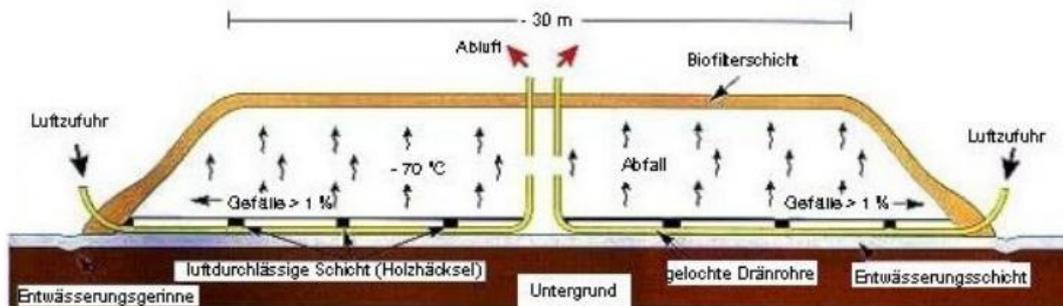


Abb. 29: Mietenaufbau und Kaminzugeffekt des FABER-AMBRA®-Verfahrens (nach SCHENK, 2001)

Die Mietenabdeckung hat folgende Vorteile für den biologischen Prozess (MÜNNICH et al., 2007):

- gleichmäßiger Wärmehaushalt der Miete
- gleichmäßige Wasserverteilung
- Geruchsreduzierung der Abluft
- Teilabbau organischer Kohlenstoffverbindungen in der Biofilterschicht
- verbesserter optischer Eindruck

Eine Umsetzung der Mieten während der Behandlungsdauer ist nicht erforderlich. Bei Trockenheit ist auf eine regelmäßige Bewässerung zu achten. Einer der Vorteile des Verfahrens ist, dass neben einer eventuellen Bewässerung keine externe Energiezuführung zur Aufrechterhaltung der biologischen Behandlung erforderlich ist (MÜNNICH et al., 2007). Die Überprüfung und Steuerung der biologischen Aktivitäten erfolgt über eine einfache Temperatur- und Gasmessung über Sonden, die sich in den Mieten befinden (SCHENK, 2001).

#### 6.1.1.1 „Nord-Süd“-Technologietransfer

Die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und die deutsche Firma Faber Recycling untersuchten in einem dreijährigen Projekt die Eignung des FABER-AMBRA®-Verfahrens in São Sebastião (Brasilien) (SCHENK, 2001) sowie in Phitsanulok (Thailand) (JANIKOWSKI, 2002). Die wesentlichen Ziele waren den „Nord-Süd“-Technologietransfer nachhaltig zu gestalten und eine Verbesserung der Ablagerungsbedingungen auf der Deponie zu erreichen.

Das Projekt wurde wissenschaftlich vor Ort begleitet, das Know-How der deutschen Partner an die lokalen Mitarbeiter weitergegeben und die Ergebnisse von unabhängigen Gutachtern bewertet (HÜTTNER et al., 2003). Des Weiteren stellte die deutsche Firma die technische Ausrüstung (Raupenbagger, Homogenisierstrome und Siebtechnik) zur Verfügung und führte die Qualifizierung des Personals durch (SCHENK, 2001).

In São Sebastião wurden die klassischen Ziele der MBA verfolgt (SCHENK, 2001):

- biologische Stabilisierung der Abfälle
- Volumenreduzierung der abzulagernden Abfallmenge
- Verbesserung der Ablagerungsbedingungen

In Phitsanulok wurden für die Auswahl eines finanziell und technologisch nachhaltigem, abfallwirtschaftlichem Verfahren Kriterien festgelegt, bei denen das angestrebte Behandlungsziel (HÜTTNER, et al. 2003):

- geringe Investitions- und Betriebskosten,
- geringer und lokal realisierbarer Wartungs- und Reparaturaufwand sowie
- geringe Anforderungen an den Betrieb aufweisen.

Dadurch entschied sich die Kommune in Phitsanulok ebenfalls zur Einführung des FABER-AMBRA®-Verfahrens am bestehenden Deponiestandort. Parallel zu den Studien wurde ein Projekt zur Integration des informellen Sektors in São Sebastião und Lhabela von GTZ unterstützt. Mit der Gründung des Projekts beabsichtigte man auch die Bürger stärker in die Abfallwirtschaft mit einzubeziehen. Durch Schulungs- und Motivationsmaßnahmen wurde das Umweltbewusstsein der Einwohner geschärft. Der regelmäßige Schulbesuch der Erwachsenen führte dabei zum Erfolg des Projekts (HÜTTNER et al., 2003).

In São Sebastião war ein wesentlicher Erfolgsfaktor fernab der technischen Ausstattung die Restrukturierung der Organisation am Standort. In der Anfangsphase des Projektes waren häufig Stillstände aufgrund fehlender

Motivation der kommunalen Mitarbeiter zu verzeichnen. Daraufhin wurden privatwirtschaftliche Strukturen geschaffen, wodurch sich die Situation deutlich verbesserte (SCHENK, 2002). Aber auch bei einer Privatisierung muss die Einbindung notwendiger Fachkompetenz gewährleistet werden. Lokale Firmen bringen diese in der Regel nicht mit, sodass eine Partnerschaft mit externen Unternehmen und deren Wissen erstrebenswert ist (HÜTTNER et al., 2003).

#### 6.1.1.2 Prozessabläufe in São Sebastião und Phitsanulok

In der folgenden Tab. 14 wird die abfallwirtschaftliche Situation in São Sebastião und Phitsanulok dargestellt. Die Daten wurden von dem deutschen Gutachter DI Schenk in einer lokalen Analyse (Stand 2001) erhoben (HÜTTNER et al., 2003).

Parameter	São Sebastião	Phitsanulok
Angeschlossene Einwohner	65.000 permanent 300.000 während der Hochsaison	125.000 permanent
Regenzeit	November – März ca. 2.400 mm Jahresniederschlag	Oktober – April ca. 300 mm Jahresniederschlag
Abfallmenge [jährlich]	30.000 t (Stand 2001)	20.000 t (Stand 2001)
Abfallzusammensetzung	50-60 Masse-% Organik	70 Masse-% Organik 10 Masse-% Kunststoff
Wassergehalt	> 60 Masse-%	> 60 Masse-%
Anlagenkapazität	bis zu 205 t/Tag, 30.000 t/Jahr	40-50 t/Tag, 15.000 t/Jahr

Tab. 14: Abfallwirtschaftliche Situation (Stand 2001) in São Sebastião und Phitsanulok (nach HÜTTNER et al., 2003)

In Tab. 15 sind die zur Durchführung des Deponiebetriebes sowie der MBA erforderlichen Technologien dargestellt. Die zum Betrieb der Deponie erforderlichen Technologien konnten dabei für die MBA übernommen werden (HÜTTNER et al., 2003).

Anzahl	Technische Ausstattung	Funktion
1	Schieberaube mit Schubschild	Verteilung und Verdichtung des homogenisierten Abfalls
1	Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk	Ausheben der Deponiegrube, Verteilung des homogenisierten Abfalls auf Paletten, Errichten und Abbau der Mieten
1	Radlader	Bodenaushubarbeiten
1	LKW mit Kippmulde	Transport von unbehandeltem und behandeltem Abfall, Erdmaterial und Biofilter
1-2	Homogenisierungstrommel(n)	Zerkleinern, Befeuchten und Homogenisieren der Abfälle
	Bewässerungsanlage	Wasserpumpen, Schläuche, Sprinkler
	Belüftungsmaterialien	Paletten, Belüftungsrohre, Biofilter

Tab. 15: Erforderliche Technologien für Deponiebetrieb und MBA mit dem FABER®-AMBRA Verfahren (nach SCHENK, 2001 und JANIKOWSKI et al., 2003)

Im Folgenden werden die Prozessabläufe der MBA in São Sebastião und Phitsanulok sowie dabei untersuchte Probleme und Unterschiede der beiden Standorte genauer angeführt.

#### 1. Abfallannahmefläche

In São Sebastião wurde für die Abfallannahme eine betonierte Fläche errichtet, auf der die Abfälle mittels einer Balkenwaage gewogen und erfasst werden. Hier erfolgt die grobe Vorsortierung. Für die Homogenisierungstrommel wurde dadurch ein stabiler Untergrund für den Beladungsvorgang errichtet. Die Fläche verfügt über Öffnungen für die Entwässerung und wird regelmäßig gesäubert (SCHENK, 2002).

#### 2. Abfallvorsortierung

Der Abfall wird von den Arbeitern am Boden sortiert. Die Abfälle werden hierbei nur oberflächlich nach sperrigen (Reifen, Kisten, Schrott, etc.) und schadstoffhaltigen Gegenständen (Farbdosen) auf Sicht aussortiert. Des Weiteren werden Getränkedosen als Wertstoffe gesammelt. Obwohl der Abfall nur oberflächlich aussortiert wird, besteht keine Gefahr für die Homogenisierungstrommel, da der Anteil der auszusortierenden Gegenstände laut SCHENK (2000) als zu gering angenommen wird.

### 3. Abfallhomogenisierung

Für die weitere mechanische Behandlung des Abfalls werden Rotopressmüllfahrzeuge verwendet, die von Faber Recycling GmbH speziell in eine Homogenisierungstrommel umgebaut wurden (sh. Abb. 30) (SCHENK, 2001).

Drei „mobile“ Homogenisierungstrommeln sind im Einsatz, von denen eine als Reserve dient. Die Trommeln haben eine Kapazität von je 22 m<sup>3</sup>. Folgende Verbesserungen wurden seit Beginn der MBA vorgenommen (SCHENK, 2002):

- Erhöhung der Zerreißwirkung innerhalb der Trommel durch zusätzliche Reißzähne
- An den Niederschlag angepasste Zugabe von Wasser und/oder Sickerwasser
- Reduzierung des Homogenisierungsvorganges von 45 auf 30 Min.



Abb. 30: Homogenisierungstrommel (nach SCHENK 2002)

Die Homogenisierungstrommel ist der technisch aufwendigste Verfahrensbestandteil des FABER-AMBRA®-Verfahrens und ist in Brasilien (Stand 2001) nicht lokal verfügbar. Die Trommel stellt darüber hinaus das zentrale Element dieses patentierten Verfahrens dar. Die Prozesssteuerung erfordert qualifiziertes Personal und eine regelmäßige Wartung. Ersatzfahrzeuge sind sehr langwierig und teuer zu beschaffen. Die Ersatzteilversorgung kann allerdings in Brasilien erfolgen (SCHENK, 2001).

### 4. Mietenaufbau

Der homogenisierte Abfall wird von der mobilen Homogenisierungstrommel auf die mit Holzpaletten belegte Fläche zum Aufsetzen der Miete geschüttet. Anschließend verteilt ein Hydraulikbagger mit Tieflöffel (sh. Abb. 31) den Abfall und errichtet die Tafelmieten auf den Paletten. Dadurch können die Mieten passiv belüftet werden (SCHENK, 2001).

Die Mieten werden auf einer geschobenen und planierten Fläche mit einem leichtem Gefälle (> 1 %) aufgebaut. Dadurch kann das Prozesswasser der Schwerkraft folgend abfließen. Die Höhe der Mieten beträgt 2,5 m (SCHENK, 2002).



Abb. 31: Aufsetzen der Mieten auf Paletten mit einem Hydraulikbagger mit Tieflöffel (nach SCHENK, 2002)

Die Paletten sind in São Sebastião gut verfügbar und von guter Qualität (SCHENK, 2002). In Phitsanulok sind diese schwierig zu beschaffen und von schlechter Qualität (JANIKOWSKI et al., 2003). Bei der Errichtung muss darauf geachtet werden, dass Paletten mit einer nicht zu dichten Lage der Deckbretter verwendet werden, da der Lufteintrag in den Mieten ansonsten nicht gewährleistet werden kann (SCHENK, 2002).

Anschließend wird die Miete mit einem Biofilter abgedeckt. Dazu wird in São Sebastião gehäckselte Eukalyptusrinde in einer Schichtstärke von 20 cm aufgetragen. Allerdings muss dieses Material angeliefert werden. Dies wirkt sich nachteilig auf die Kostenrechnung aus. Als Alternative könnte gesiebtes Rottematerial als Alternative aufgetragen werden (SCHENK, 2001).

In Phitsanulok wird als Biofilter Kokosnussschalen verwendet. Diese sind lokal gut verfügbar und können aufgrund ihrer Eigenschaft als Abfallprodukt der Landwirtschaft kostengünstig angeschafft werden (JANIKOWSKI et al., 2003).

## 5. Rottebetrieb

In São Sebastião besteht aufgrund der hohen Niederschlagsmengen von ca. 2500 – 3000 mm/Jahr die Gefahr einer Vernässung der Abfallmiete. Grundsätzlich bedeutet der Standort in einem ereignisreichen Niederschlagsgebiet noch kein Problem für ein offenes Mietrottenverfahren. Jedoch besteht der Abfall aus einem geringen Anteil an Strukturmaterial und einem hohen Anteil an feuchten Obst- und Gemüseresten. Hierbei kommt es zu einer schnellen Verklumpung des Rottematerials und gefährdet die Luftsauerstoffversorgung für den aeroben Abbau. Die Strukturbildung erfolgt im Wesentlichen durch die Weich- und Hartkunststoffanteile (SCHENK, 2001).

In Phitsanulok kam es im Mietenfuß zu Wasserstauungen. Dies lag an der schlechten Qualität der Paletten und den zu weit auseinanderliegenden Deckbrettern, wodurch die Paletten brachen und der Mietenfuß im Wasser stand (JANIKOWSKI et al., 2003). Inzwischen werden höherwertige Paletten verwendet (HÜTTNER et al., 2003).

Um das Problem der Mietenvernässung in den Griff zu bekommen, wurden verschiedene Lösungsansätze entwickelt (HÜTTNER et al., 2003):

- Reduzierung der Wasserzugabe in der Homogenisierungstrommel
- Gewährleistung des Prozesswasserabflusses durch Befestigung und ausreichendes Gefälle (min. 3 %) der Rottefläche
- Sorgfältige Auswahl der für die Belüftungsschicht eingesetzten Paletten (Haltbarkeit und Beschaffenheit)
- Reduzierung der Mietenhöhe
- Erhöhung der Biofilterschicht

Die Befeuchtung der Mieten in den regenarmen Monaten erfolgt manuell mit Sickerwasser über Bewässerungsschläuche und Sprinkleranlagen (SCHENK, 2002). In Phitsanulok erfolgte während der Trockenzeit zu Beginn des Projekts eine Bewässerung der Mieten mit Hilfe eines Bewässerungsfahrzeuges. Seit 2002 wurden zusätzlich Wasserpumpen und Schläuche installiert. Mit Hilfe einer Sprinkleranlage können je nach Wetterbedingungen die Mieten bewässert werden. Hierbei wird auch das Prozesswasser, das in einfachen Sickerwassergräben gesammelt wird, verwendet (JANIKOWSKI et al., 2003).

In São Sebastião zeigen die Temperaturprotokolle Prozesswerte mit erforderlichen Temperaturen > 50 °C über den mindestens erforderlichen Zeitraum von drei Monaten. Erst gegen Ende des Rottevorganges sinken die Temperaturen (< 50 °C). Die Abluftkamine weisen ebenfalls deutlich warme Luftströme auf. Auch Geruchsproben fielen positiv aus. Die Rottedauer beträgt 9 Monate. Weitere Werte der Untersuchungsergebnisse zeigen, dass eine biologische Stabilisierung erreicht wurde und auch unterhalb der Grenzwerte der österreichischen Rahmenrichtlinie MBA liegen (SCHENK, 2002; LECHNER, 2004). Olfaktometrische sowie hygienische Untersuchungen wurden in den Projekten nicht durchgeführt (HÜTTNER et al., 2003).

An beiden Standorten wird das Sickerwasser über ein einfaches, offenes Grabensystem ohne Abdichtung abgeleitet. Diese Fassung ist unzureichend, da die Gräben nur selten gewartet werden. In Trockenperioden wird das Sickerwasser für die Homogenisierungstrommel verwendet oder mit Hilfe von Sprinkleranlagen über die Mieten verteilt (SCHENK, 2002; JANIKOWSKI et al., 2003).

In São Sebastião als auch in Phitsanulok sind sich die verantwortlichen Mitarbeiter der Firma Faber der Sickerwasserproblematik bewusst. In Zusammenarbeit mit dem Betreiber der Deponie sowie der Stadtverwaltung wurde ein Plan erarbeitet, der eine Erweiterung der Deponierungsflächen im Bereich der jetzigen MBA-Flächen mit einer Basisabdichtung des Untergrundes vorsieht. Auf nicht betriebenen Deponieabschnitten werden die Mieten errichtet. Nach Fertigstellung einer Ablagerungsschicht kann dort die biologische Behandlung weitergeführt werden. Inzwischen kann auf der freien bisherigen MBA-Fläche der Abfalleinbau erfolgen. Mit Hilfe dieses alternierenden Deponie-MBA-Betriebs kann sichergestellt werden, dass die Sickerwasseremissionen gering sind (SCHENK, 2002).

## 6. Siebung des stabilisierten Abfalls

Das mit Strom (380 V / 5,2 A) betriebene Trommelsieb mit einer 80 mm Sieblochung und einer Drehzahl von 15 U/min (sh. Abb. 32) konnte einen maximalen Durchsatz von 4 m<sup>3</sup> stabilisiertem Abfall/h erreichen. Dies macht einen großtechnischen Einsatz des Gerätes nicht möglich. Für ein Mietenvolumen wie in São Sebastião (5.000 m<sup>3</sup>) wäre ein Durchsatz von 30 – 50 m<sup>3</sup>/h erforderlich. Des Weiteren war bei der Besichtigung das Gerät aufgrund eines Elektroschadens nicht betriebsbereit (SCHENK, 2002).



Abb. 32: Trommelsieb (nach SCHENK, 2002)

## 7. Einbau des stabilisierten Abfalls in die Deponie

Der Untergrund wird mit einer HDPE-Folie ausgelegt. Die Sickerwassererfassung und Basisentwässerung fehlen. Ein Kompaktor füllt den behandelten Abfall in die Deponiegrube (SCHENK, 2002).

### 6.1.1.3 Behandlungskosten

Das FABER-AMBRA<sup>®</sup>-Verfahren kann in São Sebastião als auch in Phitsanulok in gleicher Form und mit den gleichen Aggregaten betrieben werden. Die Summe der Kosten belaufen sich in São Sebastião auf rund EUR 15/t und in Phitsanulok auf rund EUR 11/t Inputmaterial (HÜTTNER et al., 2003).

Die höheren Kosten in São Sebastião sind einerseits auf höhere Personalkosten aufgrund schwankender Behandlungsmengen in der touristischen Hauptsaison zurückzuführen. Dadurch werden Reserven in der Behandlungskapazität benötigt. In diesen vier Monaten verdoppelt sich die Anzahl der Arbeiter. Der Verbrauch an Betriebsmitteln steigt im selben Maße an (HÜTTNER et al., 2003).

Ein weiterer Unterschied besteht in den Kosten für das Biofiltermaterial. Da in Phitsanulok Kokosnussschalen aus landwirtschaftlicher Produktion zum Einsatz kommen, können diese kostenextensiv angeschafft werden (JANIKOWSKI et al., 2003). In São Sebastião ist die Beschaffung von Eukalyptusrinden schwieriger und teuer. Als Alternative könnte Grünschnitt als Material verwendet werden (HÜTTNER et al., 2003).

Vor der Planung ist ein möglicher Umbau der Behandlungsfläche zu berücksichtigen. In Phitsanulok musste in einem aufwendigen Verfahren die Behandlungsfläche entsprechend der Deponiebasis vorbereitet werden, wodurch sich die Behandlungskosten pro Tonne Inputmaterial um EUR 2 erhöhten (JANIKOWSKI et al., 2003).

## 7. Kriterienlisten für angepasste Technologien

Im Folgenden werden die zuvor beschriebenen Technologien, hinsichtlich deren Eignung im Sinne einer AT für LGE durchleuchtet. Dafür werden Kriterien entwickelt, welche qualitativ (ja/teilweise/nein; gering/mittel/groß; klein/moderat/groß; gut/schlecht) und quantitativ betrachtet werden können. Zur übersichtlichen Darstellung wurde für die Technologien der Abfallvermeidung und des Recyclings von Altreifen (sh. Kap. 7.6) ein Ampelsystem verwendet. Die Gegenüberstellung der folgenden Technologien soll demnach kein „best practice“ darstellen, sondern aufzeigen für welche lokalen Rahmenbedingungen eine Technologie als angepasst (AT) verstanden werden könnte. Die Kriterien sind demnach ein Leitfaden, womit mögliche Fehlerquellen in der Entscheidungsfindungsphase bei der Einführung und/oder bei einer Verbesserung des abfallwirtschaftlichen Systems eines LGE ausgeschlossen werden können.

### 7.1 Haushaltsnahe Abfallsammelbehälter

In der vorliegenden Studie wurde in diesem Bereich der Fokus auf temporäre Kunststoffsäcke aus LDPE sowie auf permanente Behälter aus recycelten Materialien gelegt, welche in LGE häufig zum Einsatz kommen. Die Kriterien sind in Tab. 16 dargestellt.

Kriterien	Temporäre Kunststoffsäcke aus LDPE	Permanente Behälter aus recycelten Materialien
<b>Technische Ebene</b>		
Widerstandsfähigkeit	gering	mittel
Behälterform ermöglicht vollständige Entleerung	ja	teilweise
Standardisierungsgrad der Behälter	groß	gering
<b>Ökonomische Ebene</b>		
geringe Anforderung an Abfallbudget/Haushalt	teilweise	teilweise
personalintensiv [Abfallsammelpersonal]	ja	ja
geringe Zugriffsmöglichkeit des informellen Sektors auf die Wertstofffraktion	nein	nein
<b>Ökologische Ebene</b>		
Ausreichende Verschleißbarkeit vor herumstreunenden Tieren und klimatischen Verhältnissen möglich	nein	teilweise
vollständige Reinigungsmöglichkeit	schlecht	gut
geeignet für Getrenntsammlung	teilweise	ja
<b>Soziale Ebene</b>		
geringe Schadensanfälligkeit aufgrund der Lebensgeohnheit in LGE	nein	ja
direkter Kontakt mit Abfall erforderlich	ja	ja
Bürgerbeteiligung erforderlich	ja	ja

Tab. 16: Kriterien für angepasste haushaltsnahe Abfallsammelbehälter in LGE

#### Technische Ebene

Die Widerstandsfähigkeit beider Sammelbehälter ist für den erforderlichen Zweck gering oder sehr schlecht. Dies ist einerseits auf die verwendeten Materialien zurückzuführen, allerdings auch auf die Hantierung des Sammelpersonals mit den jeweiligen Behältern. Kunststoffsäcke aus LDPE können entweder durch spitze Gegenstände oder herumstreunende Tiere und auch während des Beladungsvorganges leicht zerrissen werden (COFFEY UND COAD, 2010).

Permanente Behälter aus recycelten Materialien wie Behälter aus Altreifen oder (halbierten) Ölfässern sind größtenteils widerstandsfähig, dennoch können diese durch unsachgemäße Hantierung beschädigt werden und ungünstige Verformungen annehmen. Diese können sich nachteilig auf die vollständige Entleerung auswirken,

wodurch Abfallreste in den Behältern zurückbleiben. Aufgrund des hohen organischen Anteils im Restmüll in LGE kann es durch lange Verweilzeiten der Abfallreste und unter geeigneten Voraussetzungen zum Abbau der organischen Substanz führen (HAZRA und GOEL, 2008). Vasenförmige Behälter aus Altreifen wie in Abb. 2 (sh. S. 18) eignen sich dadurch eher schlecht für die Abfallsammlung. Durch die Bildung von Säuren im Zuge des biologischen Abbaus kann es bei recycelten Behältern aus Metall zu Beschädigungen kommen.

Um die Behälter zu stabilisieren und deren Widerstandsfähigkeit zu verbessern, können Behälter aus Altreifen oder Ölfässern verzinkt werden (COFFEY und COAD, 2010). Dadurch erhöht sich deren Wertigkeit, wodurch es in vielen Fällen – vor allem in Gegenden mit mittleren bis höheren Einkommensschichten – zu Diebstählen dieser Behälter kommt.

Die Standardisierung der Behälter stellt vor allem in dichtbesiedelten, armen Stadtteilen ein Problem dar und kann zum Ausschluss dieser von der geordneten Abfallsammlung führen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Behälter häufig für andere Zwecke verwendet oder je nach Wert des Ausführungsgrades in manchen Fällen gestohlen werden. Eine Standardisierung der Behälter führt zur Maximierung der Produktivität bei der manuellen Abfallsammlung, wobei die physische Konstitution des Abfallsammelpersonals berücksichtigt werden muss (DIAZ et al., 2005).

### Ökonomische Ebene

Kunststoffsäcke werden vielerorts kostenlos zur Verfügung gestellt. Dadurch können die Haushalte, welche die Säcke anschließend als Abfallsammelbehälter verwenden, andere abfallwirtschaftliche Leitungen zahlen. Müssen die Säcke allerdings erworben werden, kann sich dies negativ auf das zur Verfügung stehende Abfallbudget eines Haushalts auswirken. Behälter aus recycelten Materialien können und werden vielerorts vom informellen Sektor hergestellt und können entweder im Zuge eines Tauschgeschäfts oder käuflich erworben werden.

Je höher das Behältervolumen ist, desto höher ist die körperliche Beanspruchung des Sammelpersonals. Nach COFFEY und COAD (2010) sollten die Behälter nicht größer als 50 – 60 l sein um die manuelle Entleerung in ein Sammelfahrzeug zu ermöglichen. Bei Volumina oberhalb von 60 l werden die Behälter in der Regel auf der Straße gekippt wodurch sich der Arbeitsaufwand erhöht und die Abfallsammlung sehr personalintensiv wird. Dies ist nach COINTREAU (1982) in Gebieten mit geringem Einkommensniveau akzeptabel, allerdings nicht in Gebieten mit mittlerem bis höherem Niveau.

Je nach Organisationsform der kommunalen Abfallwirtschaft und beteiligter privater Institutionen, ist es von entscheidender Bedeutung, ob der informelle Sektor Zugriffsmöglichkeit auf die Wertstoffe der Abfallsammelstelle hat. Vor allem auf Haushaltsebene liegen die Wertstoffe in sehr hoher Reinheit vor. Bei beiden untersuchten Behältern hat der informelle Sektor uneingeschränkte Zugriffsmöglichkeit.

### Ökologische Ebene

Eine ausreichende Verschleißbarkeit vor herumstreunenden Tieren sowie vor klimatischen Rahmenbedingungen ist bei Kunststoffsäcken nur bedingt möglich. Diese können von Tieren leicht aufgerissen werden und sind Regen, Schnee, Hitze oder ähnlichem sehr stark ausgesetzt. In Folge dessen wirkt sich dies negativ auf die Ästhetik, als auch auf die Verschmutzung von Kanälen oder Wassergräben bei Ausfließen des Inhaltes aus.

Behälter aus recycelten Materialien stellen hierbei eine robustere Alternative dar, die darüber hinaus auch waschbar sind (COFFEY und COAD, 2010). Dies ist vor allem dann wichtig, wenn – wie in der technische Ebene erwähnt – Abfallreste im Behälter zurückbleiben.

Weiters eignen sich permanente Behälter besser für eine getrennte Sammlung, vor allem dann wenn scharfkantige Materialien getrennt gesammelt werden. Kunststoffsäcke eignen sich gut für die Sammlung der Leichtfraktion wie PET-Flaschen, Altpapier etc., jedoch ist hierbei eine standardisierte Kennzeichnung der Sammelbehälter zu forcieren.

### Soziale Ebene

Die Materialwahl ist in Bezug auf die Lebensgewohnheiten der Benutzer anzupassen. In LGE kommen für die Essenszubereitung im Haushalt häufig natürliche, lokale Ressourcen wie Holz zum Einsatz. Die heiße Asche wird oftmals in den Sammelbehälter geworfen, wodurch Kunststoffsäcke aus LDPE schnell entflammbar sind. Hierbei ist wiederum Informationsarbeit von Nöten, um die Benutzer auf dieses Problem aufmerksam zu machen.

Bei beiden Sammelsystemen muss der Abfallerzeuger den Abfall aktiv entleeren. Hierbei kann es zu kulturellen oder religiösen Restriktionen kommen, die eine Hantierung des Abfalls nicht erlauben. Hinzu kommt die erforderliche Motivation respektive Bürgerbeteiligung, da der Abfallerzeuger motiviert sein muss, den Abfall zu einem bestimmten Punkt zu transportieren. Dies ist auf kulturelle und religiöse Rahmenbedingungen abzustimmen.

## 7.2 Kommunale Abfallsammelstellen

In Tab. 17 werden die Kriterien für die Anpassung kommunaler Sammelsysteme an die lokalen Rahmenbedingungen in LGE dargestellt. Dazu werden die in Kap. 3.2 beschriebenen Technologien zur kommunalen Abfallsammlung dem standardisierten Krankipp-Container in Gaza (sh. Kap. 3.4.2.2 und Kap. 3.4.2.3 sowie Abb. 11) gegenüber gestellt.

Kriterien	Sammelbunker	Wechselcontainer	Krankipp-Container [Case Study]
<b>Technische Ebene</b>			
Anforderungen an Abfallsammeltransportmittel	gering	hoch	hoch
geeignete Siedlungsdichte	hoch	niedrig	hoch
Platzbedarf	klein	groß	mittel
<b>Ökonomische Ebene</b>			
kapitalintensiv	nein	ja	teilweise
personalintensiv	ja	teilweise	ja
Auslastungsgrad des Abfallsammeltransportmittels	gering	groß	groß
<b>Ökologische Ebene</b>			
vollständige Räumungsmöglichkeit	nein	teilweise	ja
Inbrandsetzungsgefahr des Abfalls aufgrund ungeeignetem Design	groß	groß	groß
<b>Soziale Ebene</b>			
geringer Kontakt mit Abfall [Sammelpersonal]	nein	ja	ja
Komplexität der Einwurfvorrichtung	gering	groß	groß
kontrollierte Zugriffsmöglichkeit des informellen Sektors	nein	ja	nein

Tab. 17: Kriterien für angepasste kommunale Sammelsysteme in LGE

### Technische Ebene

Die Anforderungen an die Abfallsammeltransportmittel sind für das Design einer kommunalen Abfallsammelstelle entscheidend. Je nach Siedlungsdichte kann dazu ein enges oder breites Spektrum an Transportmitteln eingesetzt werden. Bunkersysteme können in der Regel auch mit nicht motorisierten, kostenextensiven und lokal verfügbaren Abfallsammelfahrzeugen, wie einfachen Handkarren, kombiniert werden. Wechselbehälter benötigen spezielle Fahrzeuge und Fahrzeugmechanismen um den vollen Behälter gegen einen leeren auszutauschen. Es werden Abroll-, Absetz- und Pressmüllcontainer (mit festgekoppelter oder abgekoppelter stationärer Presse) voneinander unterschieden (MARTIN, 2009). Die Verfügbarkeit und lokale Rahmenbedingungen dieser Fahrzeuge (sh. Kap. 7.4) ist in jedem Fall in der Planungsphase zu untersuchen.

Fahrzeuge für das Wechselbehälterverfahren sind zum Auf- und Abladen der Container mit fahrzeugeigenen Hub- und Absetzkippsystemen, Abrollkippsystemen mit Hakenaufnahme oder Abgleitsystemen mit Seilzug ausgestattet (NASSOUR, 2005). Diese Fahrzeuge können aufgrund der breiteren Ausführung nicht durch enge Gassen gefahren werden. In dieser Hinsicht sind Abfallbunkeranlagen in dichtbesiedelten Gebieten dem Wechselbehälterverfahren vorzuziehen.

Der spezielle Krankippcontainer in Gaza benötigt verschiedene Transportmittel, doch aufgrund des guten Zusammenspiels von Traktoren in engen Gassen und dem LKW-Krankipper (COFFEY und COAD, 2010) ist dieses System zweckdienlich und kann sehr variabel auch bei geringer Platzverfügbarkeit eingesetzt werden.

Bei der Platzsuche für kommunale Abfallsammelbehälter muss der Platzbedarf für die Transportmittel berücksichtigt werden. Dieser kann bei Bunkern aufgrund der Einsetzbarkeit nicht motorisierter Transportmittel gering gehalten werden. Bei Wechselcontainern kann dies zu einem limitierenden Faktor führen, da die dafür benötigten Transportmittel aufgrund des meist großen Einschlagwinkels einen erhöhten Platzbedarf aufweisen. Werden Wechselcontainer in überdachten Depots errichtet, muss die Fahrzeughöhe berücksichtigt werden.

### Ökonomische Ebene

Bunker können mit einfachen, kapitalextensiven und lokal verfügbaren Mitteln errichtet werden (DIAZ et al., 2005) und im Zuge der Entleerung (Räumung) auch mit kapitalextensiven Transportmitteln verbunden werden. Jedoch ist die Räumung von Bunkern ein sehr ineffizienter Prozess. Der Abfall wird aus dem Bunker auf ein Transportmittel geschaufelt. Dies ist sehr zeitaufwendig und erfordert hohen Personalaufwand (COFFEY, 2006) sowie eine gute physische Konstitution des Abfallsammlers und mündet in einem geringem Auslastungsgrad des Transportmittels.

Die Wechselcontainer erfordern eine komplexe Technik zur Aufnahme und zum Absetzen der Transportmittel. Dies mündet in hohe Anschaffungskosten und kann auch zu Problemen führen, wenn die Container und Transportmittel nicht aufeinander abgestimmt sind. Dadurch sind Wechselcontainer anfälliger für Fehlanschaffungen und können sich negativ auf das Budget einer Kommune auswirken. Werden Wechselcontainer in einem Depot zusammengefasst, so kann die Standortakquirierung laut DIAZ et al. (2005) zusätzlich zur Kostenintensivität beitragen.

Der Krankkippscontainer in Gaza erfordert ein spezielles Transportmittelgefüge. Zwar sind Traktoren in LGE vielerorts günstig und lokal zu erwerben (DIAZ et al., 2005), der Ferntransport, welcher mit speziellen Krankipp-LKWs erfolgt, ist wiederum kostenintensiv. Da allerdings eine Räumung der Container in nur wenigen Minuten erfolgen kann und der Prozess mit nur zwei Arbeitern ausgeführt wird, wird die Beladungskapazität des kapitalintensiveren Transportmittels meist vollständig ausgeschöpft (COFFEY und COAD, 2010) und mündet in einem hohen Auslastungsgrad der Transportmittel.

Beim Wechselbehälterverfahren ist der Auslastungsgrad groß, da der Austausch der Behälter auch nur von einem Arbeiter zeiteffizient ausgeführt werden kann. In der Regel werden allerdings die Container meist in halb vollem Zustand transportiert, was wiederum auf den Anteil an hohem organischen Anteil zurückzuschließen ist. Weitere Komplikationen in diesem Bereich werden auf der sozialen Ebene angeführt.

### Ökologische Ebene

Um Hygiene und Geruchsprobleme zu vermeiden müssen die Behälter vollständig geräumt werden können. Dies erfordert bei Bunkern ein hohes Maß an Motivation des Sammelpersonals, sowie kulturelle und religiöse Voraussetzung (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993) dafür, da der Kontakt mit Abfall dabei sehr groß ist. Laut COFFEY (2006) werden Bunker nur unvollständig geräumt. Der zurückbleibende Abfall dient als Lebensraum für Schaben, Fliegen oder ähnlichem. Die unvollständige Räumung wirkt sich auch auf die benötigte Fahrzeugkapazität aus und kann zu Fehlanschaffung in Bezug auf die Beladungskapazität führen.

Eine unvollständige Räumung und schlecht designte Einwurföffnungen führen in vielen Fällen zur Inbrandsetzung des Abfalls. Diese Gefahr besteht vor allem bei Sammelbunkern, verschließbaren Wechselbehältern und beim Krankippcontainer (DIAZ et al., 2005; STERKELE und ZURBRÜGG, 2003). Der in Abb. 4 (sh. S. 21) dargestellte 4 m<sup>3</sup> Absetzkippscontainer hat aufgrund seiner offenen Bauweise und angenehmen Schüttkantenhöhe auf der Vorderseite dabei einen Vorteil gegenüber anderen Systemen. Der Inhalt kann aber durch Unachtsamkeit über die Seite auch ausfließen und somit auch zu dem erwähnten Problem führen.

### Soziale Ebene

Es wurden bereits zwei Kriterien erwähnt, welche auf sozialer Ebene für ein angepasstes kommunales Sammelsystem berücksichtigt werden müssen. Einerseits gilt es vor der Errichtung eines kommunalen Sammelbehälters zu prüfen, ob die Gesellschaft aufgrund kultureller oder religiöser Ansichten zur Sammlung von Abfällen in Behältern bereit ist und wie sehr der Umgang insbesondere mit organischen Abfällen erwünscht, respektive erlaubt ist (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993; NASSOUR, 2005; HANKO, 2009). Der Kontakt mit Abfall sollte demnach so gering wie möglich gehalten werden und ist vor allem für das Sammelpersonal entscheidend. Bei Bunkersystemen ist der Kontakt dabei generell sehr groß, da das Sammelpersonal in die Bunker steigen muss,

um den Abfall auf das Abfallsammeltransportmittel zu befördern. Dieses Problem wird bei Wechselcontainern sowie Krankippcontainern vermieden.

Andererseits ist bei dabei die Einwurfvorrichtung zu beachten, welche bei den oben genannten Systemen zu wilden Ablagerungen von Abfällen neben den Containern führen kann, wenn die Klappen zerstört (DIAZ et al., 2005) oder unachtsam offen stehen gelassen werden (STERKELE und ZURBRÜGG, 2003). Weiters ist die Höhe der Einwurfvorrichtung an die lokale Bevölkerung anzupassen. Bei Bunkern sollte die Höhe der Wand, über die der Abfall geworfen wird, nicht > 1,5 m sein (DIAZ et al., 2005). Eine angenehme Höhe und einfache Lösung ohne Klappen oder ähnliches sind Absetzkippcontainer (sh. Abb. 4, S. 21) (COFFEY und COAD, 2010).

Die Zugriffsmöglichkeit des informellen Sektors, sollte bei der Errichtung von nachgeschalteten Recyclingtechnologien innerhalb der Abfallwirtschaftskette in LGE berücksichtigt werden. Typische Materialien die an diesem Ort getrennt erfasst werden sind in der Regel Altpapier, Kunststoffsäcke, Glasbruch sowie Flaschen und Knochenreste (ALI und HASAN, 2001).

### 7.3 Abfallumladestationen

Die in dieser Arbeit beschriebenen Umladestationen für Abfälle (sh. Tab. 18) dienen der Zwischenlagerung und Umladung von Abfällen von Kurzstreckentransportmitteln auf Ferntransportmitteln, um den Abfall zu einer Behandlungsanlage oder Deponie zu bringen. Als Anhaltspunkt zur Errichtung einer Umladestation nennen COINTREAU (1982) und NASSOUR (2005) die Transportstrecke, wenn diese länger als 20 km ist oder wenn die einfache Fahrzeit mehr als 30 Minuten dauert.

Kriterien	Rampensystem	Chinese-style Transferstation
<b>Technische Ebene</b>		
Mechanisierungsgrad der Abfallumladung	gering	mittel
Stromversorgung nötig	nein	ja
Wartungskomplexität	gering	mittel
geeignete Siedlungsdichte	niedrig	hoch
<b>Ökonomische Ebene</b>		
kapitalintensiv	nein	ja
personalintensiv	ja	nein
<b>Ökologische Ebene</b>		
Möglichkeit zur Sortierung der wertstoffreichen Fraktion am Standort	nein-teilweise	ja
optimierter Einsatz nicht motorisierter Transportmittel	ja	ja
<b>Soziale Ebene</b>		
erforderliches Betriebs-Know-How	gering	mittel
geringer Kontakt mit Abfall	nein	ja
Bevölkerung hat Einblick	ja	nein

Tab. 18: Kriterien für angepasste Abfallumladestationen in LGE

#### Technische Ebene

Eine Abfallumladestation mit einem Rampensystem kann mit einfachen und lokalen Baumaterialien hergestellt werden. Dabei ist die Steigung der Rampe von 8° - 12° (BELLA, 2010) zu berücksichtigen, sollten für die primäre Abfallsammlung Handkarren oder ähnliches zum Einsatz kommen. Dadurch ist es möglich, die Karren die Rampe hinaufzuschieben, um den Abfall auf erhöhter Ebene in den Bunker zu kippen. Die Umladung vom Bunker in das Ferntransportmittel erfolgt ebenfalls manuell.

Bei der *Chinese-style Transferstation* wird der Abfall vom primären Abfalltransportmittel in einen im Boden versenkten Wechselcontainer gekippt. Danach wird mit Hilfe eines hydraulischen Krans der Container aus dem Boden gehoben und entweder gleich auf ein geeignetes Ferntransportmittel gestellt oder auf einer Fläche zwischengelagert. Aufgrund der zeitsparenden Abfallumladung (COFFEY und COAD, 2010) und der dadurch vermiedenen Wartezeiten für ankommende Transportmittel ist der Auslastungsgrad der Transportmittel sehr gut. Voraussetzung für den ordentlichen Betrieb des hydraulischen Kransystems ist eine gesicherte Stromversor-

gung. Die Wartung und Steuerung des hydraulischen Krans erfordert geschultes Wissen. Hinzu kommt die mögliche Errichtung einer Eingangswaage für die Abfälle.

Umladestationen sollten möglichst nahe am Abfallaufkommensschwerpunkt des Entsorgungsgebietes gelegen sein (UMWELTBUNDESAMT, 2011c). Die Standortwahl ist darüber hinaus von der Landverfügbarkeit abhängig und sollte im Zuge dessen in das bestehende Infrastrukturnetz einfach zu integrieren sein. Dies stellt sich bei der Einführung von Rampensystemen in dicht besiedelten Einzugsgebieten (ROUSE und ALI, 2002) als problematisch heraus und ist für dünnbesiedelte Gebiete besser geeignet. Die *Chinese-style Transferstation* kann hingegen unterhalb von großen Wohnkomplexen bei geringem Platzbedarf (COFFEY und COAD, 2010) errichtet werden und eignet sich somit für dichtbesiedelte Gebiete. Bei beiden Systemen gilt es die Emissionen der Ferntransportmittel (sh. 7.4) in Bezug auf die erhöhte Verkehrsbelastung in der Stadt zu berücksichtigen.

Die *Chinese-style Transferstation* hat sich aufgrund des geringen Platzbedarfs und der hohen Flexibilität der an- und abfahrenden Transportmittel in verschiedenen Ländern bewährt und führte laut COFFEY (2006) zur Verbesserung der kommunalen Abfallsammlung in Ägypten, Vietnam und Nicaragua.

### Ökonomische Ebene

In der Regel wirken sich Umladestationen positiv auf das kommunale Budget der Abfallwirtschaft aus, da durch deren Errichtung Transportkosten reduziert werden können und der Einsatz nicht-motorisierter Transportmittel optimiert werden kann (DIAZ et al., 2005).

Ein Rampensystem, wie das Beispiel in Hargeysa zeigt, kann mit kostengünstigen Mitteln errichtet werden. Dazu ist eine Sammelstelle aus Beton und Ziegeln erforderlich. Da der Mechanisierungsgrad bei der *Chinese-style Transferstation* größer ist, kann dieses System als kapitalintensiv beschrieben werden. Hinzu kommen laufende Kosten für Wartung und Reparatur des Kransystems. Allerdings optimiert dieses System den Auslastungsgrad kapitalintensiver Transportmittel mit größerer Beladungskapazität, wodurch sich in der Gesamtheit betrachtet die Anlage mit Investitionskosten von rund EUR 80.000 (COFFEY und COAD, 2010) in wenigen Jahren amortisieren könnte.

Aufgrund des langsamen Prozesses der manuellen Beförderung des Abfalls von der Sammelstätte auf das Ferntransportmittel bei Rampensystem, kann dies als eine personalintensive Technologie betrachtet werden.

### Ökologische Ebene

Eine Integrierung der Wertstoffauslese bei einer Umladestation führt einerseits zur Gewinnung einer wertstoffreichen Fraktion, für die Erlöse erzielt werden können. In Folge dessen werden die Treibstoffkosten reduziert, da weniger Sperrmüll transportiert werden muss (DIAZ et al., 2005). Bei beiden Stationen konnte allerdings nicht ermittelt werden, ob eine Wertstoffauslese stattfindet, könnte aber je nach Platzverfügbarkeit und nach Prüfung der Marktoraussetzungen für Recycling (sh. Kap. 4) integriert werden.

Da beide Umladestationen zu einer Optimierung der nicht motorisierten Transportmittel führen, reduziert sich der Treibstoffverbrauch und führt im Zuge dessen auch zur Reduzierung der Lärm- und Geruchsbelästigung sowie der Treibstoffemissionen.

### Soziale Ebene

Zum Betreiben des Rampensystems wird kein geschultes Personal vorausgesetzt. Aufgrund der mechanisierten Betriebsweise des hydraulischen Kransystems sollte zumindest ein geschulter Arbeiter vor Ort sein, um die ordnungsgemäße Bedienung des hydraulischen Krans sicherzustellen. Die Einstellung von Sicherheitspersonal aufgrund der Überwachung informeller Tätigkeiten am Standort ist zwar nicht für das Betreiben der Anlage an sich erforderlich, wirkt sich aber positiv auf eine ordentlichere Arbeit des Sammelpersonals aus (COINTREAU, 1982).

Der Abfallkontakt kann bei der *Chinese-style Transferstation* sehr gering gehalten werden, hingegen muss das Sammelpersonal bei der Rampe in das Sammelsystem steigen, um von dort den Abfall auf das Transportmittel zu schaufeln. In Ländern, die den direkten Umgang mit Abfall als beschämend empfinden oder verboten ist (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993; NASSOUR, 2005; HANKO, 2009) ist die *Chinese-style Transferstation* dem Rampensystem vorzuziehen. Darüber hinaus kann der Hantierungsprozess mit Abfall vor der Bevölkerung aufgrund des Anlagendesigns besser abgeschirmt werden und so für die Arbeiter einen Vorteil auf sozialer Ebene darstellen.

Allerdings kann mit einem offenen Rampensystem die Umweltbewusstseinsbildung der Einwohner gesteigert und die Einstellung gegenüber Abfall verbessert werden. Beispielsweise ist es für die Einwohner in Surabaya (Indonesien) wichtig zu sehen, dass eine täglich bemannte, betriebene Umladestation existiert. Dies demonstriert den Anrainern eine geordnete Abfallwirtschaft (COINTREAU, 1982).

## **7.4 Transportmittel der kommunalen Abfallsammlung**

In Tab. 19 sind die Kriterien für die Anpassung von Transportmitteln der kommunalen Abfallsammlung in LGE dargestellt.

Kriterien	nicht motorisiert			motorisiert			
	Handkarren	Fahrradkarren	Handkarren von Tieren gezogen	Kleinmotorisierte Transportmittel	Traktoren	LKW-Abrollkipper mit hydraulischem Kransystem	Pressmüllfahrzeuge
<b>Technische Ebene</b>							
Platzbedarf [Einschlagswinkel, Be- und Entladung, Fahrzeugbreite]	gering	gering	moderat	moderat	gering-moderat	hoch	hoch
Für die Abfallsammlung modifizierbar	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Anforderung an Reparaturkapazitäten	gering	gering	gering	moderat	moderat	hoch	hoch
Bodenabstand	gering	gering	gering-moderat	gering	groß	groß	groß
<b>Ökonomische Ebene</b>							
Investitionskosten pro m <sup>3</sup> Abfall	gering	gering	moderat	gering-moderat	gering-moderat	hoch	hoch
Treibstoff- und Wartungskosten pro m <sup>3</sup> Abfall	gering	gering	hoch	moderat	moderat	hoch	hoch
<b>Ökologische Ebene</b>							
Emissionen [CO <sub>2</sub> -Ausstoß, Lärm, Exkremate,...]	gering	gering	hoch	moderat	hoch	hoch	hoch
für hügelige Gebiete geeignet	nein	nein	ja	teilweise	teilweise	ja	ja
Transportmittel ermöglicht effiziente Wertstoffsartierung	ja	ja	ja	ja	ja	teilweise	nein
Abfall vor klimatischen Faktoren ausreichend geschützt	nein	nein	nein	teilweise	nein	ja	ja
<b>Soziale Ebene</b>							
Schüttkantenhöhe [Schulterhöhe des Sammelpersonals Ø 1,5 m]	gering	gering	gering	moderat	gering	hoch	gering
Akzeptanzprobleme aufgrund kultureller und religiöser Ansichten möglich	ja	ja	teilweise	nein	nein	nein	nein
physische Anforderung an das Sammelpersonal	hoch	hoch	gering	gering	gering	mittel	gering

Tab. 19: Kriterien für angepasste Transportmittel der kommunalen Abfallsammlung in LGE

### Technische Ebene

Für die Auswahl eines geeigneten Transportmittels für die kommunale Abfallsammlung in LGE sind zunächst die Siedlungsstruktur und der Platzbedarf des jeweiligen Transportmittels zu berücksichtigen. Dabei können in der Regel Hand- und Fahrradkarren in sehr enge Gassen vordringen und für eine Abfallsammlung in dichtbesiedelten Gebieten der meist armen Bevölkerung für eine geordnete Abfallsammlung sorgen. Aufgrund des kleinen Einschlagswinkels (ROTHENBERGER et al., 2006) können diese für ein breites Spektrum an primären Sammelbehältern eingesetzt werden.

Eine Ausnahme stellen hierbei Traktoren dar, welche mit einer modifizierten Anhängerdeichsel in Form eines Schwanenhalses (COFFEY und COAD, 2010) an dichte Siedlungsstrukturen angepasst werden können. Durch diese Konstruktion kann der Einschlagswinkel um ein vielfaches verkleinert werden.

Laut UNCHS (1988) ist es für die lokale Mittelbereitstellung wichtig, Transportmittel für die Abfallsammlung zu verwenden, die in anderen Bereich bereits eingesetzt werden oder mit deren Technologie die lokale Bevölkerung bereits vertraut ist. Bei jedem untersuchten Transportmittel stellte sich heraus, dass es mit lokalen Mitteln an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden kann. Voraussetzung dafür ist die Motivation der Abfallsammler zur Optimierung. Wichtig ist hierbei, dass die jeweiligen Bedürfnisse der Abfallsammler in den Entscheidungsfindungsprozess mit einbezogen werden (ROUSE und ALI, 2002).

Vor allem Fahrradkarren weisen laut GALLAGHER (1992) ein großes Verbesserungspotential auf, um für die Abfallwirtschaft erfolgreich eingesetzt werden zu können. Die Optimierung ist in der Regel mit lokalen Mitteln möglich. Kommen Fahrzeuge mit Abrollkippsmechanismen zum Einsatz sind der Öffnungswinkel und der Anbringungspunkt des Schaniermechanismus am Aufbau zu beachten und gegebenenfalls zu optimieren. Der Winkel sollte größer als 55 ° sein und der Schaniermechanismus zum Hochkippen der Ladefläche an der Hinterkante des Aufbaus befestigt sein, wodurch die vollständige Entleerung des Inhalts gewährleistet werden kann (COFFEY und COAD, 2010).

Eine spezielle Form der Handkarren ist in Ghana sehr beliebt und verbreitet. Dies sind vierrädrige Leiterwagen mit einer Ladefläche aus Holz. Die Frontachse ist auf einer Drehscheibe zur Optimierung der Beweglichkeit montiert. Manche sind mit Bremssystemen ausgestattet. Die Karren werden von lokalen Metallarbeitern des informellen Sektors aus Altmetallen recycelt. Aufgrund der massiven Bauweise können diese schwerer beladen werden. Allerdings sind diese Leiterwagen aufgrund der stabileren Ausführung und der eingesetzten Materialien im Gegensatz zu gewöhnlichen Handkarren teurer und schwerer (PORTER, 2002).

Je höher der Mechanisierungsgrad eines Fahrzeuges, desto höhere Anforderungen werden an die lokalen Reparaturkapazitäten gestellt. Ersatzteile sollten lokal und gut verfügbar sein und mit lokalem Know-How verarbeitet werden können. Hierbei sind die Traktorensysteme zu erwähnen. Nach DIAZ et al. (2005) sind Traktoren die am häufigsten eingesetzten, motorisierten Transportmittel in der Abfallwirtschaft. Aufgrund der lokalen Verfügbarkeit in LGE und dem Einsatz in der Landwirtschaft stellt die Ersatzteilbereitstellung sowie die Anforderungen an die Reparaturkapazitäten vielerorts kein Problem dar. Anders ist dies bei Transportmitteln, die aus LHE stammen. Die Ersatzteilverfügbarkeit von Pressmüllfahrzeugen ist oft schwierig sowie der Reparaturaufwand komplex (BOADI und KUITUNEN, 2003) und verbraucht viele humane als auch ökonomische Ressourcen. Geringe Anforderungen stellen Handkarren, Fahrradkarren als auch Tierkarren dar.

In LGE und vor allem in Gebieten mit sehr armer Bevölkerung sind die Straßen häufig in schlechtem Zustand. Die regelmäßige Abfallsammlung ist dadurch oft von Wetterereignissen betroffen, die das Schieben von Karren zusätzlich erschweren. Der Bodenabstand zwischen Untergrund und der Unterkante des Fahrzeuges ist daher für eine wetter- und straßengrundunabhängige Abfallsammlung entscheidend. Sehr vielschichtig einsetzbar sind dabei Traktoren, welche allerdings den Straßenuntergrund zur Regenzeit erheblich verändern/beschädigen.

### Ökonomische Ebene

Ebenfalls korrelierend mit dem Mechanisierungsgrad sind die Investitionskosten des Transportmittels pro m<sup>3</sup> zu transportierendem Abfall. Im Gegensatz zu LHE liegt der Fokus in LGE aufgrund der geringen Personalkosten auf der Maximierung der zu sammelnden Tonne/Abfall/Stunde/Fahrzeug (COINTREAU, 1982). Dies mündet im Auslastungsgrad des Transportmittels, die bei kapitalintensiven Technologien möglichst hoch sein sollte.

Von entscheidender Bedeutung ist die Berücksichtigung der laufenden Kosten wie beispielsweise Treibstoffverbrauch sowie die Futtermittelbereitstellung bei Tierkarren. Vor allem ältere motorisierte Fahrzeuge haben einen ineffizienten Treibstoffverbrauch (DIAZ et al., 2005). Die ungenügende Futtermittelbereitstellung für die

Zugtiere der Tierkarren führte zum Versagen der kommunalen Abfallsammlung in Bamako (ANSCHÜTZ und KEITA, 2004), da die finanziellen Mitteln für eine ausreichende Versorgung der Tiere fehlte. Hinzu kamen auch legislative Beschränkungen für diese Art des Abfalltransportes.

### Ökologische Ebene

Auf dieser Ebene sind neben den treibstoffbasierten Emissionen, die Exkremate und Straßenbeeinträchtigungen durch Tierkarren zu nennen, welche in Bamako zum Verbot der Tierkarren führte (ANSCHÜTZ und KEITA, 2004). Im Positiven sind Handkarren und Fahrradkarren zu erwähnen, da diese eine Art Null-Emission-Variante darstellen. Allerdings sind diese eher nicht für hügeliges Terrain geeignet und in der Regel selten mit effizienten Bremsmechanismen ausgestattet (ROUSE und ALI, 2002).

Je älter ein motorisiertes Transportmittel ist, desto höher ist auch meist dessen Treibstoffverbrauch und Emissionsausstoß. Für gewöhnlich sind die motorisierten Fahrzeuge in LGE zwischen 10 und 15 Jahre alt. In manchen Fällen werden auch Fahrzeuge mit mehr als 30 Jahren eingesetzt (DIAZ et al., 2005). Je hügeliger das Terrain ist, desto eher sollten laut UNEP (1996) motorisierte Transportmittel eingesetzt werden. Der erhöhte Treibstoffverbrauch, Lärm und CO<sub>2</sub>-Ausstoß sollte dabei allerdings berücksichtigt werden. Dabei bestimmt die gewichtsbezogene Leistung des beladenen Transportmittels unter anderem den Treibstoffverbrauch. Dazu müssen die geografischen Rahmenbedingungen für die Ermittlung der erforderlichen Motorleistung beachtet werden (COFFEY und COAD, 2010). Eine einheitlich, gültige Leistungsannahme des Motors (kW) kann daher nicht getroffen werden.

Der sinnvolle Einsatz von Pressmüllfahrzeugen in LGE ist aufgrund der meist hohen Abfalldichte zu überdenken und der erhöhte Treibstoffverbrauch beim Pressvorgang zu berücksichtigen. Dabei stellt das austretende Prozesswasser beim Pressvorgang (COFFEY und COAD, 2010) ebenfalls eine Umweltbeeinträchtigung dar. Darüber hinaus sind diese für Gemischtsammelsysteme ungeeignet, da die Reinheit der Wertstoffe beim Pressvorgang sehr minimiert wird und beispielsweise Altglas nur noch mit hohem Aufwand aus dem verpressten Abfall gewonnen werden kann. Da in der Regel gering mechanisierte Abfallsortiereinrichtungen in LGE zum Einsatz kommen (sh. Kap. 4.1), ist die Abfallverpressung für eine effiziente Abfallwirtschaft in diesen Ländern hinderlich.

Aufgrund klimatischer Faktoren sollte die Ladefläche der Transportmittel während der Fahrt verschließbar sein, um den Abfall vor Verwehungen oder zusätzlichem Wassereintritt bei Regen zu verhindern (ROTHENBERGER et al, 2006). Dies ist bei kleinmotorisierten Dreiradrikschas (sh. Abb. 8, S. 31) aufgrund der hohen Bordwand teilweise gegeben. Vollständigen Schutz vor Regen und Verwehungen können der LKW-Abrollkipper mit hydraulisch-verschließbaren Klappen (COFFEY und COAD, 2010) und das Rotopressmüllfahrzeug bieten.

### Soziale Ebene

Auf der sozialen Ebene sind beim Einsatz der beschriebenen nicht motorisierten Transportmittel auf die lokalen Rahmenbedingungen im Bereich der kulturellen Gegebenheiten und die Gesetzgebung zu achten. Diese können bei Hand- als auch Fahrradkarren zu Akzeptanzproblemen führen. Vor allem in muslimischen Kulturen wird die Arbeit mit Abfall als beschämend gesehen und führt bei allen drei beschriebenen nicht motorisierten Transporttechnologien zu Problemen. Probleme gibt es hierbei vor allem in der Primärsammlung auf Haushaltsebene, da Männer einen Mindestabstand zu verheirateten Frauen halten müssen (ROUSE und ALI, 2002). Aus diesem Grund müssen Frauen (in einigen Fällen auch Kinder) für die Sammlung eingesetzt werden. Ob diese Tätigkeit für Frauen und Kinder geeignet ist, wird in der vorliegenden Arbeit nicht diskutiert, sollte allerdings in den Entscheidungsfindungsprozessen vor Ort berücksichtigt werden. Da die Sammeltätigkeit kein gut geschultes Personal voraussetzt, wird dieser zusätzliche Personalaufwand als kostenintensiv eingestuft und trägt zur Armutszureduzierung bei.

Bei manueller Beladung des Transportmittels sollte die Schüttkantenhöhe der Ladefläche nicht größer als 1,5 m sein, respektive an die Schulterhöhe eines durchschnittlichen Abfallsammlers angepasst werden (COINTREAU, 1982). Je geringer die Schüttkantenhöhe, desto leichter ist es für das Sammelpersonal, den Abfall auf die Ladefläche zu schaufeln. Für gewöhnlich haben nicht motorisierte Transportmittel eine geringe Schüttkantenhöhe.

Bei motorisierten Transportmitteln ist der manuelle Beladungsprozess aufgrund der höheren Schüttkante problematisch. Eine Ausnahme stellen dabei Pressmüllfahrzeuge dar. Aufgrund der Schüttkantenhöhe von rund 1,2 m kommen diese bei manuellen Beladungsprozessen häufig zum Einsatz. Diese sollten allerdings nicht aufgrund der angenehmen Schüttkantenhöhe eingesetzt werden, sondern wenn der eigentliche Zweck der Abfallverpressung während des Transportes sinnvoll ist. Dabei ist es wichtig genaue Daten bezüglich der Abfalldichte

zu kennen. Diese Daten liegen allerdings in vielen Fällen nicht vor oder werden von anderen Stadtteilen, welche gänzlich andere Abfallzusammensetzungen aufweisen können, fälschlicherweise übernommen. Eine Verpressung ist ab einer Abfalldichte von  $> 250 \text{ kg/m}^3$  sinnvoll und ändert sich je nach Beladungsmethode, wenn während des Beladungsprozesses mit Schaufeln oder Mistgabeln der Abfall mit Sauerstoff vermischt wird (COFFEY und COAD, 2010).

Vor allem bei den nicht motorisierten Transportmitteln – mit Ausnahme der Tierkarren – spielt die physische Konstitution des Abfallsammlers eine wesentliche Rolle. Nach ROUSE und ALI (2002) sind Frauen oft zu schwach um die Handkarren alleine zu schieben. Aufgrund dessen muss eine zusätzliche Person den Karren schieben. Damit physische schwache Personen die Sammeltätigkeit mit Handkarren alleine ausführen können, können zusätzliche angebrachte Vorderräder zur Gewichtsentlastung beitragen. Die Anbringung größerer Räder wie beispielsweise in Hanoi (Vietnam) bringen nach COFFEY und COAD (2010) weitere Vorteile und erleichtern die Arbeitsweise.

## 7.5 Abfallsortiereinrichtungen

Bei einem hohen organischen Anteil im Abfall in LGE stellt sich die Frage, ob eine Sortierung der Abfälle am Ende der Abfallkette überhaupt sinnvoll ist. Laut COINTREAU (1982) ist der Prozentwert der Materialien für das anschließende Recycling von Glas, Metallen und Kunststoff, die mit Hilfe mechanisierter Sortierprozesse mit Magnetabscheidern oder Trommelsieben aussortiert werden können so gering, dass „End-of-Pipe“-Sortieranlagen in der Regel nicht wirtschaftlich sind.

Im Zuge dessen wird in Tab. 20 eine teilmechanisierte Sortieranlage, welche in Iloilo (Philippinen) am Standort einer Deponie errichtet wurde (PAUL et al., 2007; PAUL et al., 2009; PAUL et al., 2010), einem getrennten Nass-Trocken-Sammelsystem am Ort der Abfallentstehung (NASSOUR, 2005) gegenübergestellt.

Kriterien	Sortierung am Ort der Entstehung [getrennt-Sammelsystem]	Teilmechanisierte Klauanlage [End-of-pipe]
<b>Technische Ebene</b>		
Mechanisierte Wertstoffgewinnung	nein	ja
Sichere Strom- und Treibstoffversorgung am Standort nötig	nein-teilweise	ja
Wartungsaufwand	gering	groß
Anforderung an die Abfalllogistik	groß	gering
<b>Ökonomische Ebene</b>		
kapitalintensiv	ja	ja
personalintensiv	ja	ja
<b>Ökologische Ebene</b>		
potentielle Verunreinigung der organischen Fraktion [Kompostqualität]	gering	groß
treibstoffintensiv	nein *	ja
<b>Soziale Ebene</b>		
Bürgerbeteiligung erforderlich	ja	nein
Kontrolle und Formalisierung informeller Aktivitäten möglich	nein	ja
Know-How Anforderung [Fehlwurf, Materialkenntnis]	groß	groß

Tab. 20: Kriterien für angepasste Sortiereinrichtungen in LGE

\* Annahme: Als Sammelfahrzeuge kommen vorwiegend nicht motorisierte Transportmittel zum Einsatz

### Technische Ebene

Je früher die Wertstoffsammlung in der Abfallwirtschaftskette stattfindet, desto größer ist der Reinheitsgrad der Wertstoffe (ZHU et al., 2008). Durch die getrennte Sammlung am Abfallentstehungsort ist eine Einsparung einer mechanischen Aufbereitung möglich (NASSOUR, 2005), da die Wertstoffe bei einem Nass-Trocken-Prinzip bereits einen hohen Reinheitsgrad aufweisen. Dazu ist es ausreichend, auf Haushaltsebene (standardisierte) gekennzeichnete Abfallsammelbehälter aufzustellen, in denen der organische Abfall von der Wertstofffraktion getrennt gesammelt werden kann.

Eine Sortierung am Ende der Abfallkette erfordert für eine gute Qualität der Wertstofffraktion eine mechanisierte Sortieranlage, wie beispielsweise die in dieser Arbeit beschriebene teilmechanisierte Sortiereinrichtung in Iloilo. Die größten Probleme, die bei dieser Anlage während eines 20-tägigen Testlaufs (PAUL et al., 2007) auftraten waren eine ungesicherte Stromversorgung, Probleme mit dem Kompaktraupenfahrzeug hinsichtlich Reifenbeschädigung und Treibstoffversorgung am Standort, sowie Probleme beim Trommelsieb aufgrund des hohen Wassergehalts im Abfall, da es dadurch häufig zu Verstopfungen kam. Dies korreliert mit den Problemen, die NASSOUR (2005) hinsichtlich fehlgeschlagener Projekte in LGE mit Sortieranlagen identifizierte.

Als Alternative könnten Trommelsiebe durch Scheibenseparatoren ersetzt werden, welche in Europa zur Separation der organischen und heizwertreichen Fraktion eingesetzt werden (NASSOUR, 2005). Diese setzen allerdings eine Zerkleinerungsanlage voraus, wodurch ebenfalls eine hohe Anforderung an eine ausreichend gesicherte Stromversorgung besteht und vor der Implementierung in einem LGE zu überdenken ist.

Werden bei Sortieranlagen die Einlauf-Förderbänder mit einem Fahrzeug beladen, so ist auf bauspezifische und prozesserleichternde Bauelemente, wie beispielsweise eine Rampe, zu achten. Darüber hinaus ist die Breite der Förderbänder entscheidend, um einen unkontrollierten Überlauf zu verhindern. Die Breite sollte dabei > 0,5 m betragen (PAUL et al., 2007).

Als platzsparend und effizient erweisen sich Klauanlagen mit kontinuierlichem Gutstrom, bei denen das zu sortierende Material aufgelockert und dadurch genauer aussortiert werden kann (SCHUBERT, 1999). Dazu wurde in Iloilo ein Vier-Wege-Förderbandsystem installiert, welches ordnungsgemäß funktioniert (PAUL, 2009).

Eine Sortiereinrichtung am Ende der Abfallwirtschaftskette stellt in der Regel geringe Anforderungen an eine gut funktionierende Abfalllogistik dar. Bei einem getrennten Sammelsystem ist bereits die Wahl der Sammelbehälter für ein effizientes Be- und Entladen der Abfallsammelfahrzeuge sorgfältig auszuwählen (ROTHENBERGER et al., 2006). Nach ZHU et al. (2008) sollten unterschiedliche Transportmittel für die verschiedenen Fraktionen eingesetzt werden. Dabei sind die Kriterien für ein angepasstes Transportmittel (sh. Kap. 7.4) zu beachten.

Als einfaches Sammelsystem für LGE empfiehlt sich die Einteilung in eine nasse (organische) Fraktion und in eine trockene (anorganische) Fraktion (NASSOUR, 2005). Aufgrund der hohen organischen Fraktion im Restmüll (ZURBRÜGG et al., 2010) ist dies sinnvoll, da die Behälter mit dem nassen Anteil direkt in eine organische Abfallbehandlungsanlage gebracht werden können.

### Ökonomische Ebene

NASSOUR (2005) folgend, sollten mechanische Sortieranlagen aus Kostengründen an Standorten der Abfallbehandlung oder Sammlung bei gleichzeitig ausreichender Entfernung zu Wohngebieten errichtet werden. Die Investitionskosten der Sortieranlage in Iloilo belaufen sich auf rund EUR 170.000 (PAUL et al., 2007). Die täglichen Betriebskosten belaufen sich auf rund EUR 100, wobei die Personalkosten rund 75 % davon ausmachen (PAUL et al., 2009). Demzufolge kann die Anlage als eine kapital- sowie personalintensive Technologie beschrieben werden.

Je nach erforderlicher und erwünschter Behälterausführung und deren Kriterien für eine AT in LGE (sh. Kap.7.1), Behälteranzahl, sowie Wahl und Anzahl der Abfallsammelfahrzeuge für ein getrennt-Sammelsystem, ändern sich die Kapital- als auch Personalintensivität. Eine Kostenabschätzung vor Einführung eines getrennten Sammelsystems ist in jedem Fall zu prüfen.

Die Wiederverwertung und Selektion von Wertstoffen hängt vorrangig von den Verkaufsmöglichkeiten am Wertstoffmarkt ab. Diese sind neben Angebot und Nachfrage von den gesetzlichen Rahmenbedingungen beeinflusst. Des Weiteren sind die Verkaufsmöglichkeiten von der Entfernung der abnehmenden Industrie und den davon beeinflussten Transportkosten abhängig. Dadurch ist die Abfalltrennung in städtischen Gebieten wesentlich attraktiver als in ländlichen, da die wiederverwertbaren Stoffe konzentriert in großen Mengen anfallen. In Folge dessen siedelt sich die Recyclingindustrie vermehrt in städtischen Gebieten an. Mit zunehmender Entfer-

nung und abnehmenden Abfallmengen reduziert sich die Wirtschaftlichkeit der Wertstofftrennung am Abfallentstehungsort (SANTOS, 2001).

### Ökologische Ebene

Die Sortieranalyse in Iloilo ergab, dass rund 5 % an verkaufbaren, anorganischen Materialien mit der teilmechanisierten Klaubanlage aussortiert werden können. Die organische Fraktion mit rund 13 % wäre für eine Kompostierung geeignet (PAUL et al., 2007). Dabei ist auf die Verunreinigung der organischen Fraktion zu achten, die sich anschließend in der Kompostqualität niederschlägt. Da nach dem Trommelsieb Korngrößen > 40 mm im Gutstrom bleiben und die organische Fraktion anschließend auf den Förderbändern ausgeklaut wird, ist eine Verunreinigung mit Störstoffen sehr wahrscheinlich. Dazu müsste eine feinere Aussortierung der Störstoffe einer Kompostanlage vorgeschaltet werden, um sowohl eine gute Kompostqualität zu erreichen, als auch den biologischen Abbauprozess erfolgreich gestalten zu können.

Sollten wie bereits erwähnt verschiedene Abfallsammelfahrzeuge für ein getrenntes Sammelsystem (ZHU et al., 2008) eingesetzt werden, so ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass die getrennte Sammlung am Abfallentstehungsort kein treibstoffintensiver Prozess ist, sofern die primären meist nicht motorisierten Transportmitteln für eine getrennte Abfallsammlung optimiert sind. Dies unterliegt auch folgenden Aspekt, dass der informelle Sektor meist die Abholung der Wertstofffraktion am Abfallentstehungsort übernimmt (WILSON et al., 2006) und dieser in der Regel mit nicht motorisierten Transportmitteln ausgestattet ist (ROUSE und ALI, 2004).

### Soziale Ebene

Da Techniken, die eine hohe Bereitschaft zur Getrenntsammlung von Altstoffen auf Haushaltsebene erfordern, ein hohes Maß an Motivation des einzelnen Bürgers erfordern und diese laut ALI et al. (2004) selten in LGE anzutreffen sind, ist das erforderliche Maß der Einbeziehung der Bevölkerung in die Abfallwirtschaft zu berücksichtigen. Nach NASSOUR (2005) ist allerdings der Großteil der Einwohner in LGE davon überzeugt, dass Wertstoffe aus dem Abfall gewonnen werden können.

Davon ist vor allem der informelle Sektor überzeugt. Eine Möglichkeit zur Eindämmung und Kontrolle informeller Aktivitäten in diesem Bereich ist die Überführung von dezentralisierten hin zu zentralisierten Sortiereinrichtungen an Abfallsammelpunkten, Umladestationen, Deponien oder ähnlichem (ALI und HASAN, 2001). Die Sortiereinrichtung in Iloilo ist ein Beispiel für eine erfolgreiche Integration informeller Tätigkeiten in eine formelle abfallwirtschaftliche Einrichtung. Die *waste pickers* bekommen regelmäßig Lohn und profitieren von einem wettergeschützten Arbeitsplatz, Arbeitsschutzmaterialien, sowie Zugang zu Trinkwasser und Sanitäranlagen. Allerdings war es für die Arbeiter schwierig, sich an reguläre Arbeitszeiten zu gewöhnen (PAUL et al., 2010).

Die Kooperation der Einwohner mit der Kommune und die Partizipation an der Abfallentsorgung sind wichtige Erfolgskriterien für eine getrennte Abfallsammlung. Die Bürger müssen über das Verbot und die Auswirkungen von *littering* geschult und informiert werden. In Folge dessen sollen sie zur getrennten Sammlung motiviert werden. Die Behälter für unterschiedliche Abfallfraktionen müssen dabei einheitlich gekennzeichnet werden (ZUH et al., 2008). Dabei kann es allerdings aufgrund fehlender Motivation oder Unkenntnis zu Fehlwürfen kommen. Eine Einteilung in eine Nass-Trocken Sammlung wäre demnach ein einfaches Prinzip. Zur erfolgreichen Umsetzung ist dazu eine solide und nachhaltige Öffentlichkeitsarbeit erforderlich (NASSOUR, 2005).

Bei der Integration des informellen Sektors kann vor allem dessen Wissen und Erfahrung im Bereich der Handklaubung in einer Sortiereinrichtung von Nutzen sein, da die Auslese der verwertbaren Stoffe die Haupttätigkeit des informellen Sektors darstellt. Je differenzierter dies geschieht, desto höher ist der Wert des Sekundärrohstoffs für die Primärproduktion (WILSON et al., 2006).

## **7.6 Technologien der Abfallvermeidung und des Recyclings von Altreifen**

Die Reifen von Abfalltransportmitteln sind aufgrund lokaler Rahmenbedingungen in LGE in der Regel sehr schadensanfällig und aufgrund fehlender Reparaturkapazitäten häufig für die Ineffizienz der kommunalen Abfallwirtschaft mitverantwortlich. Daher werden neben Recyclingtechniken auch Abfallvermeidungsmaßnahmen – darunter auch die Reparatur – näher beleuchtet. Dazu dient ein Kriterienbaum (sh Abb. 33), der die Anpassungsfähigkeit und Eignung einer Technologie für Altreifen in einem LGE und die erforderlichen Kriterien (sh Tab. 21) mit Hilfe eines Ampelsystems (grün, gelb, rot) dargestellt. Technologien der energetischen Verwertung wurden in dieser Arbeit nicht erfasst. An dieser Stelle wird auf AHMED et al. (1996) und (BACH, 2009) verwiesen.

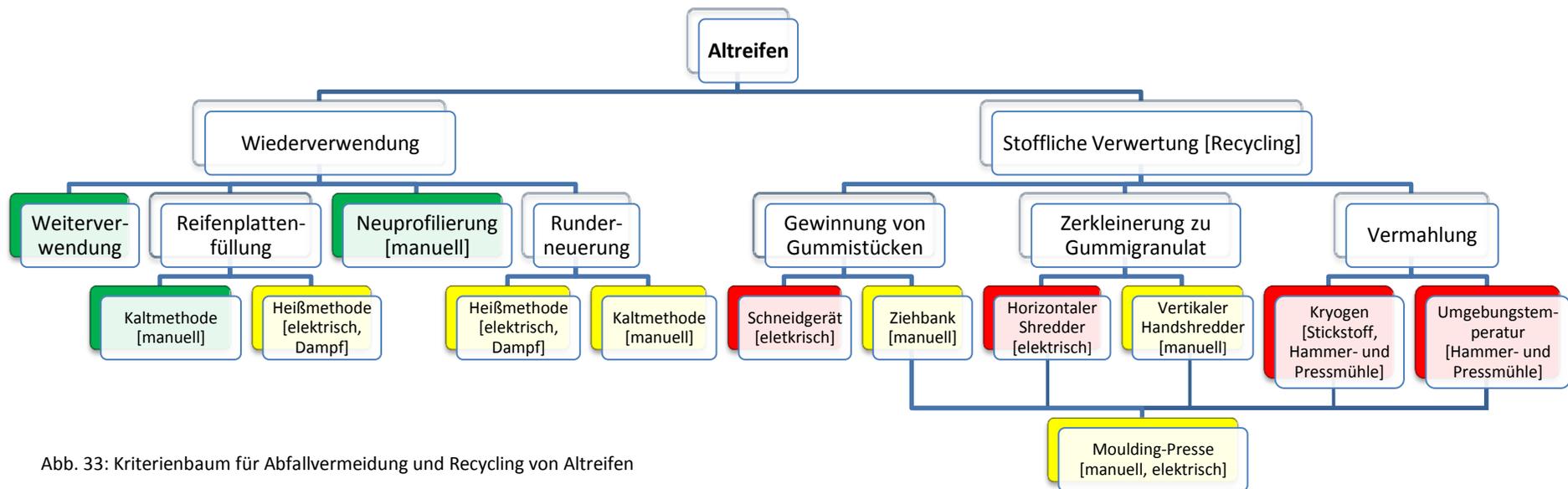


Abb. 33: Kriterienbaum für Abfallvermeidung und Recycling von Altreifen

Green	Yellow	Red
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ lokal verfügbare Technik</li> <li>+ keine Energieversorgung nötig</li> <li>+ geringer Platzbedarf</li> <li>+ Kapitalextensiv</li> <li>+ personalintensiv</li> <li>+ geringes bis mittleres Know-How erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Energieversorgung nötig</li> <li>o mittel-großer Platzbedarf</li> <li>o kapitalextensiv</li> <li>o personalintensiv</li> <li>o Recyclingindustrie und Märkte erforderlich</li> <li>o mittleres-großes Know-How erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energieversorgung nötig</li> <li>- Komplexe Maschinen erforderlich</li> <li>- hohe Anforderung an Ersatzteilverfügbarkeit</li> <li>- kapitalintensiv</li> <li>- Recyclingindustrie und Märkte erforderlich</li> <li>- geschultes Personal erforderlich</li> </ul>

Tab. 21: Kriterien für angepasste Abfallvermeidungs- und Recyclingtechnologien von Altreifen in LGE

### Technische Ebene

Das Recycling von Altreifen stellt auf verschiedenen Prozessstufen mittlere bis hohe Anforderungen an die Kapazitäten eines LGE. Die Herstellung von groben Gummistücken, Gummigranulat (Korngröße 1 – 4 mm) sowie Gummimehl (Korngröße < 1 mm) erfordert den Einsatz elektrisch betriebener Shredder, Hammer- und Pressmühlen (BACH, 2009). Dabei ist auf eine gesicherte Stromversorgung und auf die Instandhaltungskomplexität zu achten. Hinzu kommt die Verfügbarkeit spezieller Materialien, wie beispielweise Stickstoff für die kryogene Vermahlung (AHMED et al., 1996), sowie das erforderliche Know-How für die Herstellung des Sekundärrohstoffs Altgummi.

Zur Herstellung von Recyclingprodukten werden Moulding-Prestechnologien verwendet. Die in dieser Studie beschriebene handbetriebene, elektrisch erhitzte Moulding-Pressen zur Herstellung von recycelten Reifen für Schubkarren in Kalkutta (sh. 4.2.2) ist eine kostenextensive Variante, welche zur ordnungsgemäßen Bedienung und Wartung geschultes Personal erfordert (AHMED et al., 1996). Voraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit der Sekundärmaterialien und der dafür erforderliche Markt.

Aufgrund der hohen Anforderungen an lokalen Rahmenbedingungen, sollten daher Wiederverwendungsmaßnahmen in LGE näher in Betracht gezogen werden, da diese mit einfachen technischen Mitteln realisiert werden können. Dabei sind vor allem die Weiterverwendung, Neuprofilierung sowie die Kalthmethode von Reifenplattenfüllungen zu nennen und gegebenenfalls zu forcieren. Diese erfordern einfache und ohne Strom betriebene (Schneid)Geräte, welche darüber hinaus in LGE vielerorts lokal verfügbar sind. Weiters benötigen die Werkstätten geringen Platz. Auf die Platzverfügbarkeit ist vor allem bei der Runderneuerung von Altreifen zu achten, um ausreichend Lagerplatz für zu reparierende und runderneuerte Reifen zu haben (WANG et al., 2009).

### Ökonomische Ebene

Kleindimensionierte Recyclinganlagen sind meist kapitalextensiver Natur mit geringen Wartungs- und Betriebskosten (HASAN und ALI, 2001). Da großdimensionierte Recyclinganlagen nur bei wachsenden Skalenerträgen effizient arbeiten, ist ein gutes Angebot an Altreifen und Altgummi für diese Anlagen von Nöten. Dies ist bei den werkstofflichen Technologien des Recyclings und der Runderneuerung zu beachten, da aufgrund des hochwertigen Status der Altreifen diese vom informellen Sektor meist am Abfallentstehungsort eingesammelt werden und somit nicht in den Sekundärabfallstrom gelangen (AHMED et al., 1996). Dadurch kann es zu Fehlplanungen bei der Anlagenkapazität kommen.

Im Speziellen ist hierbei die Zerkleinerung der Gummistücke zu Granulat zu erwähnen, da dies ein sehr kapital- und energieintensiver Prozess ist und eine gute Verfügbarkeit von dafür qualifizierten Altreifen voraussetzt (AHMED et al., 1996). Eine kostenextensive und manuell betriebene Alternative stellen hierbei vertikale Handshredder dar (LARDINOIS und KLUNDERT, 1995). Dafür ist allerdings ein hoher Kraftaufwand erforderlich.

Zur Herstellung von Gummimehl ist beim kryogenen Verfahren Stickstoff notwendig, womit die vorzerkleinerten Gummistücke auf ca. minus 100 °C gekühlt werden (AHMED et al., 1996) um anschließend in Hammer- oder Pressmühlen zu einer Korngröße von 50 µm bis 1 mm verarbeitet werden können (BACH, 2009). Die ökonomische Effizienz und Eignung für LGE gilt es bei diesem Verfahren auf jeden Fall zu prüfen und ist nach AHMED et al. (1996) für kleindimensionierte Recyclinganlagen nicht denkbar.

### Ökologische Ebene

Aus ökologischer Sicht ist nach BACH (2009) die Runderneuerung die sinnvollste Verwertungsart, da hierbei der Grundkörper, welcher rund 80 Masseprozent eines Reifens ausmacht, wiederverwendet werden kann. Ein Reifen aus Kautschuk als Endprodukt ist auf Grund der langen Wertschöpfungskette ein sehr hochwertiges Produkt. Wird der Reifen als Sekundärrohstoff für die Herstellung von Schuhen oder ähnlichem verwendet, verliert dieses Material den ursprünglichen monetären Wert. Allerdings verbrauchte das Produkt in der Primärherstellung viele Ressourcen. Diese Umweltkosten werden größtenteils nicht in den Verkaufspreis inkludiert. Demnach kann aus ressourcenschonender Sichtweise die Sekundärherstellung von Schuhen als positiv bewertet werden, solange der Prozess nicht zusätzliche Ressourcen oder Energie benötigt (AHMED et al., 1996).

Nahezu emissionsneutral sind die Technologien der Weiterverwendung und Neuprofilierung von Altreifen. Müssen allerdings Altreifen oder Altgummi für die effiziente Auslastung einer Anlage importiert werden, ist dies auf ökologischer Ebene aufgrund der Transportemissionen zu überdenken.

Allerdings entstehen bei den Prozessen der Neuprofilierung, Runderneuerung und ähnlichen manuellen Prozessen mit Raspeln, Schneidgeräten etc. kleine Partikel und Staub. Mechanische Anlagen wie Shredder oder Moulding-Pressen verursachen üble Gerüche. In manchen Fällen wird auf offenen Werkstätten der Reifenmantel von den Felgen über Feuer gelöst, wodurch gesundheitsschädigende Dämpfe aufsteigen (AHMED et al., 1996). Dies ist auf alle Fälle zu vermeiden und optimieren.

### Soziale Ebene

Zu berücksichtigen sind bei kleindimensionierten Anlagen die Ästhetik und Akzeptanz in der umliegenden Bevölkerung. Die Abfallvermeidungs- und Recyclingtechniken finden häufig in den Armutsvierteln in LGE statt und werden aufgrund der schlechten Ästhetik und unangenehmen Gerüchen als „schmutziges“ Gewerbe von den Anrainern angesehen (HASAN und ALI, 2001).

Die Know-How Anforderung richtet sich nach dem Mechanisierungsgrad der Technologie. Dieser ist für die Weiterverwendung und Neuprofilierung gering. Für das Recycling wird im Allgemeinen gut geschultes Personal benötigt.

## 7.7 Kompostanlagen

In Tab. 22 sind die Kriterien für angepasste Kompostanlagen in LGE dargestellt. Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf zwei dezentralisierte Anlagen. Die Anlagen unterscheiden sich im Verfahren sowie in der Betriebsführung. Das Modell Saaga® ist ein sechskantiger Behälter aus HDPE mit einem Volumen von 100 l und wird von der CMU in Nepal zur getrennten Sammlung im Haushalt für die organische Fraktion zur Verfügung gestellt und im Zuge dessen für die Kompostierung verwendet (TULADHAR, 2004). Der Benutzer betreibt die Anlage individuell. Die Wurmkompostierung wird am Beispiel einer gemeinschaftsbasierten Anlage beschrieben (SAPHTARISHI, 2010).

Kriterien	Behälterkompostierung auf Haushaltsebene – Modell Saaga®	gemeinschaftsbasierte Wurmkompostierung
<b>Technische Ebene</b>		
Mechanisierungsgrad	gering	mittel
gesicherte Wasser- und Energieversorgung nötig	nein	ja
Anforderung an Transportmittel	gering	moderat
Platzbedarf	klein	groß
<b>Ökonomische Ebene</b>		
Betriebskosten	gering	mittel
arbeitsintensiv	nein	ja
<b>Ökologische Ebene</b>		
Anforderung an Substratverfügbarkeit	gering	groß
ausreichende Abtötung pathogener Krankheitserreger	nein	nein
Geruchsbildungspotential	groß	gering
<b>Soziale Ebene</b>		
Wissensvermittlung zum erfolgreichen Betrieb der Anlage	gering	groß
Kontakt mit Abfall	groß	groß

Tab. 22: Kriterien für angepasste Kompostanlagen in LGE

### Technische Ebene

Der Mechanisierungsgrad beider Anlagen ist im Wesentlichen gering. Die sechskantigen 100 l Saaga®-Behälter aus HDPE können lokal in Indien hergestellt werden (TULADHAR, 2004). Wurmkompostanlagen können aus verschiedenen Materialien bestehen. Auf die Homogenität des Substrates muss bei beiden Systemen geachtet werden (DIAZ et al., 2005). In den Fallstudien konnte nicht eruiert werden, wie eine Homogenisierung vollzogen wird. Bei der Wurmkompostierung ist auf die Selektion der Würmer und deren Lebensbedingungen wäh-

rend der Rottephase zu achten. Der weltweit verbreitete Kompostregenwurm *Eisenia foetida* kann die Wärmeentwicklung im Kompost am besten nutzen (VALENTIN, 2006). Sein Optimum liegt zwischen 10 und 30 °C, jedoch darf seine Umgebungstemperatur nicht wärmer als 35 °C sein (RIGGLE und HOLMES, 1994). Der Feuchtigkeitsgehalt liegt zwischen 60 und 75 % (RONALD und DONALD, 1977) und der pH-Wert in einem Bereich von 4,5 bis 9 (EDWARDS und LOFTY, 1976). Dafür ist spezielles Know-How und Prozesskontrolle von Nöten. Dies wird auf der sozialen Ebene genauer beleuchtet.

Bei dem Modell Saaga® als auch in der Fallstudie der gemeinschaftsbasierten Wurmkompostierungsanlage in Pammal findet keine mechanisierte Siebung des Komposts statt. Diese erfolgt jeweils mit einem Kompostsieb von rund 1,2 cm Lochdurchmesser. Eine ausreichende Wasser- und Energieversorgung muss bei der Wurmkompostierung gewährleistet werden (VISVANATHAN et al., 2006).

Aufgrund hoher Treibstoffkosten in LGE (LINZNER, 2008) sollten die Transportwege zur Kompostanlage kurz gehalten werden. Großdimensionierte zentralisierte Anlagen schlugen häufig aufgrund der Nichtbeachtung der lokalen Transportstruktur fehl. Der Vorteil von dezentralisierten Anlagen ist die Kombinationsmöglichkeit mit nicht motorisierten Transportmitteln, sodass diese Technologie einen Schwachpunkt in diesem Bereich aushebeln kann (ALI et al., 2004).

Der Platzbedarf richtet sich nach dem jeweiligen Sammelsystem. Wird die Getrenntsammlung beispielsweise nach einem Nass-Trocken Prinzip (NASSOUR, 2005) (sh. Kap. 7.5) auf Haushaltsebene durchgeführt muss kein zusätzlich großdimensionierter Sortier- oder Lagerplatz bei der Behandlungsanlage errichtet werden (ROTHENBERGER et al., 2006). Findet eine Störstoffauslese und Sortierung der organischen Fraktion erst am Behandlungsort statt, kann eine erhöhte Schwermetallbelastung im Kompost auftreten (HOORNWEG et al., 1999). Der Reinheitsgrad des organischen Abfalls ist demnach bei dem Modell Saaga® am größten, da die getrennte Sammlung auf Haushaltsebene stattfindet und zugleich die organische Fraktion kompostiert werden kann. Die Behälter können je nach Verfügbarkeit eines Gartens, Balkons oder einer Terrasse oder auch vor der Haustüre aufgrund des geringen Platzbedarfs aufgestellt werden.

Bei einer gemeinschaftsbasierten Wurmkompostierung muss der Platzbedarf hingegen größer bemessen werden. Die Anlage in Pammal benötigt rund 300 m<sup>2</sup>, kann jedoch die organische Fraktion von 476 Haushalten behandeln (ALI et al., 2004). Am Standort sind ein Kuhstall, sowie Lager- und Sortierplätze vorhanden (UNICEF, 2010).

### Ökonomische Ebene

Laut HANKO (2009) schlugen aufgrund hoher Betriebskosten viele Projekte mit Kompostierungsanlagen in LGE fehl. Beim Modell Saaga® können diese als gering angenommen werden. Bei der Fallstudie zur Wurmkompostierung in Pammal können mit dem Verkauf des Komposts und der Wertstoffe, sowie den eingehobenen Gebühren nur rund die Hälfte der laufenden Kosten gedeckt werden. Für den erfolgreichen Betrieb ist die Anlage auf externe Finanzierung angewiesen, welche von PepsiCo übernommen wird (SAPHTARISHI, 2010).

Aufgrund der geringen Mechanisierung beider Anlagen können diese nur mit arbeitsintensiven Methoden betrieben werden. Für homogenisiertes Material – vor allem für die Wurmkompostierung – sollten allerdings Abfallzerkleinerungstechnologien angedacht werden, da diese die Kompostqualität deutlich verbessern. Dies ist allerdings eine Kostenfrage. Die Wertstoffe bei der Behandlungsanlage in Pammal werden manuell aussortiert. Ebenso manuell erfolgt die Verpackung des fertigen Komposts in 1 l Säcke (EXNORA GREEN PAMMAL, 2011).

### Ökologische Ebene

Die Substratverfügbarkeit ist im Planungsprozess zu berücksichtigen. Verwertungsgesellschaften in LGE sind hierbei zu berücksichtigen (ASCHABER, 2011a), da die Kompostierung des organischen Abfalls vielerorts in Konkurrenz zur Verfütterung an Tiere im Haushalt oder in der Landwirtschaft steht. Ebenso wird die Gülle oder der Gärrest von Biogasanlagen in der Landwirtschaft am Feld wiederverwertet, anstatt diese für eine Kompostierungsanlage bereitzustellen.

Die Anforderung an die Substratverfügbarkeit ist beim Saaga®-Modell als gering einzustufen, da die Kompostierung individuell und die Substratzugabe diskontinuierlich erfolgen können. Allerdings ist aufgrund der unterschiedlich zugefügten Substrate die Kompostqualität von jedem Haushalt verschieden (KUMARA et al., 2011). Eine Lösung für die heterogene Kompostqualität könnte durch eine nachgeschaltete Mietenrotte sein. Dabei wird der organische Abfall homogenisiert und nochmals humifiziert.

Eine Sicherstellung der Krankheitserregerabtötung könnte in diesem Prozess zusätzlich forciert werden (sh. Kap. 6.1.1.2). Das Ausmaß der Krankheitserregerunterdrückung ist beim Modell Saaga® als auch bei der Wurmkompostierung eher fraglich, da beide Anlagen im mesophilen Bereich arbeiten, wobei die Prozesstemperatur bei der Wurmkompostierung maximal 35 ° betragen darf (RIGGEL und HOLMES, 1994). In diesem Kontext sollten beide Anlagen ebenfalls einer Kompostierungsanlage, welche Krankheitserreger durch thermophile Prozesstemperaturen unterdrücken kann, vor oder nachgeschaltet betrieben werden. Dabei ist allerdings die anschließende Verwendung des Komposts zu berücksichtigen.

Laut HANKO (2009) schlugen auf Grund der unzureichenden Krankheitserreger- und Unkrautunterdrückung Kompostprojekte in LGE fehl. Ein weiterer Grund für den Misserfolg waren störende Geruchsentwicklungen im Zuge des biologischen Abbaus. Mit diesem Problem ist auch das Modell Saaga® konfrontiert, könnte allerdings mit dem Hinzufügen lokal verfügbarer Materialien wie Sägemehl, Strauchschnitt oder Erdmaterial beseitigt werden. Die Vermittlung dieses Wissens stellt sich dabei als kritisch heraus (TULADHAR, 2011). Als positives Beispiel geringer Geruchsemissionen ist die Wurmkompostierung zu nennen, da der biologische Abbau durch die Würmer geruchlos und ohne aktives Umsetzen der Rotte vollzogen werden kann (HOORNWEG, et al., 1999).

### Soziale Ebene

Bei mangelndem Wissen über den biologischen Abbauprozess und die Substrateignung kann es zu Problemen beim Abbau der organischen Substanz kommen (LARDNINOIS und KLUNDERT, 1993). Bei einem individuell betriebenen Kompostsystem wie das Modell Saaga®, ist die Bereitstellung von Schulungsmaterialien in lokaler Sprache für den erfolgreichen Betrieb entscheidend. Bei gemeinschaftsbetriebenen Kompostanlagen wie der Wurmkompostierung in Pammal kann aufgrund eines vorhandenen Wissenspools und Erfahrungsaustausch schneller auf mögliche Probleme reagiert werden.

Die Hantierung mit organischem Abfall setzt eine sozio-kulturelle Erlaubnis voraus. In Kulturen oder Religionen in denen die Hantierung mit selbigem verboten ist (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993), eignet sich eine Kompostieranlage nicht. Dasselbe gilt es bei Verwertungsgesellschaften (ASCHABER, 2011a) zu berücksichtigen und korreliert mit dem Substratverfügbarkeits-Kriterium.

## **7.8 Biogasanlagen**

In Tab. 23 sind die Kriterien für angepasste Biogasanlagen dargestellt. Dabei werden zwei dezentralisierte Anlagen in Tansania von unterschiedlicher Bauweise gegenübergestellt. Das ARTI-CBS System beruht auf dem indischen *floating dome type* und wird vollständig oberirdisch errichtet. Es besteht aus einem zylindrischen oder kuppelförmigen Gärungsbehälter sowie einem beweglichen Gasbehälter. Wenn Biogas im Gärprozess produziert wird, bewegt sich der Gasbehälter nach oben. Wird anschließend das Biogas verbraucht, sinkt der Behälter wieder nach unten (KOSSMANN et al., 1999) (sh. Abb. 27, S. 50). Die VACVINA-HTASC ist ein chinesisches/indisches *fixed-dome* Modell in Kombination mit einer kolumbianischen Variante eines Gassacks aus LDPE. Der Fermenter wird unterirdisch eingegraben und der Gassack oberirdisch angebracht (RCEE, 2011). Beide Anlagen werden individuell betrieben.

Kriterien	ARTI-CBS [floating-dome type]	VACVINA-HTASC [fixed-dome type]
<b>Technische Ebene</b>		
Platzbedarf	gering	mittel
Reparaturkomplexität	mittel	mittel
Erhöhung des Gasertrags mit lokalen Mitteln möglich	ja	nein
<b>Ökonomische Ebene</b>		
Investitionskosten [EUR/m <sup>3</sup> Fermentervolumen]	550	70
Armutszureduzierungspotential durch Substitution mit Biogas	gering	groß
<b>Ökologische Ebene</b>		
Anforderung an Substratverfügbarkeit	mittel	hoch
Wasserbedarf [l/kg Substrat]	9	5
vulnerabel auf Temperaturschwankungen	ja	nein-teilweise
<b>Soziale Ebene</b>		
erzielbare Kochzeit mit Gasherdd [h/Tag]	0,45	4-5
Schulungsaufwand	hoch	hoch
Instandhaltungsaufwand [Anforderung an regelmäßigen manuelle Beschickung]	hoch	gering
Akzeptanzbereitschaft [aufgrund des zugeführten Substrats]	mittel	gering

Tab. 23: Kriterien für angepasste Biogasanlagen in LGE

#### Technische Ebene

Das ARTI-CBS besteht aus zwei Wasserbehältern aus HDPE. Aufgrund der kleinen Dimension (KARVE, 2006) kann die Anlage auf Balkonen, Terrassen oder ähnlichem oberirdisch errichtet werden. Somit bleibt der Platzbedarf gering. Sowohl das ARTI-CBS als auch die VACVINA-HTASC Biogasanlagen können mit lokalen Kapazitäten in Tansania hergestellt werden, jedoch waren nur 4 von 12 installierten ARTI-CBS in Daressalam in Betrieb. Dieses Problem wird auf der sozialen Ebene weiter diskutiert.

Der Platzbedarf ist aufgrund der großflächigeren Bauweise der VACVINA-HTASC größer zu bemessen. Der Fermenter dieser Anlagen befindet sich Unterhalb der Erdoberfläche, wodurch die Anlage nur auf unbefestigtem Untergrund errichtet werden kann. Allerdings kann dabei der Oberflächenabschluss des Fermenters gleichzeitig als Boden eines Viehstalls dienen und mit einer Toilette verbunden werden (TATEDO, 2008a). Dadurch unterscheiden sich beide Anlagen in der Substratspeisung und dessen Gasertrag. Die VACVINA-HTASC ist für die Ko-Vergärung von Speiseresten, menschlichen und tierischen Fäkalien geeignet und führt zu einer erhöhten CH<sub>4</sub>-Ausbeute. Die Ko-Vergärung fördert dabei die Prozessstabilität (MATA-ALVAREZ, 2003). Allerdings ist aufgrund der Bauweise unterhalb der Erdoberfläche und in Kombination mit Toiletten sowie Viehstall eine mögliche Reparatur eher komplex.

Um den Gasertrag des ARTI-CBS zu erhöhen empfiehlt ARTI den Gasbehälter mit einem Stein oder ähnlichem zu beschweren, womit sich der Druck erhöht und der Output gesteigert werden kann (KARVE, 2006). Aufgrund der oberirdischen Bauweise ist das System gut zugänglich und im Zuge der verbauten Materialien einfach zu reparieren.

Nach einer Prüfung von LOHRI (2009) sind die installierten ARTI-CBS hinsichtlich des undichten Spalts zwischen Fermenter und Gasbehälter und den dadurch 22 %-igen Gasverlust verbesserungswürdig. Laut SNV (2004) werden die Wände des Fermenters der VACVINA-HTASC zu aufwändig verspachtelt, wodurch dieses System bei weniger Materialeinsatz kostenextensiver gehalten werden könnte.

#### Ökonomische Ebene

Die Kosten-Nutzen Analyse einer Biogasanlage ist hauptsächlich von den Substratkosten, der (kommerziellen) Biogaseinspeisung, der Verwendung des Gärrests, sowie den damit erzielten Erlösen und der Art der Betriebsführung abhängig (MSHANDETE und PARAWIRA, 2009).

Die Investitionskosten pro Kubikmeter Fermentervolumen belaufen sich beim ARTI-CBS auf EUR 550/m<sup>3</sup> (ARTI, 2011) und bei der VACVINA-HTASC auf EUR 70/m<sup>3</sup> (TATEDO, 2008a), wobei als Vergleichsbasis die Volumengröße des Fermenters herangezogen wurde. Würde der HDPE Fermenter beim ARTI-CBS durch Altstoffe wie Ölfässer ersetzt, würden sich die Kosten dieser Anlage bedeutend reduzieren. Zu beachten ist hierbei auch, dass die VACVINA Biogasanlagen in ländlichen Gebieten aufgrund der Eignung zur Ko-Vergärung eingesetzt werden und somit eine 1 m<sup>3</sup>-Anlage als unrealistisch eingestuft wird. In der vorliegenden Fallstudie von TATEDO (2008a,b,c) wurde eine 7 m<sup>3</sup>-Anlage beschrieben, welche sich auf Investitionskosten von EUR 500 beläuft. In jedem Fall muss das Design einer Biogasanlage an das Inputmaterial (FAO und CMS, 1996) und dessen Substratverfügbarkeit angepasst werden.

Beide Anlagen wirken sich positiv auf das Haushaltsbudget aufgrund des Substitutionseffekts aus, da konventionelle Brennstoffe wie Holz oder Kohle durch Biogas substituiert werden können (LOHRI, 2009). Dies birgt auch einen positiven Nebeneffekt, welcher für eine Familie der Zeitgewinn durch das Nicht-sammeln von Holz ist. Die zusätzliche Zeit kann für die Erzielung von Einkünften genutzt werden und kann zur Armutsreduzierung führen. In LGE stellt dies darüber hinaus eine Erleichterung der Lebensweise für Frauen und Kinder dar, da diese in vielen Fällen für das Holz sammeln zuständig sind (FAO und CMS, 1996).

Auf dieser Ebene ist weiters das Ziel der Biogasgewinnung zu überlegen. Wie anschließend auf der ökologischen und sozialen Ebene diskutiert wird, ist die mögliche Kochdauer für die Substituierung von konventionellen Brennstoffen durch Biogas entscheidend für den Erfolg einer Biogasanlage. Für das ARTI-CBS muss aufgrund der geringen Kochzeit und der daraus folgenden geringen Substitutionswirkung zusätzlich konventioneller Brennstoff eingekauft, respektive transportiert werden und wirkt sich in Folge dessen negativ auf das Kosten-Nutzen Verhältnis der Anlage aus.

Da beide Systeme im kleinen Maßstab direkt in das Energienetz des Betreibers einspeisen und für einen rund 5-köpfigen Haushalt dimensioniert sind, erübrigt sich die Betrachtung der Einspeisung in das kommunale Energienetz. Würden großdimensionierte Anlagen gebaut werden, wäre dieser Punkt allerdings ein sehr entscheidender Faktor, da die infrastrukturellen Einrichtungen in LGE in den meisten Fällen laut NASSOUR (2005) als unzuverlässig beschrieben werden können.

#### Ökologische Ebene

Die Konkurrenz der Speisereste-Verfütterung an Tiere ist vor allem in ländlichen Gegenden und in Wiederverwertungsgesellschaften (ASCHABER, 2011a) von Bedeutung, wodurch hierbei die Eignung der VACVINA-HTASC mehr Beachtung geschenkt werden sollte. In der vorliegenden Fallstudie (TATEDO, 2008a,b) stellte sich dies nicht als Engpass für den erfolgreichen Betrieb der Biogasanlage dar. Es wird von TaTEDO eine tägliche Zufuhr von 15-20 kg Dung empfohlen, um die konstante Biogasproduktion aufrecht zu erhalten. Dies entspricht bei rund 2 kg Dung/Vieh/Tag eine Mindestanzahl von rund 8 Stück Vieh. Diese Berechnung ist für einen Kleinbauernhof durchaus angemessen, jedoch empfiehlt TATEDO (2008c) in dessen Handbuch die Zufuhr von 700 bis 800 kg Substratmaterial. Dies würde den Dung von mindestens 350 Stück Vieh bedeuten. Dies könnte einerseits zu einem Engpass der Substratbereitstellung bereits in der Startphase führen und sich andererseits auch in höhere Kosten durch die Anschaffung und den Transport des selbigen manifestieren.

Der Wasserbedarf beider Anlagen unterscheidet sich um rund 50 %. Dies ist auf das unterschiedliche Substratmaterial zurückzuführen, da eine ARTI-CBS nur stärke- oder zuckerhaltige Substrate verwendet, die in der Regel einen geringen Wassergehalt aufweisen (KARVE, 2006) und die VACVINA-HTASC bereits wasserhaltige Substrate (menschlicher Urin und tierischer Dung) erhält (TATEDO, 2008a). Dem zu Folge muss bei Errichtung einer Biogasanlage in der Planungsphase die Wasserverfügbarkeit als auch Wasserzugänglichkeit geprüft und gewährleistet werden. Bei limitierter Verfügbarkeit ist demnach jenes System zu wählen, welches einen geringen Wasserbedarf aufweist.

Die Fallstudien beider Anlagen wurden im selben Land durchgeführt und unterlagen daher denselben klimatischen Verhältnissen. Der Methanisierungsprozess beider Anlagen erfolgt im mesophilen Bereich, da die Umgebungstemperatur als Prozesstemperatur genutzt werden kann. Nach KOSSMANN et al. (1999) sind die Errichtung und der erfolgreiche Betrieb einer Biogasanlage in fast jeder klimatischen Zone geeignet, in denen die mittleren Jahrestemperaturen sowie Niederschläge gering sind. Dadurch konnten sich beide Technologien in die lokalen klimatischen Verhältnisse sehr gut eingliedern. Da das ARTI-CBS vollständig oberirdisch installiert wird und ohne zusätzliche Beheizung betrieben wird (KARVE, 2006), ist die Anlage hinsichtlich der Gasproduktion bei stark schwankenden Außentemperaturen, beispielsweise bei sehr unterschiedlichen Tag/Nacht Temperaturen, vulnerabler als die VACVINA-HTASC.

### Soziale Ebene

Für eine rund 5-köpfige Familie mit einem 1 m<sup>3</sup>-ARTI-CBS ist eine Kochdauer von 0,45 Stunden/Tag mit Biogas möglich, wodurch ein Drittel der Kochzeit eines tansanischen Haushalts an einem Tag mit Biogas aufgebracht werden kann (LOHRI, 2009). Eine VACVNA-HTASC erreicht hierbei Werte laut RCEE (2011) von 4-5 Stunden/Tag. Überschüssiges Biogas könnte demnach auch für Elektrizität verwendet werden.

Die Substitution fossiler Brennstoffe im Zuge der anaeroben Vergärung bewirkt nicht nur ökonomische und ökologische Vorteile sondern führt durch das Nicht-sammeln von Brennholz nach RAI (2009) auch zu einem Zeitgewinn von durchschnittlich 3h/Tag/Haushalt. Dieser Zeitgewinn hat großen Einfluss auf die Lebenserleichterung der Frauen und Mädchen, die oftmals vorrangig für das Sammeln von Brennholz zuständig sind. Hierbei ist auch der gesundheitliche Vorteil von Biogas zum Kochen anzumerken, da der Rauch beim Verbrennen von Holz oder Kohle ausbleibt (FAO und CMS, 1996).

Wie auf der technischen Ebene erwähnt wurde kam es bei dem ARTI-CBS aufgrund ungenügender Schulung zu einer hohen Ausfallquote der Anlagen. Ohne die Expertise eines ARTI Technikers vor Ort konnten die Anlagen nicht gewartet werden. Diese Mängel wurden innerhalb eines Monats behoben, wodurch zehn von zwölf Anlagen wieder funktionstüchtig wurden (LOHRI, 2009). Die Pilotanlagen der VACVINA-HTASC wurden von Beginn an mit der lokalen Bevölkerung und Technikern des CCRD geplant und errichtet. Im Zuge dessen konnten lokale Fachkräfte für die Wartung und Errichtung allokiert werden. Eine umfassende Betriebsanleitung wurde von Beginn an in Englisch und Swahili zur Verfügung gestellt (TATEDO, 2008c). Dadurch erlangt allerdings nur die gebildete Schicht Zugang zur Technologie.

Der „Süd-Süd“ Transfer von Biogasanlagen scheitert oft am Verständnis des sozialen Habitus einer Gemeinschaft (ASCHABER, 2011b) und basiert mehr auf individuellen als auf nationalen oder gemeinschaftlichen Interessen (NI und NYNS, 1996). Daher sollte der Instandhaltungsaufwand, also die regelmäßige Substratzuführung, gering gehalten werden und möglichst nicht erheblich in den Tagesablauf des Benützers eingreifen. Dieser Aufwand ist bei einer ARTI-CBS Anlage groß, da jeweils 1 kg Substrat morgens und abends aktiv zugeführt werden muss (KARVE, 2006). Bei einer VACVINA-HTASC Anlage kann dies aufgrund einer Kombination von Toilettenabwasser und eines Viehstalls passiv erfolgen, wodurch der Instandhaltungsaufwand gering gehalten werden kann.

Hinderlich können – wie bei allen Behandlungsanlagen mit organischem Abfall – sozio-kulturelle Faktoren sein, die sich restriktiv auf die Errichtung und den Umgang mit tierischen oder menschlichen Fäkalien auswirken können (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993). Wird der Umgang kulturell und religiös geduldet, so können noch immer Abneigungen gegenüber dem Produkt aufgrund des Substrates entstehen und somit für eine Gesellschaft nicht geeignet sein. Dabei ist die Einstellung gegenüber dem verwendeten Substrat differenziert. Somit ist die Verwendung von Biogas aus Speiseresten zum Kochen für manche Gesellschaftsgruppen weniger bedenkenswert (ASCHABER, 2011b) und kann im Vergleich zu Biogas aus menschlichen oder tierischen Fäkalien zu einer höheren Akzeptanzbereitschaft führen. Dies gilt es vor Errichtung einer Biogasanlage zu berücksichtigen.

## **7.9 Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung vor Deponierung**

In Tab. 24 sind die Kriterien für eine angepasste MBA dargestellt. Dabei wurde der Fokus auf das FABER-AMBRA®-Verfahren gelegt. Die Technologie wurde in Deutschland entwickelt und im Zuge von Machbarkeitsstudien für eine Anwendung in Brasilien und Thailand vorgeschlagen. Dabei handelt es sich um einen „Nord-Süd“-Technologietransfer. Grundsätzlich ist die Zielsetzung der MBA in LGE anders als in LHE, in denen die stoffstrom-spezifische Behandlung unter Separierung der heizwertreichen Fraktion im Vordergrund steht. In LGE ist das Ziel in den meisten Fällen die Überführung einer unkontrollierten Abfallablagerung in eine kontrollierte Deponierung bei gleichzeitiger Rückgewinnung von Wertstoffen (HÜTTNER und WUCKE, s.a.).

Kriterien	FABER-AMBRA® Verfahren
<b>Technische Ebene</b>	
Automatisierungsgrad der Sortierung	gering
Mechanisierungsgrad des biologischen Prozesses	mittel
lokale Verfügbarkeit technischer Ausrüstung möglich	nein-teilweise
gesicherte Strom- und Treibstoffversorgung nötig	ja
<b>Ökonomische Ebene</b>	
Kosten [EUR/t Input]	12-15
personalintensiv	ja
<b>Ökologische Ebene</b>	
Wasserkreislaufführung möglich	ja
Sickerwassererfassung nach dem Stand der Technik	nein
Geruchsbildung	keine-gering
<b>Soziale Ebene</b>	
Know-How Anforderung	hoch
Instandhaltungsaufwand	mittel
Auswirkung auf den informellen Sektor und dessen Integration	groß
Akzeptanzbereitschaftspotential	groß

Tab. 24: Kriterien für angepasste MBA am Beispiel des FABER®-AMBRA Verfahrens

#### Technische Ebene

Der Automatisierungsgrad der Sortierung ist gering, da die Aussortierung der Stör- und Wertstoffe am befestigten Abfallannahmepplatz manuell auf Sicht erfolgt. Dabei werden die Abfälle oberflächlich nach sperrigen und schadstoffhaltigen Gegenständen aussortiert. Getränkedosen werden in São Sebastião als Wertstofffraktion getrennt erfasst (SCHENK, 2002). Danach wird der Abfall von den Arbeitern in ein Pressmüllfahrzeug geschauvelt, welches von der deutschen Firma Faber Recycling GmbH in eine Homogenisierungstrommel umgebaut wurde. Aufgrund der geringen Schüttkantenhöhe (COINTREAU, 1982) ist dieses Fahrzeug für eine manuelle Beladung gut geeignet.

Der homogenisierte Abfall wird anschließend im selben Fahrzeug zur biologischen Behandlungsstufe transportiert. Die Stabilisierung der biologischen Substanz erfolgt im Zuge eines offenen Mietrotteverfahrens. Der Mechanisierungsgrad des biologischen Prozesses ist aufgrund der passiven Belüftung gering. Dazu wird der homogenisierte Abfall auf Holzpaletten aufgeschüttet. Ein Radlader verteilt den Abfall gleichmäßig und baut diesen zu Mieten auf. Um für den benötigten Luftsauerstoffaustausch zu sorgen, werden Kunststoffrohre in den Mieten vertikal errichtet, sodass im Kaminzugverfahren die warme Luft passiv entweichen kann (HÜTTNER et al., 2003). Sollte die Verfügbarkeit von Kunststoffrohren ein Problem darstellen, so könnten diese durch Bambusrohre oder dergleichen ersetzt werden. Darüber hinaus ist ein Umsetzen der Mieten während der Behandlungsdauer nicht erforderlich (HÜTTNER et al., 2003). Um eine Mietenfussvernässung zu verhindern, war es nötig das Gefälle der Mieten von 1 ° auf 3 ° zu erhöhen (SCHENK, 2002) und die Paletten auf deren Eignung zu prüfen und gegebenenfalls zu verbessern (JANIKOWSKI et al., 2003).

Das modifizierte Pressmüllfahrzeug als Homogenisierungstrommel ist der technisch aufwendigste Bestandteil des FABER-AMBRA® Verfahrens und ist in Brasilien lokal nicht verfügbar (SCHENK, 2001). Dabei muss die Ersatzteilverfügbarkeit berücksichtigt werden. Da das Projekt laufend von Mitarbeitern der Firma Faber Recycling GmbH begleitet wird, findet eine gute Versorgung der Ersatzteile statt. Weitere Fahrzeuge konnten vom Deponebetrieb übernommen werden (SCHENK, 2001; JANIKOWSKI et al., 2003).

Zur Siebung des stabilisierten Abfalls nach der Rottephase wird ein elektrisch betriebenes Trommelsieb verwendet. Aufgrund des geringen Durchsatzes von 4 m<sup>3</sup> stabilisiertem Abfall/h und des Stillstands aufgrund eines Elektroschadens während der Untersuchungsphase (SCHENK, 2002) sollte ein alternatives Gerät überlegt werden. Eine gesicherte Stromversorgung ist des Weiteren für die Balkenwaage der ankommenden Fahrzeuge und allgemeine Gebäudeeinrichtungen nötig. Ebenfalls sollte die Treibstoffversorgung für den Fuhrpark am Standort oder in der Nähe berücksichtigt werden und in die Kostenkalkulation miteinbezogen werden.

### Ökonomische Ebene

Die Behandlungskosten belaufen sich in São Sebastião auf rund EUR 15/t und in Phitsanulok auf rund EUR 11/t Inputmaterial. Der Unterschied ist auf schwankende Behandlungsmengen aufgrund des Tourismus und im Zuge dessen auf einen erhöhten Personalaufwand zurückzuführen (HÜTTNER et al., 2003). Da die Personalkosten in LGE allerdings gering gehalten werden können (COINTREAU, 1982), ist dies für die laufenden Kosten ein zu vernachlässigender Aspekt.

Kosteneinsparungspotentiale sind unter anderem durch den Austausch der Paletten, Kunststoffrohre sowie der aufgetragenen Biofilterschicht gegeben. Die Paletten sind in São Sebastião in guter Qualität und zu billigen Preisen gut verfügbar (SCHENK, 2002). Anders ist dies in Phitsanulok. Die Paletten sind kostenintensiv zu beschaffen und müssen aufgrund der schlechten Qualität (JANIKOWSKI et al., 2003) häufig ausgetauscht werden. Obwohl dies im Jahr der Überprüfung (2003) als ein verbesserungswürdiges Problem anerkannt wurde, hat sich bis zum aktuellen Standpunkt nach Auskunft des Betreibers (SCHLICHT, 2011) nichts geändert.

Ebenso könnte ein alternatives, kostenextensiveres Biofiltermaterial in São Sebastião zum Einsatz kommen. Die bis jetzt verwendete Eukalyptusrinde ist kostenintensiv. Dies könnte durch gesiebten, stabilisierten Abfall ersetzt werden (SCHENK, 2002). Dazu ist jedoch eine funktionierende Siebanlage von Nöten. Die in Phitsanulok verwendeten Kokosnussschalen sind Abfallprodukte der Landwirtschaft und können günstig beschafft werden (HÜTTNER, et al., 2003). Darüber hinaus könnten je nach Verfügbarkeit und Preis die Kunststoffrohre durch Bambusrohre ersetzt und somit die Gesamtkosten reduzieren werden.

Aufgrund des extensiven mechanisch-biologischen Verfahrens, ist der Betrieb der MBA mit dem FABER-AMBRA® Verfahren sehr personalintensiv. Die Anforderungen an das Know-How werden auf der sozialen Ebene im Detail ausgeführt.

### Ökologische Ebene

Die Eignung des FABER-AMBRA® Verfahrens wurde an einem niederschlagsarmen Standort (Phitsanulok ca. 300 mm Jahresniederschlag) sowie an einem niederschlagsreichen Standort (São Sebastião ca. 2.400 mm Jahresniederschlag) geprüft und konnte aufgrund einer gut geplanten Wasserkreislaufführung ordnungsgemäß betrieben werden. Um in niederschlagsreichen Monaten eine Mietenfussvernässung zu verhindern wurde neben der bereits erwähnten Verbesserung des Gefälles die Wasserzugabe in der Homogenisierungstrommel verringert und die Mietenhöhe reduziert, sowie die Biofilterschicht erhöht (HÜTTNER et al., 2003). In regenarmen Monaten erfolgt eine manuell gesteuerte Befeuchtung der Mieten mit dem gesammelten Sickerwasser über Bewässerungsschläuche und Sprinkleranlagen (SCHENK, 2002).

Sicker- und Prozesswasser von der Deponie und Miete werden zwar in offenen Gräben erfasst, allerdings nicht nach aktuellem Stand der Technik (LECHNER, 2004) behandelt. Die Mängel sind den lokalen Mitarbeitern der Firma Faber Recycling GmbH bewusst, wurden allerdings bis zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht behoben. Ebenso fehlt ein Basisdichtungssystem am Deponiestandort (HÜTTNER et al., 2003). Dieses besteht aus einer Basisdichtung, Basisentwässerung und Sickerwassersammlung (LECHNER, 2004). Eine Basisdichtung erfolgt mit einer HDPE Folie (SCHENK, 2002).

Wie bereits erwähnt führten bei Kompostanlagen Geruchsprobleme zum Scheitern der Technologien aufgrund mangelnder Akzeptanz bei der Bevölkerung (NASSOUR, 2005). Obwohl der Standort in ausreichender Entfernung zu Wohnanlagen betrieben wird, sei hier die geringe Geruchsbildung aufgrund der Biofilterschicht erwähnt. Durch diese ist auch eine Unterbindung der Zutrittsmöglichkeit von Tieren gegeben (MÜNNICH et al., 2007) und verhindert den Flug von Sporen oder anderen Krankheitserregern.

### Soziale Ebene

Zur Sicherstellung eines nachhaltigen Erfolges eines „Nord-Süd“-Technologietransfers von einem LHE in ein LGE sind die Übermittlung von Know-How und ein lokaler Kapazitätenaufbau entscheidend. An diesem umfangreichen Projekt waren private und öffentliche Organisationen beteiligt. Ein wesentliches Kriterium für den erfolgreichen Betrieb in São Sebastião war die Überführung der MBA in privatwirtschaftliche Verhältnisse, da es den kommunalen Mitarbeitern an Motivation fehlte und der Betrieb häufig zum Stillstand kam (HÜTTNER et al., 2003).

Da die FABER-AMBRA® Technologie ein extensives Verfahren der MBA darstellt kann der Behandlungsprozess auf einem relativ niedrigen, technischen Niveau gegenüber intensiven Verfahren gehalten werden. Der Prozesssteuerungsaufwand ist darüber hinaus wesentlich geringer und erfolgt manuell. Dies mündet an sich in

einem geringen Instandhaltungsaufwand, jedoch muss die Wartung der eingesetzten Fahrzeuge und dessen Reparaturkomplexität beachtet werden. Zur Betriebsführung wurden lokale Mitarbeiter von Faber Recycling GmbH ausgebildet (HÜTTNER et al., 2003). Dies führte auf sozialer Ebene zu einem nachhaltigen, erfolgreichen „Nord-Süd“-Technologietransfer.

## 8. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wurden auf Basis einer Literaturrecherche Kriterienlisten für AT entlang der Abfallwirtschaftskette für LGE erstellt. Jede untersuchte Technologie wurde dabei auf einer technischen Planungsebene, sowie auf einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Ebene durchleuchtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse für AT auf den jeweiligen Ebenen zusammenfassend beschrieben.

### Technische Ebene

AT für LGE können vor allem autochthon ohne elektrische Energie betrieben werden. Es hat sich gezeigt – beispielsweise SCHENK (2002) und PAUL et al. (2007) – dass Technologien, die eine konstante Stromversorgung benötigen, meist nicht ordnungsgemäß betrieben werden können. Dies liegt laut NASSOUR (2005) an dem meist schlecht ausgebauten Energienetz in LGE, oder wie im Fall der MBA in São Sebastião an schlecht isolierten respektive installierten Stromleitungen.

Des Weiteren ist der Komplexitätsgrad für Installation, Reparatur sowie Instandhaltung gering zu halten. AT können vor allem mit lokalen Mitteln errichtet, verbessert oder adaptiert werden (ZURBRÜGG et al., 2010). Hierbei ist beispielsweise die Umladestation für Abfälle in Hargeysa zu erwähnen, welche durch die Modifizierung des Neigungswinkels der Rampen an kostenextensive, nicht motorisierte Abfallsammeltransportmittel angepasst werden konnte (BELLA, 2010). Dabei empfiehlt es sich nach UNCHS (1988) Technologien für die Abfallwirtschaft zu verwenden, die bereits in anderen Wirtschaftsbereichen in LGE erfolgreich eingesetzt werden. Davon profitiert auch die Ersatzteilbeschaffung, da in diesem Fall die Ersatzteile meist verfügbar sind.

Da die Kluft zwischen arm und reich in LGE in der Regel deutlicher zu spüren ist als in LHE, ist dies auch in der Siedlungsdichte zu sehen. In Städten von LGE lebt die Bevölkerungsschicht mit niedrigem Einkommensniveau meist in sehr dichtbesiedelten Stadtteilen bei einem geringen, externen Versorgungsgrad. Daher ist es wichtig, die Technologien auf deren jeweiligen Platzbedarf zu untersuchen. Beispielsweise sind hierbei nicht motorisierte Abfallsammeltransportmittel wie einfache Handkarren zu nennen, die es ermöglichen, auch der sehr armen Bevölkerung eine geordnete Abfallwirtschaft zu bieten. Wichtig ist allerdings dabei, den Fokus nicht nur auf ein Kriterium zu legen, sondern die Kriterien auf allen Ebenen ganzheitlich zu betrachten und die abfallwirtschaftlichen Daten für das abfallwirtschaftliche Einzugsgebiet zu erheben und prüfen (COFFEY und COAD, 2010). Laut UNEP (1996) sind fehlende oder falsche abfallwirtschaftliche Daten ein Grund für die Fehlanschaffung respektive Bereitstellung von Technologien von Drittstaaten.

Generell empfiehlt sich in der Planungsphase zu überlegen, welcher Nutzen mit einer abfallwirtschaftlichen Technologie erreicht werden soll. Vor Implementierung oder Errichtung einer Technologie ist daher zu prüfen, ob das vorhergehende Glied in der Abfallwirtschaftskette funktioniert, oder dieses bereits Mangelerscheinungen aufweist und verbesserungswürdig ist.

### Ökonomische Ebene

Eine AT kann mit einem kleinen Budget für laufende Aufwendungen ordnungsgemäß betrieben werden (ZURBRÜGG et al., 2010). Vor allem aufgrund hoher Betriebskosten sind „Nord-Süd“-Technologietransfers in der Vergangenheit gescheitert (NASSOUR, 2005).

Dies ist auf den Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad einer Technologie zurückzuführen. Beispielsweise werden Pressmüllfahrzeuge häufig aufgrund von sekundären Eigenschaften angeschafft, ohne die laufenden Kosten zu berücksichtigen. Da der Pressvorgang bei hoher Abfalldichte nicht sinnvoll ist und dieser darüber hinaus den Treibstoffverbrauch erhöht, führt eine Modernisierung des Fuhrparks meist zu einem Loch im kommunalen Abfallwirtschaftsbudget (COFFEY und COAD, 2010). Extensiv betriebene Technologien, wie beispielsweise eine VACVINA-HTASC Biogasanlage (TATEDO, 2008a), kann mit geringem, monetärem Aufwand erfolgreich betrieben werden, da der Mechanisierungsgrad gering ist.

In dieser Hinsicht basiert eine AT auf der Optimierung des Mechanisierungsgrades sowie auf der Steigerung der Arbeitskraftproduktivität. Das bedeutet, dass in Stadtteilen, in denen das Einkommensniveau gering ist, arbeitsintensive Technologien eingesetzt werden sollten. In Gebieten mit höherem Einkommensniveau sollten hingegen die eingesetzten Arbeiter reduziert oder gering gehalten werden (COINTREAU, 1982).

### Ökologische Ebene

Auf dieser Ebene sind vor allem schlecht geplante Behältergrößen und Ausführungen der Sammelsysteme zu erwähnen, die aufgrund unvollständiger Räumungsmöglichkeit zu Geruchsproblemen führen und der Inhalt sowie Ausfluss von den Anrainern oder Abfallsammlern in Brand gesetzt werden (STERKELE und ZURBRÜGG, 2003; DIAZ et al., 2005). Geruchsprobleme waren auch Gründe für das Fehlschlagen von Kompostprojekten in LGE (NASSOUR, 2005). Hierbei ist beispielsweise die Hauskompostierung in Saaga®-Behältern zu erwähnen. Allerdings würde sich das Geruchsproblem mit lokalen Mitteln kontrollieren lassen (TULADHAR, 2004), vorausgesetzt, die Benützer werden darüber mit Schulungsunterlagen in Kenntnis gesetzt. Positiv zu erwähnen ist hierbei das FABER®-AMBRA Verfahren der MBA in Brasilien und Thailand, welches lokal verfügbare Biofiltermaterialien als Abdeckschicht einer Mietrotte verwendet und somit eine störende Geruchsbildung hemmt.

Ein wesentlicher Aspekt auf dieser Ebene ist die Stabilisierung der organischen Substanz aufgrund der charakteristischen Abfallzusammensetzung in LGE mit einem organischen Anteil von über 50 % im Restmüll (HOORNWEG et al., 1999; ALI et al., 2004; ZURBRÜGG et al., 2010). Dadurch erlangt die Stabilisierung des Kohlenstoffs besonders im Bezug auf das Treibhausgas CH<sub>4</sub> in LGE einen hohen Stellenwert. Mit der Erzeugung von Biogas in einem ARTI-CBS (KARVE, 2006) oder VACVINA-HTASC (RCEE, 2011) wird die Menge an unkontrollierten Depo-niegas vermieden und zusätzlich ein Gewinn für Mensch und Umwelt sichergestellt (FAO und CMS, 1996). Eine weitere Variante stellen die bereits erwähnten Kompostanlagen dar, deren Endprodukt eine Marktstruktur benötigt, die häufig bei Errichtung dieser Anlagen in der Planungsphase übersehen wurde (HOORNWEG et al., 1999; ALI et al., 2004; ROTHENBERGER et al., 2006; KUMARA et al., 2011).

Weitere Emissionen wie CO<sub>2</sub> oder Lärm sind so gering wie möglich zu halten. Diese sind beispielsweise bei der Auswahl eines geeigneten Transportmittels oder bei der Standortwahl von Abfallumladestationen zu berücksichtigen. Doch hierbei sollen nicht nur motorisierte Transportmittel erwähnt werden, sondern auch Tierkarren, die aufgrund der Straßenbeeinträchtigungen (Verkehrsstaus, Exkrememente) in Bamako zum Verbot der selbigen als Abfalltransportmittel führten (ANSCHÜTZ und KEITA, 2004). Dabei empfiehlt sich unter Einbeziehung aller Stakeholder die Anschaffung von Technologien zu planen und in einem gemeinsamen Konsens auszuwählen, wie es beispielsweise in gemeinschaftsbasierten Systemen (ALI et al., 2004) oder bei UWEP (ANSCHÜTZ und KEITA, 2004) der Fall ist.

Im Bereich des Altstoffrecyclings gilt es die Einführung einer getrennten Sammlung am Abfallentstehungsort zu überdenken. Laut COINTREAU (1982) ist der Prozentwert der Fraktionen von Glas, Metallen und Kunststoff im Restmüll, die mit Hilfe mechanisierter Sortierprozesse mit Magnetabscheidern oder Trommelsieben für das Recycling aussortiert werden können, so gering, dass „End-of-Pipe“-Sortieranlagen in der Regel nicht wirtschaftlich sind. Dabei ist der Reinheitsgrad der Materialien hervorzuheben, der am Ort der Abfallentstehung am höchsten ist. Umso einfacher und gering-mechanisierter/automatisierter kann eine anschließende Sortier- oder Recyclinganlage zum Einsatz kommen (ZHU et al., 2008). Dabei könnte eine getrennte Sammlung nach einem Nass-Trocken Prinzip (NASSOUR, 2005) unter Berücksichtigung der Kriterien für deren Eignung in einem abfallwirtschaftlichen Einzugsgebiet eines LGE erfolgen.

### Soziale Ebene

Kulturelle und religiöse Ansichten sind bei der Wahl einer Abfalltechnologie zu berücksichtigen. Eine Technologie die sich in dieser Hinsicht für asiatische LGE bewährt hat, kann in manchen LGE in Afrika oder Süd-Amerika zu Akzeptanzproblemen führen, wenn der Abfall nicht als Ressource, sondern als abstoßend und schmutzig empfunden wird. Im Speziellen ist hierbei der Umgang mit organischem Abfall zu nennen (LARDINOIS und KLUNDERT, 1993). Allerdings birgt diese Fraktion im Zuge der anaeroben Vergärung nicht nur ökonomische und ökologische Vorteile, sondern führt durch das Nicht-sammeln von Brennholz nach RAI (2009) auch zu einem Zeitgewinn von durchschnittlich 3h/Tag/Haushalt. Dieser Zeitgewinn hat großen Einfluss auf die Lebenserleichterung der Frauen und Mädchen, die oftmals vorrangig für das Sammeln von Brennholz zuständig sind. Hierbei ist auch der gesundheitliche Vorteil von Biogas zum Kochen anzumerken, da der Rauch beim Verbrennen von Holz oder Kohle ausbleibt (FAO und CMS, 1996).

Im Bereich des Altstoffrecyclings ist der informelle Sektor zu erwähnen, bei dem es sich von der Gesellschaft verachtete Personengruppen handelt, deren Lebensgrundlage die Wertstoffe der Abfälle darstellt (WILSON et al., 2006). Dabei wird vielerorts übersehen, dass diese Personengruppen aufgrund ihrer positiven Einstellung zum Abfall und ihrem Spezialwissen im Bereich der Wertstoffauslese in abfallwirtschaftliche Projekte integriert werden sollten. Wie das Beispiel einer teilmechanisierten Klaubanlage in Iloilo zeigt (PAUL et al., 2007), konnte

der informelle Sektor erfolgreich in ein formelles System integriert werden und zu einer win-win Situation aller Beteiligten führen.

Bei unkontrollierten Aktivitäten des informellen Sektors kann es zu Akzeptanzproblemen der Bevölkerung aufgrund der darunter leidenden Ästhetik bei abfallwirtschaftlichen Einrichtungen führen. Dies mindert wiederum die Motivation der Bevölkerung ihren Abfall entsorgungsgerecht zu entsorgen (STERKELE und ZURBRÜGG, 2003), wodurch es zu wilden Deponien in Kanälen oder neben Sammelbehältern kommen kann. Dabei sollten vor allem bei öffentlichen Einrichtungen und Abfallsammelzentren die Einführung von Sicherheitspersonal (kostenintensiv, geringes Know-How erforderlich) überdenkt werden, welches in manchen Fällen zur Verbesserung der abfallwirtschaftlichen Situation führte und für eine verbesserte Hygienesituation sorgte (COINTREAU, 1982).

Gescheiterte Technologietransfers sind großteils auf fehlende Schulungsmaterialien zurückzuführen, wie das Beispiel der ARTI-Biogasanlage (LOHRI, 2009) verdeutlicht. Ein intensives Schulungsprogramm von Technikern und Experten der einzuführenden Technologie geleitet (HÜTTNER et al., 2003), ist in Gebieten mit einer hohen Anzahl an Analphabeten gewinnbringender, da einerseits lokale Experten ausgebildet werden können, die einer ungebildeten, einkommensschwachen Bevölkerungsschicht entstammen. Somit kann eine Technologie für LGE als angepasst verstanden werden, wenn diese auch zur Armutsreduzierung einen positiven Beitrag leistet.

## 9. Literaturverzeichnis

- AALOK A., TRIPATHI A.K. und SONI P.: Vermicomposting: A better option for organic solid waste management. *Journal of human ecology* 24/1, S. 59-64, 2008.
- AGUILERA-CORRALES Y., KÖRNER I. und SABORIT-SÁNCHEZ I.: Solid waste management in Cuba under special consideration of composting. In DIAZ L.F., EGGERTH L.L. und SAVAGE G.M. (Hrsg.): *Management of solid wastes in developing countries*. CISA Publisher, Padova, S. 295-304, 2007.
- AHMED R., KLUNDERT VAN DE A. und LARDINOIS I.: *Rubber waste – Options for small-scale resource recovery*. WASTE, Gouda, 1996.
- ALAM R., CHOWDHURY M.A.I., HASAN G.M.J., KARANJIT B. und SHRESTHA L.R.: Generation, storage, collection and transportation of municipal solid waste – A case study in the city of Kathmandu, capital of Nepal. *Waste Management* 28, S. 1088-1097, 2006.
- ALI M., HARPER M., PERVEZ A., ROUSE J., DRESCHER S. und ZURBRÜGG C.: *Sustainable composting: Case studies and guidelines for developing countries*. WEDC Loughborough University, Leicestershire, 2004.
- ALI M. und HASAN A.: Integrating recycling and disposal system for solid waste management in Karachi. <http://www.urckarachi.org/SOLID%20WASTE%20MANAGEMENT%20IN%20KARACHI%20by%20Arif%20Hasan%20Complete%20Study.doc> (Zugriff am 5.05.2011), 2001.
- ANSCHÜTZ J. und KEITA M.: Integrated sustainable waste management in Bamako – Lessons learnt from the UWEP Programme in Mali. In VREEDE DE V. und SCHEINBERG A. (Hrsg.): *UWEP City Series – UWEP Final Report Volume II*. WASTE, Gouda, 2004.
- ANSCHÜTZ J., RUDIN V., SCHEINBERG A.: Integrated sustainable waste management in La Ceiba - Lessons learnt from the UWEP Programme in Honduras. In VREEDE DE V. und SCHEINBERG A. (Hrsg.): *UWEP City Series – UWEP Final Report Volume II*. WASTE, Gouda, 2004.
- ARLOSOROFF S.: WB/UNDP – Integrated Resource Recovery Project: Recycling of wastes in developing countries. In CURI K. (Hrsg.): *Appropriate waste management for developing countries. Proceedings of the First International Symposium on Environmental Technology for Developing Countries*, Plenum Press, New York and London, S. 81-94, 1985.
- ARTI: How to build the ARTI Compact Biogas Digester. [http://en.howtopedia.org/wiki/How\\_to\\_Build\\_the\\_ARTI\\_Compact\\_Biogas\\_Digester?](http://en.howtopedia.org/wiki/How_to_Build_the_ARTI_Compact_Biogas_Digester?) (Zugriff am 6.09.2011), 2011.
- ASCHABER A.: Telefonische (persönliche) Mitteilung. 2011a.
- ASCHABER A.: Influential factors for the implementation of biogas plants in rural areas of Burkina Faso. Unveröffentlichter Konferenzbeitrag, *Micro Perspectives for Decentralised Energy Supply*, Berlin, 2011b.
- BACH J.: *Neue Wege der Abfallwirtschaft in Deutschland – Eine kritische Betrachtung des Recyclings von Altreifen und Gummi*. Igel Verlag, Hamburg, 2009.
- BALL J. M., GROBBELAAR L. und ISSE O.: Scavenging on landfills and dumpsites – An African perspective. In CHRISTENSEN T.H., COSSU R. und STEGMANN R. (Hrsg.): *Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2007, 11<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium*, 2007.
- BELLA DI V.: *Research of appropriate technologies for solid waste management in low-income countries and constraints to their effective implementation – Case studies from Somalialand*. Dissertation am Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio E. Ambiente, Facolta' Di Ingegneria, Università Degli Studi, Brescia, 2010.
- BENTHOUEX P.M. und STEVENS D.K.: Reliability Engineering for appropriate environmental technology. In CURI, K. (Hrsg.): *Appropriate waste management for developing countries. Proceedings of the First International Symposium on Environmental Technology for Developing Countries*, Plenum Press, New York and London, S. 65-80, 1985.

- BHAGAVAN M.R.: A critique of “appropriate” technology for underdeveloped countries. The Scandinavian Institute of African Studies, Uppsala, 1979.
- BOGNER J., ABDELRAFIE AHMED M., DIAZ C., FAAIJ A., GAO Q., HASHIMOTO S., MARECKOVA K., PIPATTI R. und ZHANG T.: Waste management. In METZ B., DAVIDSON O.R., BOSCH P.R., DAVE R., MEYER L.A. (Hrsg.): Climate Change 2007: Mitigation, contribution of Working Group III to the forth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, S. 585-618, 2007.
- BHAT P.R., CHANAKYA H.N. und RAVINDRANATH N.H.: Biogas plant dissemination: Success story of Sirsi, India. Energy for sustainable development 5/1, S. 39-46, 2001.
- BOADI K.O. und KUITUNEN M.: Municipal solid waste management in the Accra Metropolitan Area, Ghana. The Environmentalist 23, S. 211-218, 2003.
- COAD A.: Lessons from India in solid waste management. WEDC Loughborough University, Leicestershire, 1997.
- COAD A.: Solid waste management that benefits the urban poor – Suggested guidelines for municipal authorities under pressure. SKAT, St. Gallen, 2003.
- COINTREAU S.J.: Environmental management of urban solid waste in developing countries – A project guide. The World Bank, Washington D.C., 1982.
- COINTREAU S.J.: Transfer station concepts for developing countries.  
<http://siteresources.worldbank.org/INTUSWM/Resources/463617-1202332338898/transferdesigntions.pdf> (Zugriff am 30.04.2011), s.a.
- COFFEY M.: Lake Victoria water and sanitation initiative – Solid waste management systems for Masaka, Kyotera and Mutukula, towns in Uganda.  
[http://www.unhabitat.org/downloads/docs/6165\\_53290\\_SWM%20UGANDA%20FINAL%20July%2006.pdf](http://www.unhabitat.org/downloads/docs/6165_53290_SWM%20UGANDA%20FINAL%20July%2006.pdf) (Zugriff am 2.05.2011), 2006.
- COFFEY M. und COAD A.: Collection of Municipal Solid Waste in Developing Countries.  
<http://www.unhabitat.org/pms/getElectronicVersion.aspx?nr=3072&alt=1> (Zugriff am 23.02.2011), 2010.
- COLLIVIGNARELLI C., SORLINI S., CAVALLARI S. und VACCARI M.: Waste management and recovery in developing countries. In DIAZ L.F., EGGERTH L.L. und SAVAGE G.M. (Hrsg.): Management of solid wastes in developing countries. CISA Publisher, Padova, S. 33-40, 2007.
- COLLIVIGNARELLI C. und VACCARI M. : Solutions to improve the MSW collection in Louga City, Senegal. In CHRISTENSEN T. H., COSSU R. und STEGMANN R. (Hrsg.): Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2007, 11<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, 2007.
- DIAZ L.F., SAVAGE G.M., EGGERTH L.L., ROSENBERG L.: Solid waste management Volume I. UNEP und CalRecovery Inc., Kenya, 2005.
- DIAZ L.F., SAVAGE G.M. und EGGERTH L.L.: The management of solid wastes in economically developing countries – Major needs. In CHRISTENSEN T. H., COSSU R. und STEGMANN R. (Hrsg.): Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2007, 11<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, 2007.
- EAWAG: Global waste challenges – Situation in Developing countries.  
[http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/global\\_waste\\_challenge.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/global_waste_challenge.pdf) (Zugriff am 17.04.2011), 2008.
- EDWARDS C.A. und LOFTY J.R.: Biology of earthworms. Bookworm Publishing Company, Crawfordsville, 1976.
- ESTOPPEY N.: Evaluation of small-scale biogas systems for the treatment of faeces and kitchen waste – Case study Kochi, South India. EAWAG, Dübendorf, 2010.
- EXNORA GREEN PAMMAL: Exnora Green Pammal – For street bin-free and litter-free India.  
[http://www.greenpammal.in/about\\_us.html](http://www.greenpammal.in/about_us.html) (Zugriff am 10.10.2011), 2011.

- FAO und CMS: A system approach to biogas technology. <http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0022.htm> (Zugriff am 8.09.2011), 1996.
- FERRER I., GAMIZ M., ALMEIDA M. und RUIZ A.: Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Vanilla (Lima, Peru). *Waste Management* 29/1, S. 168-173, 2008.
- GALLAGHER R.: *The Rickshaws of Bangladesh*. The University Press Ltd., Dhaka, 1992.
- GLAWE U., VISVANATHAN C. und ALAMGIR M.: Solid waste management in least developed Asian countries – A comparative analysis. <http://www.faculty.ait.ac.th/visu/Prof%20Visu%27s%20CV/Conferance/37/Cambodia%20conference%20presentation.pdf> (Zugriff am 27.03.2011), 2005.
- HANKO J.: *A decision-making tool for the selection of an appropriate integrated MSW management system for tropical Asian cities – The case of Bangkok*. Rhombos-Verlag, Berlin, 2009.
- HAZRA T. und GOEL S.: Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges. *Waste Management* 29, S. 470-478, 2008.
- HOORNWEG D., THOMAS L. und OTTEN L.: *Composting and its applicability in developing countries*. The World Bank, Washington D.C., 1999.
- HÜTTNER E. und WUCKE A.: Mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen vor der Ablagerung – eine Alternative zur Verbesserung der Situation auf unzureichend kontrollierten Kippen in Entwicklungsländern? GTZ, Eschborn, s.a.
- HÜTTNER E. und KEBEKUS F.: Einsatzpotentiale der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Entwicklungsländern. *Brandenburgische Umwelt Berichte (BUB)* 6, S. 266-271, 2000.
- HÜTTNER E., DILEWSKI G., STREZ J., JANIKOWSKI G., MAAK D., MOHAMED A., MUTZ D. und SCHENK B.: Sektorvorhaben mechanisch-biologische Abfallbehandlung – Endbericht. GTZ, Eschborn, 2003.
- IMAM A., MOHAMMED B., WILSON D.C. und CHEESEMAN C.R.: Solid waste management in Abuja, Nigeria. *Waste Management* 28, S. 468-472, 2007.
- ISMAIL S.A.: *Vermicology – Biology of earthworms*. Orient Longman Limited, Chennai, 1997.
- JANIKOWSKI G., DILEWSKI G. und STRETZ J.: Status report on the progress of the FABER-AMBRA® pilot project in Phitsanulok. GTZ, Eschborn, 2003.
- KARVE A. (2006): Compact digester for producing biogas from food waste. [http://www.arti-india.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45:arti-biogas-plant-a-compact-digester-for-producing-biogas-from-food-waste&catid=15:rural-energy-technologies&Itemid=52](http://www.arti-india.org/index.php?option=com_content&view=article&id=45:arti-biogas-plant-a-compact-digester-for-producing-biogas-from-food-waste&catid=15:rural-energy-technologies&Itemid=52) (Zugriff am 20.06.2011), 2006.
- KEBEKUS F., DILEWSKI G. und DREES K.-T.: Mechanisch biologische Abfallbehandlung? Einführung und Entscheidungshilfen für den Einsatz in Entwicklungsländern. GTZ, Eschborn, 2000.
- KÖRNER I., KUSCHKE C., BUTTLER A.B. und STEGMANN R.: Development of an evaluation system as a tool for inventory and set-up of waste management concepts for developing countries. In CHRISTENSEN T.H., COSSU R. und STEGMANN R. (Hrsg.): *Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2001, 8<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium Volume 5*, S. 209-217, 2001.
- KÖRNER I., SAVORIT-SÁNCHEZ I. und AGUILERA-CORRALES Y.: Proposal for the integration of decentralised composting of the organic fraction of municipal solid waste into the waste management system of Cuba. *Waste Management* 28, S. 64-72, 2008.
- KOSSMANN W., PÖNITZ U., HABERMEHL S., HOERZ T., KRÄMER P., KLINGLER B., KELLNER C., WITTUR T., KLOPOTEK VON F., KRIEG A. und EULER H.: *Biogas digest Vol. I-IV*. GTZ-GATE, 1999.
- KUMARA W.G.A.S., GAMAGE S.N., BANDARA N.J.G.J. und DIAZ P.: Municipal solid waste management sector in Sri Lanka: Is composting of municipal solid waste a suitable option? In ALAMGIR M., BARI Q.H., RAZIFUL I.M., ISLAM S.M.T, SARKAR G. und HOWLADER M.K. (Hrsg.): *Proceedings of the WasteSafe 2011 – 2<sup>nd</sup> International Conference on solid waste management in developing countries*, 2011.

- LARDINOIS I. und KLUNDERT VAN DE A.: Organic waste – Options for small scale resource recovery. WASTE, Gouda, 1993.
- LARDINOIS I. und KLUNDERT VAN DE A.: Plastic waste – Options for small-scale resource recovery. TOOL und WASTE, Gouda, 1995.
- LECHNER P.: Kommunale Abfallentsorgung. Facultas, Wien, 2004.
- LEKAMMUDIYANSE L.M.M.U. und GUNATILAKE S.K.: Efficiency of the household compost bin as a waste management technique in Sri Lanka – A case study in Gampaha municipal council area. International Journal of Basic & Applied Sciences Vol. 10/01, S. 89-94, 2009.
- LINZNER R.: Experiences obtained from the implementation of small-scale composting in Guinea. In: AEEG (Hrsg.): Knowledge and technology transfer in solid waste management: Value adding approach to the growing challenge of the solid waste management in Addis Ababa. Central Printing Press, Addis Ababa, S. 41-51, 2008.
- LOHRI C.: Research on anaerobic digestion of organic solid waste at household level in Dar Es Salaam, Tanzania. Bachelor Thesis an der Zurich University of Applied Sciences, 2009.
- MANG H.P., HUBA E.-M., PAPA A., OUMAR S., GOMBILA K. und BRACKEN P.: Feasibility study of a national domestic biogas programme in Burkina Faso. GTZ, Eschborn, 2007.
- MARTIN H.: Transport- und Lagerlogistik, 7.Auflage. GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2009.
- MATA-ALVAREZ J.: Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA Publishing, Cornwall, 2003.
- MEDINA M.: Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. Resources, Conservation and Recycling 31, S. 51-59, 2000.
- MISI S.N. und FORSTER C.F.: Batch co-digestion of multi-component agro-wastes. Biosource Technology 80, S. 19-28, 2001.
- MITRA A.: Vermiculture and vermicomposting of non-toxic organic solid waste application in aquaculture. In AZARIAH J., AZARIAH H. und MACER D.R.J. (Hrsg.): Bioethics in India: Proceedings of the International Bioethics Workshop in Madras: Biomangement of biogeoresources, 1997.
- MSHANDETE A.M. und PARAWIRA W.: Biogas technology research in selected sub-Saharan African countries – A review. African Journal of Biotechnology 8/2, S. 116-125, 2009.
- MÜLLER (2009): Decentralised co-digestion of faecal sludge with organic solid waste – Case study in Maseru, Lesotho. [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/biogas\\_lesotho.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/biogas_lesotho.pdf) (Zugriff am 27.06.2011), 2009.
- MÜNNICH K., MAHLER C.F. und MAAK D. Mechanical biological pretreatment of residual waste in Brazil. In DIAZ L.F., EGGERTH L.L. und SAVAGE G.M. (Hrsg.): Management of solid wastes in developing countries. CISA Publisher, Padova, S. 333-342, 2007.
- NASSOUR A.: Ansätze zur Reform der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern. Habilitationsschrift an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät, Universität Rostock, 2005.
- NI J.-Q. und NYNS E.-J.: New concept for the evaluation of rural biogas management in developing countries. Energy Conversion and Management 37/10, S. 1525-1534, 1996.
- OXFAM (2008): Domestic and refugee camp waste management collection & disposal. [http://www.oxfam.org.uk/resources/learning/humanitarian/downloads/TBN15\\_domestic\\_refugee\\_waste.pdf](http://www.oxfam.org.uk/resources/learning/humanitarian/downloads/TBN15_domestic_refugee_waste.pdf) (Zugriff am 21.04.2011), 2008.
- PAUL J.G., JAQUE D., KINTANAR R., SIPALAN J.C. und GALLO R.: "End-of-the-Pipe" Material recovery to reduce waste disposal and to motivate the informal sector to participate in the site improvements at the Calajunan dumpsite in Iloilo City, Panay, Philippines. In CHRISTENSEN T.H., COSSU R. und STEGMANN R. (Hrsg.): Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2007, 11<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, 2007.

- PAUL J.G., LANGE S., RAVENA N. und PAREDES E.: Technical and socio-economic aspects of a 100-day material recovery test for the production of alternative fuels and raw materials (AFR) in Iloilo City, Philippines. In COSSU R., DIAZ L. and STEGMANN (Hrsg.): Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2009, 12<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, 2009.
- PAUL J.G., RAVENA N., VILLAMOUR S., GUNSILIUS E. und PAREDES E.: Poverty alleviation with climate benefits: Waste pickers recover alternative fuels and raw materials. International Solid Waste Association, World Congress 2010, 2010.
- PORTER G.: Intermediate means of transport: A review paper with special reference to Ghana. University of Durham, Durham, 2002.
- PRACTICAL ACTION: What is 'appropriate' or 'intermediate technology?' Frequently Asked Questions. <http://practicalaction.org/bangladesh/docs/print/support-us/support-us/food-production/about-us?id=faq> (Zugriff am 11.04.2011), 2011.
- RAI S.: Case study summary – Biogas Sector Partnership (BSP), Nepal. <http://www.ashdenawards.org/files/BSP%20case%20study%20full.pdf> (Zugriff am 1.09.2011), 2009.
- RCEE: How to build the VACVINA biogas digester? [http://en.howtopedia.org/wiki/How\\_to\\_Build\\_the\\_Vacvina\\_Biogas\\_Digester](http://en.howtopedia.org/wiki/How_to_Build_the_Vacvina_Biogas_Digester) (Zugriff am 9.09.2011), 2011.
- REES D.: Recycling Rubber. [http://practicalaction.org/practicalanswers/product\\_info.php?products\\_id=186{1}&attrib=1](http://practicalaction.org/practicalanswers/product_info.php?products_id=186{1}&attrib=1) (Zugriff am 6.06.2011), 1998.
- RIGGLE D. und HOLMES H.: New horizons for commercial vermiculture. Biocycle 35/10, S. 58-62, 1994.
- RONALD E.G. und DONALD E.D.: Earthworms for ecology and profit Vol. 1 – Scientific Earthworm farming. Bookworm Publishing Company, Ontario, 1977.
- ROTHENBERGER S., ZURBRÜGG C., ENAYETULLAH I. und MAQSOOD SINHA A.H.MD.: Decentralised composting for cities of low- and middle-income countries – A user's manual. EAWAG/SANDEC, Dübendorf, 2006.
- ROTICH K.H., ZHAO Y. und DONG J.: Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. Waste Management 26, S. 92-100, 2006.
- ROUSE J.R. und ALI S.M.: Vehicles for people or people for vehicles – Issues in waste collection. Loughborough University, Leicestershire, 2002.
- SAPHTARISHI L.V.: Inspiring progress – Learning from Exnora Grenn Pammal's solid waste management partnership in four locations. <http://www.greenpammal.in/images/reports/download/Inspiring%20Progress.pdf> (Zugriff am 10.10.2011), 2010.
- SANTEN H.: Fortschrittliche Abfallwirtschaftssysteme mit verstärkter Wertstoffrückgewinnung in Brasilien. Diplomarbeit an der TUHH, Hamburg, 2000.
- SANTOS DOS A.L.F.: Der Informelle Sektor in der Abfallwirtschaft – Das Beispiel Lhabela, Brasilien. GTZ, Eschborn, 2001.
- SCHEINBERG A., WILSON D.C. und RODIC L.: Solid Waste Management in the World's Cities – Water and Sanitation in the World's cities. Earthscan, London, 2010.
- SCHENK B.: Machbarkeitsstudie für eine mechanisch biologische Abfallbehandlungsanlage in Lhabela, Brasilien. GTZ, Eschborn, 2000.
- SCHENK B.: Bewertung des Betriebs der mechanisch biologischen Abfallbehandlungsanlage in São Sebastião, Brasilien. GTZ, Eschborn, 2001.
- SCHENK B.: Bewertung des Betriebs der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage in São Sebastião, Brasilien. GTZ, Eschborn, 2002.
- SCHLICHT C.: Elektronische (persönliche) Mitteilung, 2011.

- SCHNEEBERGER R.: Technological knowledge transfer in least developed countries with a view to intercultural awareness. PhD Thesis an der TU Wien, 2007.
- SCHÜBELER P., WEHRLE K. und CHRISTEN J.: Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in low-income countries. UMP Working Paper Series No. 9, SKAT, St. Gallen, 1996.
- SCHUBERT G.: Stand und Entwicklungstendenzen bei der Sortierung von Schrotten und Abfällen. In TU BERG- AKADEMIE FREIBERG (Hrsg.): Sortierung der Abfälle und mineralischen Rohstoffe – Vorträge und Poster zum 50. Berg- und Hüttenmännischen Tag 1999 in Freiberg. Akademische Buchhandlung, Freiberg. S. 1-35, 1999.
- SHERIF H.O.: Solid waste management in Egypt: Current situation and future prospects. In DIAZ L.F., EGGERTH L.L. und SAVAGE G.M. (Hrsg.): Management of solid wastes in developing countries. CISA Publisher, Padova, S. 105-116, 2007.
- SHEYA M.S. und MUSHI S.J.S.: The state of renewable energy harnessing in Tanzania. Applied Energy 65, S. 257-271, 2000.
- SNV: Biodigester Support Programme Cambodia – Feasibility study Oct-Nov 2004. <http://www.nbp.org.kh/userfiles/file/publication/1-%20Report%20Feasibility%20Study%20Biodigester%20Cambodia%202005%2001%2021.pdf> (Zugriff 9.09.2011), 2004.
- STARKEY P.: Local transport solutions – people, paradoxes and progress. SSATP Working Paper No. 56, The World Bank, Washington D.C., 2001.
- STERKELE B. und ZURBRÜGG C.: Baseline study on water supply, sanitation and solid waste in Upper Dharamsala, India. SANDEC Report 09/03, Dübendorf, 2003.
- TATEDO: Transfer of Biogas Technology/VACVINA model from CCRD, Vietnam to Tanzania to Training of TaTEDO, Tanzania. <http://www.ease-web.org/wp-content/uploads/2009/08/Final-Report-ver-28-08-2008.pdf> (Zugriff am 9.09.2011), 2008a.
- TATEDO: Final Report - Transfer of Biogas Technology/VACVINA model from CCRD, Vietnam to Tanzania to Training of TaTEDO, Tanzania. <http://www.ease-web.org/wp-content/uploads/2009/08/Final-Report-ver-28-08-2008.pdf> (Zugriff am 9.09.2011), 2008b.
- TATEDO: Biogas technology: Construction, utilization and operation manual. <http://www.ease-web.org/wp-content/uploads/2009/08/BIOGAS-MANUAL.pdf> (Zugriff am 13.09.2011), 2008c.
- THE KATHMANDU POST: KMC's trash cans fail to attract public. <http://www.ekantipur.com/the-kathmandu-post/2011/01/09/metro/kmcs-trash-cans-fail-to-attract-public/217034/> (Zugriff am 18.04.2011), 2009.
- TIFAC: Recycling of tyres. [http://www.tifac.org.in/index.php?option=com\\_content&view=article&id=676&Itemid=205](http://www.tifac.org.in/index.php?option=com_content&view=article&id=676&Itemid=205) (Zugriff am 8.06.2011), 2009.
- TROY S.: What is appropriate technology? <http://www.gdrc.org/techtran/appro-tech.html> (Zugriff am 11.04), 2011
- TULADHAR B.: User survey indicates success of 'Saaga' home compost bins. ENPHO Magazin, 2004
- UMWELTBUNDESAMT: Best Practice Municipal Waste Management. Datenblatt WC/C-05\_BAG Nichtstandardisierte Behältnisse für die (systemlose) Abfallsammlung – Säcke bzw. Tüten, CD-Rom, 2011a.
- UMWELTBUNDESAMT: Best Practice Municipal Waste Management. Datenblatt WC/C-01\_ROC Abrollcontainer, CD-Rom, 2011b.
- UMWELTBUNDESAMT: Best Practice Municipal Waste Management. Datenblatt WC/T-03\_WTS Umladestation für Abfälle, CD-Rom, 2011c.
- UMWELTBUNDESAMT: Best Practice Municipal Waste Management. Datenblatt SWSM-04\_TYR Altreifen, CD-Rom, 2011d
- UMWELTBUNDESAMT: Best Practice Municipal Waste Management. Datenblatt WT/R-06\_ADI Anaerobe Vergärung, CD-Rom, 2011e.

- UNCHS: Refuse collection vehicles for developing countries. UN-HABITAT, Kenia, 1988.
- UNEP: International source book on environmentally sound technologies for municipal solid waste management. International Environmental Technology Center, Osaka, 1996.
- UNEP: Developing integrated solid waste management plan training manual – Volume 2: Assessment of current waste management system and gaps therein.  
[http://www.unep.or.jp/letc/Publications/spc/ISWMPlan\\_Vol2.pdf](http://www.unep.or.jp/letc/Publications/spc/ISWMPlan_Vol2.pdf) (Zugriff am 5.04.2011), 2009.
- UNDP: Human development report 2010. UNO-Verlag, Bonn, 2010.
- UNICEF: Successful innovations in solid waste management systems.  
[http://www.indiawaterportal.org/sites/indiawaterportal.org/files/Solid%20Waste%20Management\\_Success-ful%20innovations\\_Examples%20from%20five%20local%20bodies\\_Tamil%20Nadu\\_EGP%20&%20UNICEF\\_2010.pdf](http://www.indiawaterportal.org/sites/indiawaterportal.org/files/Solid%20Waste%20Management_Success-ful%20innovations_Examples%20from%20five%20local%20bodies_Tamil%20Nadu_EGP%20&%20UNICEF_2010.pdf) (Zugriff am 10.10.2011), 2010.
- URBAN A.I. und INTECUS: Abschlussbericht – Untersuchungen zu den Auswirkungen einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) auf die Errichtung und den Betrieb einer Deponie in Al-Salamieh/Syrien hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Kriterien. GTZ, Eschborn, s.a.
- USAID und ICMA: CityLinks Mali final report. [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PDACK695.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PDACK695.pdf) (Zugriff am 2.05.2011), 2006.
- VALENTIN K.: Eisenia foetida / Eisenia Andrei: Ausnahmeerscheinungen unter den Regenwürmern.  
<http://www.natuga.de/eisenia.html> (Zugriff am 9.10.2011), 2006.
- VEST H.: Guidelines for the promotion of small scale recycling projects. GATE und GTZ, Eschborn, 1999.
- VISVANATHAN C., TRÄNKLER J., JOSEPH K., NAGENDRAN R., KURUPARAN P., NORBU T., SELVAM A.: Vermicomposting as an eco-tool in sustainable waste management.  
<http://dste.puducherry.gov.in/envisnew/books&reports8.pdf> (Zugriff am 09.10.2011), s.a.
- WANG H.Z., XU H., XUAN X.-J.: Review of waste tire reuse & recycling in China – Current situation, problems and countermeasures. Advances in Natural Science 2/1, S. 31-39, 2009.
- WAGNER P., BIDLINGMAIER W. und MCKAY T.: Implementation of environmental capacity building processes in developing and emerging countries – problems and strategies based on experiences in South Africa. In CHRISTENSEN T.H., COSSU R. und STEGMANN R. (Hrsg.): Waste management of municipal and industrial waste. Proceedings of Sardinia 2001, 8<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium Volume 5, S. 195-199, 2001.
- WASTE: Anaerobic digestion reference sheet. [http://www.waste.nl/content/download/472/3779/file/WB89-InfoSheet\(Anaerobic%20Digestion\).pdf](http://www.waste.nl/content/download/472/3779/file/WB89-InfoSheet(Anaerobic%20Digestion).pdf) (Zugriff am 16.09.2011), 2007.
- WELTBANK: How we classify countries. <http://data.worldbank.org/about/country-classifications> (Zugriff am 27.03.2011), 2011.
- WEPCO: For Sale: Home composting bins for Kathmandu <http://www.wepco.org.np/services/for-sale-home-composting-bins-for-kathmandu/> (Zugriff am 02.01.2012), 2009.
- WILSON D.C., VELIS C. und CHEESEMAN C.: Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. Habitat International 30, S. 797-808, 2006.
- ZHU D., ASANI P.U., ZURBRÜGG C., ANAPOLSKY S. und MANI S.: Improving municipal solid waste management in India. The World Bank, Washington D.C., 2008.
- ZURBRÜGG C., DRESCHER S., ALMITRA H.P., SHARATCHANDRA H.C.: Decentralised composting – An option for Indian cities? SANDEC/EAWAG, Dübendorf, 2002.
- ZURBRÜGG C.: Urban solid waste management in low-income countries in Asia – how to cope with the garbage crisis. USWM-Asia, 2003.
- ZURBRÜGG C., VÖGELI Y., BUUREN VAN J., POTTING J., CHETTIYAPAN V.: Integrated sustainable solid waste management in Asia – Deliverable 5.5: Simplified guide on solid waste management in Asian developing countries. EAWAG, Dübendorf, 2010.