

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und nukleare Sicherheit

FKZ 3715 33 313 0  
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

## **Ressourcen- und Klimaschutz durch integrierte Abfallwirtschaftsprojekte in Schwellen- und Entwicklungsländern – Beispiel Indien**

von

Regine Vogt  
Andrea Stubbusch  
ifeu – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg, Deutschland

K. Vijaya Lakshmi,  
Kavya Arora,  
Achu R. Shekhar,  
Krishna Chandran  
Development Alternatives (DA), New Delhi, India

K P Pravinjith,  
Ayeesha Khanam  
Ecoparadigm, Bangalore, India

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung  
Heidelberg, Deutschland

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

August 2018

## Kurzbeschreibung

Die Studie beschreibt das Treibhausgas-Minderungspotenzial durch integrierte Abfallwirtschaft in Schwellen- und Entwicklungsländern (E + D-Länder) am Beispiel Indiens. Anhand von priorisierten Kriterien werden 3 spezifische Städte ausgewählt. Basierend auf einer nach Bevölkerungsgröße gruppierten Städtekurzliste sind dies Bangalore, Bhopal und Haridwar. Treibhausgasbilanzen werden nach der Ökobilanzmethode für die Abfallwirtschaft erstellt. Für jede Bilanz wird der jeweilige Status quo ermittelt und mit zwei entwickelten, möglichst realistischen Optimierungsszenarien verglichen. Da Daten auf zentraler Ebene nicht verfügbar waren, mussten die notwendigen Daten durch Sekundärdaten, Standortbesuche sowie Experteninterviews abgeleitet und um Annahmen ergänzt werden.

Die THG-Ergebnisse für die drei Städte zeigen das signifikante Treibhausgas-Minderungspotenzial, das sich durch die Abkehr von der Deponierung ergibt. Obwohl die THG-Ergebnisse aufgrund der schwierigen Datenlage ungenau sind, ist zumindest die Größenordnung der THG-Minderung robust. Darüber hinaus zeigen die Szenarien den möglichen Klimaschutzbeitrag durch integrierte Abfallwirtschaft, und die Extrapolation spezifischer Ergebnisse zeigt, dass der potenzielle Beitrag von kleineren Städten zur nationalen THG-Minderung durch den Abfallsektor relevant ist und berücksichtigt werden sollte.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen der Studie lauten, dass Indien trotz der großen Herausforderungen für indische Städte mit den rechtlichen Vorgaben und Programmen, die Kommunen zumindest teilweise finanziell unterstützen, im Allgemeinen auf dem richtigen Weg ist. Wichtige Hindernisse müssen jedoch angegangen werden, wie v.a. die Einrichtung eines Systems zur Datenerfassung und -überwachung für Siedlungsabfälle, das nicht nur Voraussetzung für die Durchführung einer ordnungsgemäßen Abfallwirtschaft ist, sondern auch für NAMAs („national angemessene Minderungsmaßnahme“) oder NDCs („national festgelegte Beiträge“) erforderlich ist.

## Abstract

This study presents the greenhouse gas (GHG) mitigation potential through integrated waste management in emerging economies and developing countries (E+D countries) on the example of India. 3 specific cities are selected based on prioritized criteria. Bangalore, Bhopal and Haridwar are chosen from a city short list clustered by population size. GHG balances are elaborated applying the Life Cycle Assessment (LCA) method for waste management. For each balance the respective status quo is determined and compared with two developed, best possible realistic optimization scenarios. Because data was not available on a central level, the necessary data had to be derived through secondary data, site visits as well as expert interviews and completed by assumptions.

The GHG results for the 3 cities demonstrate the significant GHG mitigation potential which derives from diversion from landfill. Although, the GHG results are inaccurate due to the difficult data situation, at least the order of magnitude for this GHG mitigation is robust. In addition, the scenarios show the possibilities of climate protection through integrated waste management, and extrapolation of specific results reveals that the potential contribution of small cities to the national GHG mitigation of the waste sector is relevant and should be considered.

The study's most important conclusions are that though the challenges for Indian cities are high, in general, India is on the right track with rules and regulations as well as programs supporting ULBs at least partly financially. However, some major obstacles need to be addressed with the most relevant being the establishment of a data collection and monitoring system for MSW which is not only prerequisite to implement proper waste management but is also required for Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) and Nationally Determined Contributions (NDCs).

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
Liste der Abkürzungen .....	10
Zusammenfassung .....	12
Summary .....	26
1 Einleitung .....	37
2 Ziele und Herangehensweise .....	38
3 Auswahl der Cluster-Städte .....	39
4 Abfallwirtschaft in Indien – ein Überblick .....	41
4.1 Stand und bisherige Rechtslage .....	41
4.2 Bestehende Regelungen und Richtlinien .....	42
4.3 Abfallwirtschaftsprogramme und –initiativen, die für die ausgewählten Städte relevant sind .....	44
4.3.1 Swachh Bharat Mission (“Mission sauberes Indien”) .....	44
4.3.2 JNNURM und AMRUT .....	45
4.3.3 Namami Gange (Clean Ganga) .....	45
4.3.4 Smart Cities Programme .....	46
4.3.5 Beispiele für regionale Programme, Bangalore .....	46
5 Fakten und Ergebnisse von Abfallwirtschaftssystemen in den ausgewählten Städten .....	47
5.1 Bangalore .....	47
5.1.1 Lage und Klima .....	47
5.1.2 Bevölkerung und Stadtstruktur .....	47
5.1.3 Kommunale Abfallwirtschaft .....	48
5.1.3.1 Abfallerzeugung und -zusammensetzung .....	49
5.1.3.2 Sammlung und Behandlung .....	50
5.2 Bhopal .....	55
5.2.1 Lage und Klima .....	55
5.2.2 Bevölkerung und Stadtstruktur .....	56
5.2.3 Kommunale Abfallwirtschaft .....	56
5.2.3.1 Abfallerzeugung und -zusammensetzung .....	57
5.2.3.2 Sammlung und Verarbeitung .....	57
5.3 Haridwar .....	59
5.3.1 Lage und Klima .....	60
5.3.2 Bevölkerung und Stadtstruktur .....	60

5.3.3	Kommunale Abfallwirtschaft.....	60
5.3.3.1	Abfallerzeugung und Zusammensetzung	61
5.3.3.2	Sammlung und Behandlung	62
6	Zusammenfassende Beobachtungen und Schlussfolgerungen im Hinblick auf Szenarien .....	64
6.1	Beobachtungen und Herausforderungen .....	64
6.2	Schlussfolgerungen und Annahmen für Szenarien .....	66
6.2.1	Begriffe und Definitionen.....	66
6.2.2	Anwendungsbereich und Szenarientwicklung .....	68
7	Abfallwirtschaftsszenarien und THG-Berechnungen.....	69
7.1	Abfallwirtschaftsszenarien.....	69
7.1.1	Allgemeine Annahmen für die Szenarien.....	70
7.1.2	Bangalore .....	71
7.1.3	Bhopal .....	75
7.1.4	Haridwar.....	76
7.2	THG-Berechnungen und Ergebnisse .....	79
7.2.1	Annahmen für die Berechnung .....	79
7.2.2	Bangalore .....	81
7.2.3	Bhopal .....	82
7.2.4	Haridwar.....	84
7.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	86
8	Hochrechnung der THG-Ergebnisse für Städtecluster .....	87
9	Abfalldaten – Zuverlässigkeit der THG-Ergebnisse.....	89
10	Zusammenhang der Ökobilanzmethode und Anforderungen (MRV) für NAMAs oder NDCs.....	95
11	Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	98
11.1	Aus den THG-Ergebnissen und Beobachtungen .....	98
11.2	Aus den Hochrechnungen für Städtecluster.....	101
12	Quellenangaben.....	102
13	Anhang.....	107
13.1	Anhang I: Ökobilanzen der Abfallwirtschaft .....	107
13.1.1	Systemgrenzen und Systemvergleiche.....	107
13.1.2	Sonstige methodische Übereinkünfte und verwendete Daten .....	108
13.1.3	Wirkungsabschätzung des Treibhauseffekts (Global Warming Potential, GWP).....	109
13.2	Anhang II: Tabellen mit sektoralen THG-Ergebnissen .....	110
13.3	Anhang IV: Begriffe und Definitionen.....	112
13.4	Anhang V: Datenerhebungstool .....	115

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	links: Potenzielle THG-Emissionseinsparungen in S+E-Ländern (Giegrich and Vogt 2009); rechts: zukünftige THG-Emissionen des Abfallsektors in S+E-Ländern (Monni et al. 2006) .....	37
Abbildung 2:	Auswahlkriterien für die 3 Städte (links) und Lage der 26 in die engere Wahl gekommenen Städte (rechts).....	40
Abbildung 3:	Zonen und Bezirke in Bangalore .....	48
Abbildung 4:	Organigramm der Abfallwirtschaft der BBMP .....	49
Abbildung 5:	Haustürsammlung (links) und Umladung kleiner Kipplaster auf Verdichter (rechts).....	50
Abbildung 6:	Trockenabfallsammelzentren, die von NGOs betrieben werden, Südzone, Bangalore .....	51
Abbildung 7:	MBA, geschlossene Deponien und unkontrollierte Steinbrüche/Deponien in und bei Bangalore (zur Datenerfassungsphase 2016/2017).....	52
Abbildung 8:	MBA Chikmangala, Oktober 2016 .....	54
Abbildung 9:	Kleinmaßstäbliche Biomethanisierungsanlage.....	55
Abbildung 10:	Kompostierungseinheit der NGO SAAHAS.....	55
Abbildung 11:	Stadtstruktur Bhopal .....	56
Abbildung 12:	Siedlungsabfall beim Transport zur Deponie Bhanpura und Wiegebrücke .....	58
Abbildung 13:	Deponierte Abfälle und „Abfall zu Düngemittel“-Anlage bei der Deponie Bhanpura.....	58
Abbildung 14:	Sortierung von Kunststoffabfällen in der Nähe der Deponie .....	59
Abbildung 15:	Organisationstruktur von Nagar Nigam Haridwar .....	61
Abbildung 16:	Haustürsammlung mit Fahrradrikscha, März 2017 .....	62
Abbildung 17:	Aus offenen Kanälen entfernter Abfall und Schlamm.....	63
Abbildung 18:	Deponien bei Haridwar .....	63
Abbildung 19:	Bauzustand der Kompostieranlage, März 2017.....	64
Abbildung 20:	Sankey-Diagramm Status-quo Bangalore .....	72
Abbildung 21:	Sankey-Diagramm Szenario 1 Bangalore.....	73
Abbildung 22:	Sankey-Diagramm Szenario 2a Bangalore.....	73
Abbildung 23:	Sankey-Diagramm Szenario 2b Bangalore.....	74
Abbildung 24:	Sankey-Diagramm Status-quo Bhopal .....	75
Abbildung 25:	Sankey-Diagramm Szenario 1 Bhopal.....	76
Abbildung 26:	Sankey-Diagramm Szenario 2 Bhopal.....	76
Abbildung 27:	Sankey-Diagramm Status-quo Haridwar .....	78

Abbildung 28:	Sankey-Diagramm Szenario 1 Haridwar .....	78
Abbildung 29:	Sankey-Diagramm Szenario 2 Haridwar .....	78
Abbildung 30:	Sektorale THG-Ergebnisse Status-quo und Optimierungsszenarien Bangalore.....	82
Abbildung 31:	THG-Nettoergebnisse in absoluten Zahlen, pro Tonne Abfall und pro Kopf – Bangalore.....	82
Abbildung 32:	Sektorale THG-Ergebnisse Status-quo und Optimierungsszenarien Bhopal.....	83
Abbildung 33:	THG-Nettoergebnisse in absoluten Zahlen, pro Tonne Abfall und pro Kopf – Bhopal.....	84
Abbildung 34:	Sektorale THG-Ergebnisse Status-quo und Optimierungsszenarien Haridwar .....	85
Abbildung 35:	THG-Nettoergebnisse in absoluten Zahlen, pro Tonne Abfall und pro Kopf - Haridwar.....	86
Abbildung 36:	Varianten Deponierung .....	90
Abbildung 37:	Varianten Abfallverbrennung .....	92
Abbildung 38:	Varianten biologische Behandlung – Kompostierung und Vergärung	93
Abbildung 39:	Varianten mechanisch-biologischer Behandlungsanlagen (MBAs) ....	94
Abbildung 40:	Varianten Kunststoffrecycling .....	95
Abbildung 41:	links: Flussdiagramm eines Abfallwirtschaftssystems; rechts: Systemgrenzen und Vergleichsregeln in der Ökobilanz visualisiert .	107

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht zu Annahmen für das Status Quo Szenario für die 3 Städte.....	16
Tabelle 2:	Übersicht zu Annahmen für die Optimierungsszenarien für die 3 Städte.....	20
Tabelle 3:	THG-Ergebnisse für die 3 Städte (gerundete Werte).....	21
Table 4:	Overview assumptions status quo scenario for the 3 cities .....	30
Table 5:	Overview assumptions for the optimization scenarios for the 3 cities.....	32
Table 6:	GHG results for the 3 cities (rounded values) .....	33
Tabelle 7:	Merkmale der ausgewählten Städte .....	41
Tabelle 8:	Abfallzusammensetzung in Bangalore.....	49
Tabelle 9:	Abfallzusammensetzung der Proben von Bhopal, 2009.....	57
Tabelle 10:	Abfallzusammensetzung der aus 4 Bezirken auf der Deponie ankommenden Proben .....	61
Tabelle 11:	Überblick Status-quo-Szenario und wichtigste Parameter für die 3 Städte.....	68
Tabelle 12:	Überblick Annahmen für Optimierungsszenarien .....	71
Tabelle 13:	Abgeschätzte Werte für die Abfallverbrennung.....	80
Tabelle 14:	Bevölkerungs- und THG-Ergebnisse der ausgewählten Städte .....	89
Tabelle 15:	THG-Minderungspotenzial Städtecluster, Klasse I (100.000 und mehr) .....	89
Tabelle 16:	Standardkenndaten für Abfallfraktionen .....	109
Tabelle 17:	Treibhauseffekt der wichtigsten Treibhausgase für den 100-Jahres-Zeithorizont .....	109
Tabelle 18:	Sektorale THG-Ergebnisse für Bangalore in Tonnen CO <sub>2</sub> Äq/a.....	110
Tabelle 19:	Sektorale THG-Ergebnisse für Bhopal in Tonnen CO <sub>2</sub> Äq/a.....	110
Tabelle 20:	Sektorale THG-Ergebnisse für Haridwar in Tonnen CO <sub>2</sub> eq/a.....	111
Tabelle 21:	Auszug aus dem etablierten Excel-Glossar .....	112
Tabelle 22:	Definition Siedlungsabfall.....	114
Tabelle 23:	Datenerhebungstool (englisch) – Blatt ‘Abfalldaten’ .....	115
Tabelle 24:	Datenerhebungstool (englisch) – Blatt ‘Deponie’ .....	120

## Liste der Abkürzungen

<b>AMRUT</b>	Atal Mission for Rejuvenation and Urban Transformation (2. Phase von JNNURM; neu durch die Regierung gestartet für 500 Städte mit Fokus auf Sicherung der Grundausstattung öffentlicher Einrichtungen)
<b>BBMP</b>	Bruhat Bangalore Mahanagara Palike (“Stadtverwaltung Bangalore”)
<b>BDA</b>	Bangalore Development Authority
<b>BIP</b>	Bruttoinlandsprodukt
<b>BEL</b>	Bharat Electronics Limited
<b>BHEL</b>	Bharat Heavy Electricals Limited ( <a href="http://www.bhel.com/">http://www.bhel.com/</a> )
<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BMC</b>	Bhopal Municipal Corporation (“Stadtverwaltung Bhopal”)
<b>BR</b>	Biennial Report (Annex I Länder; UNFCCC; Kyoto-Protokoll)
<b>BUR</b>	Biennial Update Report (Nicht-Annex I Länder; UNFCCC; Kyoto Protokoll)
<b>C&amp;DW</b>	Construction & demolition waste (Bau- und Abbruchabfälle)
<b>CDM</b>	Clean Development Mechanism (Kyoto-Protokoll)
<b>CPCB</b>	Central Pollution Control Board (“zentrale Umweltbehörde”, Indien, nationale Ebene)
<b>CPHEEO</b>	Central Public Health & Environmental Engineering Organization (Indien, nationale Ebene)
<b>CRF</b>	Common Reporting Format (Kyoto-Protokoll)
<b>DOC</b>	Degradable organic carbon (abbaubarer organischer Kohlenstoff)
<b>DOCf</b>	DOC which decomposes (abgebauter organischer Kohlenstoff)
<b>DWCC</b>	dry waste collection centres („Trockenabfallsammelzentren”)
<b>EBS</b>	Ersatzbrennstoff
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>ENVIS Centres</b>	Environmental Information System Centres (28 Zentren mit Mandat ein Verteilungsnetzwerk für themenbezogene Datenbanken aufzubauen)
<b>GCF</b>	Green Climate Fund
<b>GoI</b>	Government of India (Regierung von Indien)
<b>GPF</b>	Garten-, Park- und Friedhofsabfälle
<b>GWP</b>	Global Warming Potential (Treibhausgaspotenzial)
<b>IFAT</b>	Weltmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft
<b>IGCS</b>	Indo-German Centre for Sustainability (eingeweiht Dez 2010 an der IIT Madras, Chennai; Abfallwirtschaft eines von 6 Forschungsbereichen; <a href="http://www.igcs-chennai.org/">http://www.igcs-chennai.org/</a> )
<b>IIT</b>	Indian Institute of Technology
<b>INDC</b>	Intended Nationally Determined Contribution (“beabsichtigte national festgelegte Beiträge”)
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change

<b>ISAH</b>	Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover
<b>JNNURM</b>	Jaharwalal Nehru National Urban Renewal Mission (Indien)
<b>kg/E*d</b>	Kilogramm pro Einwohner und Tag
<b>MBA</b>	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
<b>MCF</b>	Methane correction factor (Methankorrekturfaktor)
<b>MNRE</b>	Ministry of New and Renewable Energy (“Ministerium für neue und erneuerbare Energien”) (Indien)
<b>MoEF</b>	Ministry of Environment, Forest and Climate Change (“Ministerium für Umwelt, Wald und Klimawandel”) (Indien, auch MoEFCC)
<b>MoUD</b>	Ministry of Urban Development (“Ministerium für Stadtentwicklung”) (Indien; in 2017 umbenannt in Ministry of Housing and Urban Affairs, MoHUA)
<b>MRF</b>	Material recycling facility („Sortier-/Recyclinganlage“)
<b>MRV</b>	Monitoring, reporting, verification („Überwachung, Berichterstattung, Verifizierung“)
<b>MSWM Manual 2016</b>	Municipal Solid Waste Management Manual 2016 („Handbuch für kommunale Abfallwirtschaft“)
<b>MVA</b>	Müllverbrennungsanlage
<b>NAMA</b>	Nationally Appropriate Mitigation Action (Kyoto-Protokoll)
<b>NDC</b>	Nationally Determined Contribution („national festgelegte Beiträge“)
<b>NEERI</b>	National Environmental Engineering Research Institute (Indien)
<b>NGO</b>	Non-governmental organization (Nichtregierungsorganisation)
<b>NIR</b>	National Inventory Report (Nationaler Inventarbericht)
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
<b>OX</b>	Oxidation factor (Oxidationsfaktor)
<b>S+E-Länder</b>	Schwellen- und Entwicklungsländer
<b>SPCB/PCC</b>	State Pollution Control Board / Pollution Control Committee
<b>SWM Rules 2016</b>	Solid Waste Management Rules 2016 (“Abfallwirtschaftsgesetz“)
<b>THG</b>	Treibhausgas
<b>ULB</b>	Urban Local Body („kommunale Körperschaft“)
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen)
<b>WtE</b>	Waste to Energy („Abfall zu Energie“)

## Zusammenfassung

Die Relevanz der integrierten Abfallwirtschaft für den Ressourcen- und Klimaschutz wird in mehreren Studien belegt. Sowohl in Industrie- als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern (S+E-) kann der Abfallsektor erheblich zur Minderung der Treibhausgase (THG) beitragen. Studien im Auftrag des Umweltbundesamtes (Dehoust et al. 2010, Vogt et al. 2015) zeigten den erzielbaren Beitrag zum Klimaschutz, der sich insbesondere aus der Abkehr von der Deponierung ergibt. In vielen Ländern, nicht nur, aber vor allem in den S+E-Ländern, ist die Entsorgung von Siedlungsabfällen nach wie vor die dominierende Entsorgungspraxis, teilweise unter unhygienischen Bedingungen. Die Bemühungen zur Verbesserung der Situation und zur Umsetzung eines integrierten Abfallmanagementsystems können dazu beitragen, sowohl die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt als auch auf den Klimaschutz zu minimieren. Insbesondere die Abkehr von der Deponierung und damit die vollständige Vermeidung von Methanemissionen aus deponierten Abfällen ist ein wesentlicher Treiber für die THG-Minderung im Abfallsektor.

Ziel der Studie "Ressourcen- und Klimaschutz durch integrierte Abfallwirtschaftsprojekte am Beispiel Indiens" ist es, Entscheidungsträger dabei zu unterstützen, das Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Abfallsektor zu identifizieren, um ihre Abfallwirtschaft oder z.B. National Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) und Nationally Determined Contributions (NDCs) entsprechend zu planen. Letztendlich zielt das Projekt darauf ab, aufzuzeigen, ob und wie der Ansatz der Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft (Entscheidungshilfe) mit den Berichterstattungspflichten nach UNFCCC verbunden werden kann, die vermutlich für die Überwachung, Berichterstattung, Verifizierung (MRV) von Abfall-NAMAs, NDCs und anderen erforderlich sind.

Am Beispiel Indiens bezieht sich die Studie auf 3 spezifische Städte, die einerseits auf der Grundlage von Informationen über Indien und, bis zu einem gewissen Grad auch für die Bundesstaaten- oder die lokale Ebene und andererseits auf der Grundlage von priorisierten Auswahlkriterien, wie insbesondere Interesse von Akteuren, Kontakte zu Akteuren, Verfügbarkeit von Daten sowie Bevölkerungsgröße und -dichte ausgewählt sind. Aus einer engeren Auswahlliste von Städten, die in drei Cluster unterteilt sind, sind je nach Einwohnerzahl die folgenden Städte ausgewählt:

- Bangalore aus dem Cluster der Städte mit > 3 Millionen Einwohnern
- Bhopal aus dem Cluster der Städte mit >1 bis 3 Millionen Einwohnern
- Haridwar aus dem Cluster der Städte mit 0,1 bis 1 Million Einwohnern

In einer groben Annäherung können die ausgewählten 3 Städte auch als Proxy für Stadtgrößen-Cluster verwendet werden, und die Extrapolation der Ergebnisse kann eine grobe Vorstellung von der nationalen Dimension der THG-Minderungsszenarien vermitteln.

Vor der Datenerfassungsphase wurde eine umfassende Datenvorlage erstellt, um systematische Interviews zu ermöglichen und Informationen über Datenlücken und Zuverlässigkeit der Daten zu erhalten. Die erste Phase der Datenerhebung in Bangalore ergab, dass die wichtigsten und kritischen Daten nicht auf einer zentralen Ebene verfügbar sind, sondern auf vielen und verschiedenen Ebenen verteilt sind. Hohes Bevölkerungswachstum und Zuwanderung in die Städte sowie der rasante Wandel des Lebensstils konfrontieren Kommunen mit steigenden Abfallmengen und einer Veränderung der Zusammensetzung. Es ist eine Herausforderung für die meisten Gemeinden in Indien, mit diesen dynamischen Veränderungen in ihrem Stadtgebiet Schritt zu halten. Daher ist die Datenerhebung und -verwaltung für die Behörden oft von nachgelagerter Bedeutung. Die Notwendigkeit der Primärdatenerhebung aus einer solchen Vielzahl von dispersen, lokalen Quellen war nicht vorhersehbar und überstieg Forschungsumfang und Design erheblich. Das Projekt basiert daher auf verfügbarer Sekundärliteraturrecherche, und die Bemühungen, Informationen aus erster Hand durch Besuche vor Ort und Experten-

interviews abzuleiten, wurden verstärkt. Darüber hinaus wurden Workshops in Bangalore und Haridwar – ursprünglich zur Diskussion von Optimierungsszenarien gedacht – neu organisiert, um die gesammelten Daten zu verifizieren und Datenlücken zu schließen.

Allgemeine Hintergrundinformationen für Indien, die aus Studien abgeleitet wurden, ergeben das folgende Bild: Die Abfallerzeugung pro Kopf in indischen Städten wird auf 0,17 bis 0,54 kg/E\*d in kleinen Städten (< 1 Million Einwohner) und 0,22 bis 0,62 kg/E\*d in großen Städten (> 2 Millionen Einwohner) geschätzt (Kumar et al. 2009, 2017). Für 2011 wurden eine Sammelquote von 70% und eine Behandlungsrate von ca. 13% der anfallenden Abfälle gemeldet (Joshi & Ahmed 2016). Laut Kumar et al. (2017) spielt der informelle Sektor eine Schlüsselrolle bei der Wertschöpfung aus Abfällen, aber ungefähr mehr als 90% der Restabfälle in Indien werden unkontrolliert abgelagert.

Der Regulierungsrahmen für Siedlungsabfälle („MSW Rules 2000“, MoEF 2000) sowie ein Handbuch („MSW Manual“, MoUD/CPHEEO 2000) wurden von den zuständigen Ministerien im Jahr 2000 erstellt und umgesetzt. Die kommunalen Körperschaften (Urban Local Bodies - ULBs) konnten die Vorgaben jedoch nicht vollständig erfüllen. Den ULBs fehlten oft Informationen über Vor- und Nachteile von Technologien, über die Implementierung integrierter Abfallwirtschaftssysteme sowie über Kosten oder ökologische und soziale Auswirkungen. Darüber hinaus könnten Haushaltsengpässe und mangelnde Kapazitäten bei der Durchführung von Abfallwirtschaftsprojekten Gründe für eine Nichteinhaltung sein. Die überarbeiteten Versionen, das Siedlungsabfallhandbuch, "MSWM Manual 2016", (MoUD 2016) und das Abfallwirtschaftsgesetz, "SWM Rules 2016", (MoEF 2016) berücksichtigten die oben genannten Mängel und strebten nach umfassenderen Richtlinien und Regelungen. So bietet beispielsweise das „MSWM Manual 2016“ einen siebenstufigen Ansatz für die Entwicklung eines Abfallwirtschaftsplans in den ULBs, einschließlich einer Lückenanalyse des Ist-Zustandes mit detaillierten Informationen über Datenerhebungsmethoden zur Ableitung repräsentativer Daten über Abfallmengen und -zusammensetzung. Wesentliche Merkmale der „SWM Rules 2016“ sind beispielsweise die Erweiterung des Anwendungsbereichs über die kommunalen Grenzen hinaus, die Übertragung einer Getrennterfassungspflicht auf Abfallerzeuger, die Verantwortlichkeiten der Kommunen bei der Abfallsammlung und die Einrichtung eines umfassenden Überwachungssystems.

Die finanzielle Situation wurde auch durch mehrere Programme verbessert, die zur Unterstützung der ULBs gestartet wurden, wie die nationalen Programme Swachh Bharat Mission („Mission sauberes Indien“), die Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission (JNNURM) und ihr Folgeprogramm AMRUT (Atal Mission for Rejuvenation and Urban Transformation) oder das Smart Cities Program. Allerdings profitieren nicht alle Städte von diesen Fördermitteln und teilweise ist die Förderung nicht ausreichend. Finanzierungsmittel sind nach wie vor erforderlich und könnten über Nutzergebühren für die Abfallwirtschaft (s.a. SWM Rules 2016) oder beispielsweise durch die Finanzierung von NAMAs für den Abfallsektor erfolgen.

### **Fakten und Erkenntnisse zu den Abfallwirtschaftssystemen in den 3 ausgewählten Städten**

**Bangalore**, im Süden Indiens gelegen, ist die Hauptstadt des Staates Karnataka. Es ist ein wichtiges Handelszentrum mit einigen der wichtigsten, insbesondere IT-basierten Industrieunternehmen. Bangalore hat den Ruf, eine der am schnellsten wachsenden Städte Asiens zu sein. Die Bevölkerung betrug laut Volkszählung von Indien („Census of India“) 2011 etwa 8,5 Millionen Einwohner und wird bis 2021 voraussichtlich 10 Millionen Einwohner betragen. Die Stadt ist in 198 Bezirke in 8 Unterverwaltungszonen gegliedert. Die Stadtverwaltung heißt Bruhat Bangalore Mahanagara Palike (BBMP). Siedlungsabfälle unterstehen der Abfallwirtschaftsabteilung, die für Abfälle aus Haushalten verantwortlich ist. Sogenannte Massenabfallerzeuger („bulk generators“) wie Handel und Gewerbe, Hotels, Kantinen, Apartmentblocks und Hochhäuser sind verpflichtet, ihre Abfälle entweder vor Ort zu entsorgen oder BBMP-zugelassene private Dienstleister zu beauftragen (KSPCB 2014). Darüber hinaus werden, wie im

Allgemeinen in Indien, recycelbare Abfälle überwiegend vom informellen Sektor verarbeitet. Die jeweiligen Mengen sowohl der Massenabfallerzeuger als auch des informellen Recyclings werden als relevant angesehen, allerdings sind keine Daten verfügbar.

Daten zum Abfallaufkommen, die aus Studien oder von BBMP stammen, variieren zwischen 3.000 und 4.000 Tonnen pro Tag (BBMP 2016b, TERI 2015, KSPCB 2014). Repräsentative Daten zur Abfallzusammensetzung sind nicht verfügbar. Obwohl eine Studie für die West Zone (Weichgrebe et al. 2016) die Abfallzusammensetzung aus einer umfassenden Analyse liefert, ist diese nicht auf andere Zonen in Bangalore anwendbar. Die über BBMP (2016a) verfügbare Abfallzusammensetzung ist nur eine Näherung zur Orientierung. Diese wurde jedoch mangels besserer Daten für die THG-Berechnungen herangezogen.

Die Abfallsammlung wird von BBMP täglich durchgeführt. Der Abfall wird durch Haustürsammlung und Abholung von Wegwerfplätzen gesammelt. Abfallbehälter werden nur in den gewerblichen Bereichen eingesetzt. Obwohl die Sammeldichte 100% beträgt, werden ca. 20% der anfallenden Abfälle nicht gesammelt. BBMP empfiehlt die getrennte Abfallerfassung. Im Allgemeinen sind 3 Abfallkategorien zur getrennten Erfassung bestimmt: Nass-, Trocken- und Sanitärabfälle. Zum Zeitpunkt der Datenerhebungsphase im Jahr 2016 war die getrennte Erfassung kaum umgesetzt. Trockener Abfall enthielt nicht recycelbare oder minderwertige Materialien. Nasser Abfall – definiert als biologisch abbaubarer Abfall – bestand aus einer Mischung von nicht getrennt erfasstem trockenem Abfall, Textilien, biologisch abbaubaren Abfällen und Hygieneabfällen und wird in dieser Studie daher als "Nass-/Mischmüll" bezeichnet.

Trockene Abfälle werden zu den Trockenabfallsammelzentren (Dry Waste Collection Centers, DWCC) gebracht, während Nass-/Mischabfälle zu einer von 10 mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBAs) gebracht werden. In beiden Fällen wurden erhebliche Mengen aufgrund mangelnder Qualität (DWCC) oder mangelnder Kapazität/Nichtbetrieb (MBAs) nicht angenommen oder nicht verarbeitet. Zum Zeitpunkt des Besuchs in Bangalore im Oktober 2016 waren 7 der 10 MBAs nicht in Betrieb. Gründe dafür waren Blockaden durch protestierende Bürger, abgestellter Strom aufgrund nicht bezahlter Rechnungen, ein in Brand geratenes Ersatzbrennstoff (EBS) Lager und Probleme mit dem angelieferten Nass-/Mischabfall, der aus langem, seilartigem Textilmaterial besteht, das regelmäßig die Trommelsiebe verstopft und die ordentliche Trennung einer EBS-Fraktion und einer organischen Abfallfraktion verhindert, was zu qualitativ minderwertigen Produkten (EBS, Kompost) führt, die nicht und/oder kaum marktfähig sind. Die Massenströme der Behandlungsprozesse sind anhand von Interviewergebnissen, Literatur und Fachwissen abgeschätzt:

DWCC: 30% abgelehnt; sortierte Wertstoffe bilden 80% des Inputs und Sortierreste 20%.

MBA: 10% nicht verarbeitet; MBA-Output: 20% EBS, 20% Kompost, 15% stabilisierte feste Rückstände, 10% inert, 35% Verluste (Wasser, abgebaute organische Stoffe).

Von allen Outputs wird nur sortierten Wertstoffen ein Nutzen in der THG-Berechnung zugeordnet. Dies gilt auch für eine geringe Menge getrennt erfasster Lebensmittelabfälle, die in kleinen Vergärungsanlagen behandelt werden. Im Oktober 2016 waren nur 4 von 16 dieser Anlagen in Betrieb. Das Konzept ist einfach mit einer eher geringen, nicht selbstversorgenden Biogasausbeute, und Gärreste, die in einem Absetzbecken gelagert werden, werden schließlich in die Gewässer abgeleitet. Somit ist dieses Konzept nicht sehr klima- oder umweltfreundlich. Die nicht angenommenen und nicht verarbeiteten Abfälle sowie Sortierreste, Verunreinigungen und minderwertige EBS werden im Wesentlichen gelagert bzw. auf Deponien und unkontrollierten Deponien oder Steinbrüchen abgelagert. Mindestens zwei der offiziell geschlossenen Deponien sind höher als 15 m. Diese Informationen sind für die THG-Berechnung relevant, da mangels regionaler Daten Standardwerte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006) zur Berechnung von Methanemissionen aus der Deponierung verwendet werden, die von der Höhe des Deponiekörpers abhängen.

**Bhopal**, in Zentralindien gelegen, ist die Hauptstadt des Staates Madhya Pradesh. Laut Census of India 2011 lag die Bevölkerungszahl von Bhopal etwa bei 1,8 Millionen. Ein erheblicher Teil (ca. 27%) der Bevölkerung lebt in den 388 Slumgebieten der Stadt (Smart Cities Projects 2015). Die Stadt ist in 85 Bezirke in 19 Zonen gegliedert und wird von der Stadtverwaltung Bhopal (BMC) verwaltet. Die Abfallwirtschaft liegt in der Regel in der Verantwortung von BMC. Aber auch mehrere NGOs und Selbsthilfegruppen sind in der Abfallwirtschaft tätig. Der informelle Sektor in Bhopal umfasst mehr als 8.000 Recycler, während BMC mehr als 4.700 Mitarbeiter für die Abfallwirtschaft beschäftigt (CDIA 2015).

Die aus Studien verfügbaren Daten zum Abfallaufkommen variieren zwischen 700 und 800 Tonnen pro Tag (Sharma 2016, Katiyar et al. 2013, Dasgupta 2016). Daten zur Abfallzusammensetzung sind von BMC (2006) und aus einer Studie für 2009 (Katiyar et al. 2013) verfügbar. Die Abfallzusammensetzung neueren Datums wurde für die THG-Berechnung verwendet, ist aber ebenfalls veraltet.

Die Abfallsammlung ist von BMC gut umgesetzt (Sharma 2016). Aber bisher wird Abfall aus Haushalten und Gewerbegebieten bei der Erfassung meist nicht getrennt. Die gesammelten Abfälle werden in einem der mehr als 3.000 Sammelbehälter/Zentren entladen und anschließend auf die Deponie Bhanpura transportiert (CDIA 2015). Die Deponie Bhanpura ist seit über 35 Jahren in Betrieb, liegt inzwischen innerhalb der kommunalen Grenzen und hat ihre Kapazität erreicht (BMC 2014). Die angelieferten Abfälle werden vor der Ablagerung gewogen und etwa seit 2016 dabei digital erfasst. Die deponierten Abfälle werden nicht höher als 5 m aufgeschichtet – und damit nach IPCC (2006) als flach eingestuft – und werden weder verdichtet noch abgedeckt. Einige andere Aktivitäten in Bhopal, wie kleine Kompostieranlagen oder eine kleine Vergärungsanlage (in einem viel besseren Zustand als die Anlagen in Bangalore), die von Selbsthilfegruppen oder NGOs betrieben werden, informelles Kunststoffrecycling oder der Versuch, Düngemittel aus deponierten Abfällen herzustellen, die ausgegraben und in einer Anlage neben der Deponie mechanisch behandelt werden, werden in der THG-Berechnung nicht berücksichtigt, da diese sehr spezifisch sind oder keine Daten auf Stadtebene vorliegen.

**Haridwar**, im nordindischen Bundesstaat Uttarakhand am Fluss Ganges gelegen, ist eine der sieben heiligen Städte der hinduistischen Kultur. Laut Census of India 2011 hat Haridwar City eine Bevölkerung von etwa 230.000 Menschen. Allerdings beträgt die fluktuierende Bevölkerung der Stadt (Touristen, Gläubige) bis zu 160.000 Menschen pro Tag (IPE 2009, CPCB 2016). Ein erheblicher Teil der Bevölkerung – abhängig von der Quelle (MoUD 2016, IPE 2009) etwa ein Viertel bis ein Drittel der ständigen Bevölkerung – lebt in Slumgebieten. Die Stadt ist in 30 Bezirke unterteilt, die in 4 Zonen zusammengefasst sind (CPCB 2016). Die zuständige Behörde heißt Nagar Nigam Haridwar.

Die aus Studien verfügbaren Daten zum Abfallaufkommen variieren zwischen 200 und 400 Tonnen pro Tag (Urban Development Directorate 2015, MoEF 2015, Nagrath 2016). Für die THG-Berechnung in dieser Studie ist das durchschnittliche Abfallkommen mit 237 Tonnen pro Tag angenommen, einschließlich einer geschätzten Abfallerzeugung von 315 Tonnen pro Tag an 20 Tagen pro Jahr aufgrund religiöser Feierlichkeiten (Nagar Nigam Haridwar 2015). Daten zur Abfallzusammensetzung sind aus drei verschiedenen Quellen verfügbar (IPE 2009, Sharma et al. 2010, Jain & Sharma 2011). Obwohl (IPE 2009) sich auf die Jahre 2007/2008 bezieht, wurde die Quelle für die THG-Berechnung verwendet, da sie umfassender ist als Informationen aus anderen Quellen.

Die Abfallsammlung wird in allen Bezirken täglich angeboten, allerdings wird die Sammelquote mit 72% berichtet (MoUD 2016). Der nicht gesammelte Abfall wird im Wesentlichen auf die Straße oder in die offene Kanalisation verstreut. Insbesondere letztere haben das Potenzial, in den Fluss Ganges gespült zu werden und die Meeresverschmutzung zu erhöhen. Die Haustürsammlung wurde an ein privates Unternehmen vergeben, das Anfang 2017 eine getrennte Erfassung von biologisch abbaubaren und nicht biologisch abbaubaren Abfällen in 22 Bezirken durchführte. Die Abfälle der restlichen 8 Bezirke wurden von der Behörde noch ohne Trennung gesammelt (CPCB 2016, HMC 2016 & 2017). Die getrennte Erfassung wurde begonnen, obwohl sich zum Zeitpunkt des Besuchs in Haridwar im März

2017 die Abfallwirtschaftsanlage zur Behandlung der biologisch abbaubaren Abfälle noch im Bau befand.

Der gesammelte Abfall wird zu Sammelcontainern (Abfalldepot) transportiert, wo die Sammler manuell verkaufsfähige Wertstoffe entnehmen. Der Restabfall wird schließlich zur Ablagerung auf die unkontrollierte Deponie Sarai (nahe der im Bau befindlichen Abfallanlage) transportiert. Der Abfall wird nicht höher als 5 m angehäuft und bei dem Besuch im März 2017 wurden Deponieschmelbrände beobachtet.

Die Ergebnisse und Annahmen für die Status-quo-Szenarien für die 3 Städte sind in Tabelle 1: zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht zu Annahmen für das Status Quo Szenario für die 3 Städte

	Bangalore	Bhopal	Haridwar
Abfallaufkommen	4000 t/d	800 t/d	237 t/d
Sammelquote	80%	100%	72%
Getrennte Erfassung eingeleitet	ja	nein	ja
Verbleib nicht erfasste Abfälle	90% wilde Deponie 8% offene Verbrennung 2% Eigenkompostierung	-	100% verstreut
Behandlung gesammelte Abfälle	25% DWCC 72,5% MBA <sup>1)</sup> 2,5% Vergärung	100% ungeordnete Deponierung	100% ungeordnete Deponierung
Hauptfraktionen Abfallzusammensetzung:			
Organikabfall (Essensreste, Grünabfall, Heu, Stroh, Holz)	59%	69%	50%
Wertstoffe (Papier, Kunststoffe, Textilien, Glas, Metalle)	33%	20%	23%
Inert (Sand, Schlick, Schutt)	5%	10%	24%
Abfallkenndaten für generierte Abfälle berechnet auf Basis der Zusammensetzung			
Heizwert [MJ/kg]	7,6	5,8	6,3
Fossiler Kohlenstoff [%]	6,8%	3%	5,6%
Regenerativer Kohlenstoff [%]	16,4%	17,1%	13,5%

1) 10 MBAs, von denen 7 im Oktober 2016 außer Betrieb waren, u.a. wegen Problemen bei der ordentlichen Trennung einer EBS- und organischen Abfallfraktion und dadurch kaum vermarktbar Produkten minderer Qualität.

**Einige wichtige Beobachtungen und Herausforderungen**, die bereits in der Phase der Informationsbeschaffung erkannt wurden, sind:

1. Die schwierige Datenlage: Daten sind nicht auf aggregierter Ebene verfügbar, der Verbleib der Abfälle ist teilweise nicht bekannt, Abfälle von Massenabfallerzeugern und informellem Recycling unterliegen nicht der Zuständigkeit der Behörde und werden auf kommunaler Ebene nicht erfasst. Daten über die Abfallzusammensetzung oder -charakteristik sind aus einigen wenigen Studien verfügbar, aber teilweise veraltet bzw. nicht repräsentativ.
2. Die schwierige Situation der Abfallwirtschaft: Die Abfallsammlung und -behandlung sowie das Recycling werden angewendet, aber relevante Mengen werden weiterhin nicht gesammelt und

auf ungesunde Art entsorgt. Die getrennte Erfassung wurde grundsätzlich eingeführt, aber Anlagen zur Behandlung dieser Abfälle waren entweder noch nicht vorhanden oder funktionierten nicht ordnungsgemäß.

3. Die beobachteten administrativen und politischen Herausforderungen: Eine hohe Personalfuktuation sowie fehlende Kapazitäten auf kommunaler Ebene erschweren die konsequente Umsetzung von Abfallwirtschaftsplänen. Die Übertragung von mehr Verantwortung auf die Abfallerzeuger wie Massenabfallerzeugern trägt dazu bei, die Behörden bis zu einem gewissen Grad zu entlasten, aber das Fehlen verfügbarer Daten oder eines Überwachungssystems für alle Abfallströme erschwert die Ermittlung oder Planung geeigneter Abfallbehandlungskapazitäten, da die Abfälle von Massenerzeugern wahrscheinlich dennoch in den kommunalen Abfallstrom gelangen.

### Abfallwirtschaftsszenarien und THG-Berechnungen

Im Hinblick auf die Datensituation mussten sowohl die Status-quo Szenarien als auch die Optimierungsszenarien weitgehend auf Basis von Annahmen abgeleitet werden. Darüber hinaus sind einige Klarstellungen für ein gemeinsames Verständnis von Begriffen und Definitionen erforderlich. So wird beispielsweise in Indien der Begriff "Kompostierung" oft gleichermaßen für die Behandlung von Nass-/Mischabfällen oder von getrennten organischen Abfällen verwendet. Um Missverständnisse in dieser Studie zu vermeiden, wird "Kompostieranlage" nur für die Behandlung von getrennt erfassten nassen/organischen Abfällen und "MBA" für die Behandlung von Nass/Mischabfällen verwendet. Für EBS aus MBAs werden verschiedene Qualitätsstufen unterschieden. Die Kleinanlagen zur Vergärung von Organikabfällen werden als "Biomethanisierungsanlage" bezeichnet, während die anaerobe Vergärungsanlage (anaerobic digestion, AD) für effiziente moderne emissionsarme Anlagen steht. Die Abfallverbrennung wird in den Optimierungsszenarien in Form einer Mitverbrennung in Verbrennungsanlagen mit Energieerzeugung („waste-to-energy, WtE“) angenommen, die typischerweise z.B. landwirtschaftliche Reststoffe verarbeiten und in Indien häufiger vorkommen als Müllverbrennungsanlagen (MVAs). Des Weiteren in Form einer Mitverbrennung in einer "Cluster WtE", einem Kooperationskonzept mehrerer Städte, die brennbare Abfälle getrennt erfassen, und in Form von neu errichteten WtE-Anlagen (MVAs), wenn die Abfallströme groß genug sind und eine neue Anlage wirtschaftlich erscheint. Die Verbrennung von erzeugtem oder gesammeltem Siedlungsabfall wird nicht berücksichtigt, da dieser Abfall in Indien üblicherweise einen niedrigen Heizwert hat und nicht für die Verbrennung geeignet ist.

Die **Entwicklung der Optimierungsszenarien** zielt darauf ab, integrierte Abfallmanagementsysteme mit potenziellem Co-Nutzen für die THG-Minderung darzustellen. Umso realitätsnah wie möglich zu sein, werden die unterschiedlichen Siedlungsstrukturen der 3 Städte ebenso berücksichtigt wie bestehende Ansätze und Pläne. Außerdem werden erreichbare und realistische Technologien berücksichtigt und angepasste Betriebsbedingungen, um die erforderlichen Qualitätsergebnisse zu erzielen. Die potenzielle THG-Minderung ist nicht die maximal mögliche, sondern das realistisch Machbare in der näheren Zukunft. Der potenzielle Abfallanteil für das Recycling, die Kompostierung oder die Verbrennung basiert auf der Abfallzusammensetzung der erzeugten Abfälle. Insgesamt sind zwei Optimierungsszenarien als schrittweiser Ansatz entwickelt, wobei Szenario 1 der erste Schritt zu einem weiter optimierten Szenario 2 ist. **Die Deponiegaserfassung ist keine Option.** Grundsätzlich ist die Deponierung von nicht behandelten, verwertbaren Abfällen nach den SWM Rules (MoEF 2000, 2016) nicht zulässig. Obwohl immer noch erhebliche Abfallmengen auf unhygienischen Deponien entsorgt werden, kämpfen die ULBs mit der Umsetzung regelungskonformer Behandlungsoptionen. Darüber hinaus sind bestehende Deponien für den nachträglichen Einbau eines Gassammelsystems kaum geeignet, da sie meist flach und unkontrolliert sind.

Der **Bezugsraum der Szenarien** konzentriert sich auf Abfälle aus Haushalten in kommunaler Verantwortung. Mangels ausreichender Daten werden weder Abfälle von Massenabfallerzeugern noch Abfälle, die vom informellen Sektor behandelt werden, einbezogen, obwohl insbesondere das informelle Recycling erheblich zur möglichen THG-Minderung beitragen würde.

Die **Annahmen für die Optimierungsszenarien** der 3 Städte sind in Tabelle 2: dargestellt. Im Allgemeinen wird von einer 100%igen Sammlung ausgegangen. Dies ist der erste Schritt zu einem integrierten Abfallwirtschaftssystem. Darüber hinaus wird die getrennte Erfassung als Schlüsselement angesehen, um eine ordentliche Behandlung und Qualitätsprodukte zu erreichen. Obwohl dafür sowohl für die Bürger als auch für die Abfallsammler ein Bildungs- und Beratungsangebot erforderlich ist, wird davon ausgegangen, dass es in S+E-Ländern einfacher ist, dies umzusetzen als technische Lösungen. Darüber hinaus müssen organische Abfälle getrennt erfasst und nicht mit anderen Restabfällen vermischt werden, um eine irreversible Verschmutzung des organischen Materials zu vermeiden. Die Realisierung ist in kleineren Städten sicherlich einfacher, weil weniger anonymen, aber auch in großen Städten und Megacities möglich, zumindest in den weniger dicht bebauten Gebieten.

Für Bangalore und Bhopal wird in Szenario 1 von einer moderaten getrennten Erfassung von Nass/Organikabfall ausgegangen, die in Szenario 2 weiter verstärkt wird, jedoch jeweils in höherem Maße für Bhopal, aufgrund des vergleichsweise hohen Anteils an organischen Abfällen in der Abfallzusammensetzung. Darüber hinaus geht Szenario 2 von einer teilweisen Behandlung von getrennt erfassten Nass/Organikabfällen in einer effizienten, emissionsarmen anaeroben Vergärungsanlage (AD) aus. Für Haridwar wird bereits für Szenario 1 eine umfassendere getrennte Erfassung von Nass/Organikabfällen angenommen, die in Szenario 2 nicht weiter erhöht wird. Stattdessen konzentriert sich Szenario 2 auf die Vermeidung einer Meeresverschmutzung durch die Annahme einer hocheffizienten Haustürsammlung, bei der ein Verstreuen von Abfällen nicht mehr stattfindet. Dadurch wird der Schlick aus den offenen Straßenkanälen vom Siedlungsabfallstrom ausgeschlossen, es müssen weniger restliche Nass/Mischabfälle behandelt werden und die Wertstoffe werden nicht verunreinigt, was zu einer höheren Recyclingquote führt.

Für Bangalore und Bhopal ist die angenommene Recyclingquote in Szenario 1 und 2 gleich. Für Bhopal wird zusätzlich eine getrennte Erfassung von brennbaren Abfällen angenommen, da die Stadt in Kooperation mit anderen Städten plant, eine Cluster-WtE einzuführen. Für alle 3 Städte wird angenommen, dass die restlichen Nass/Mischabfälle in den Szenarien 1 und 2 mechanisch-biologisch behandelt werden. Für Bangalore untersucht Szenario 2b zusätzlich die Verbrennung der restlichen Nass/Mischabfälle in einer WtE-Anlage. Der Output aus der MBA wird so gut wie möglich basierend der Abfallzusammensetzung des Restabfallinputs abgeleitet. Für Bangalore wird die Erzeugung von hochwertigem Ersatzbrennstoff angenommen, der in Zementwerken mitverbrannt werden kann. Für Haridwar wird davon ausgegangen, dass die Behandlung von getrennt erfassten Nass/Organikabfällen und von restlichen Nass/Mischabfällen in einem 2-Linien-Betrieb in der neuen abfallwirtschaftlichen Anlage erfolgen kann. Es scheint genügend Platz für eine streng getrennte Behandlung der beiden Abfallströme zu geben. Für Bangalore erscheint es am sinnvollsten, einige der bestehenden MBAs für die ausschließliche Behandlung von getrennt erfassten Nass/Organikabfällen umzuwidmen, wie es in der KCDC-Anlage früher der Fall war, während die verbleibenden MBAs weiterhin die restlichen Nass/Mischabfälle verarbeiten.

Für die THG-Berechnungen wird die Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft verwendet, die am besten zur Entscheidungshilfe geeignet ist, da sie alle THG-Emissionen berücksichtigt, die im Zusammenhang mit der Behandlung einer bestimmten Abfallmenge stehen. Dazu gehören nicht nur die direkten Emissionen, sondern auch zukünftige Emissionen aus der Deponierung sowie potenzielle THG-Einsparungen in anderen Sektoren als dem Abfallsektor, die sich aus abfallwirtschaftlichen Aktivitäten wie der

Erzeugung von Energie und Sekundärprodukten ergeben. Letztere haben das Potenzial, konventionelle Energie und Primärproduktion zu ersetzen. Potenzielle THG-Einsparungen werden als Gutschriften mit negativen Werten einbezogen.

Tabelle 2: Übersicht zu Annahmen für die Optimierungsszenarien für die 3 Städte

	Szenario 1	Szenario 2
Sammelquote alle 3 Städte	100%	100%
<b>Bangalore</b>		
Getrennte Erfassung	15% Nass/Organikabfälle 25% Wertstoffe für Recycler	40% Nass/Organikabfälle 25% Wertstoffe für Recycler
Restliche Nass/Mischabfälle	60%	35%
Behandlung getrennt erfass- ter Nass/Organikabfälle	100% Kompostierung	70% Kompostierung 30% effiziente Vergärung (AD)
Behandlung von restlichen Nass/Mischabfällen	100% MBA, Output: 20% EBS zu WtE-Anlage 15% EBS zum Zementwerk 30% stabilisierter fester Rück- stand, inert 0,3% Metalle 35% Verluste	2a) 100% MBA, Output: 10% EBS zu WtE-Anlage 25% EBS zum Zementwerk 30% stabilisierter fester Rück- stand, inert 0,3% Metalle 35% Verluste 2b) 100% WtE-Anlage
<b>Bhopal</b>		
Getrennte Erfassung	30% Nass/Organikabfälle 20% brennbare Abfälle Cluster- WtE 15% Wertstoffe für Recycler	50% Nass/Organikabfälle 20% brennbare Abfälle Cluster- WtE 15% Wertstoffe für Recycler
Restliche Nass/Mischabfälle	35%	15%
Behandlung getrennt erfass- ter Nass/Organikabfälle	100% Kompostierung	70% Kompostierung 30% effiziente Vergärung (AD)
Behandlung von restlichen Nass/Mischabfällen	100% MBA, Output: 20% EBS zu WtE-Anlage 45% stabilisierter fester Rück- stand, inert 1% Metalle 34% Verluste	100% MBA, Output: 30% EBS zu WtE-Anlage 40% stabilisierter fester Rück- stand, inert 1% Metalle 29% Verluste
<b>Haridwar</b>		
Getrennte Erfassung	45% Nass/Organikabfälle 10% Wertstoffe für Recycler	45% Nass/Organikabfälle 15% Wertstoffe für Recycler 17% Schlamm, inert, ausgeschlos- sen von Siedlungsabfall
Restliche Nass/Mischabfälle	45%	23%
Behandlung getrennt erfass- ter Nass/Organikabfälle	100% Kompostierung in neuer Abfallwirtschaftsanlage, 2-Linien-Betrieb, streng getrennt von Nass/Mischabfällen	
Behandlung von restlichen Nass/Mischabfällen	100% mechanische/manuelle Sor- tierung und biologische Stabilisie- rung, Output: 50% stabilisierter fester Rück- stand, inert 15% Wertstoffe 35% Verluste	100% mechanische/manuelle Sor- tierung und biologische Stabilisie- rung, Output: 45% stabilisierter fester Rück- stand, inert 20% Wertstoffe 35% Verluste

"Verluste" sind Wasser- und Massenverluste, die durch biologische Behandlung durch Abbau und Verdunstung entstehen.

Neben den Annahmen zu Massenströmen sind weitere Annahmen bezüglich der Abfallcharakteristik erforderlich. Die wichtigsten Parameter, Kohlenstoffgehalt und Heizwert, werden aus der Abfallzusammensetzung des generierten Abfalls berechnet und für getrennt erfasste brennbare Abfälle oder die EBS-Fractionen geschätzt. Für die Berechnung des Recyclings und der biologischen Behandlung werden harmonisierte Emissionsfaktoren nach Vogt et al. (2015) verwendet. Die Abfallentsorgung wird mit international anerkannten Standardwerten berechnet (IPCC 2006). Der Methankorrekturfaktor (MCF) wird für Bhopal und Haridwar mit 0,4 angenommen, da die Deponien flach sind. Für Bangalore wird der MCF auf 0,6 für nicht kategorisierte Deponien gesetzt, da mindestens zwei Deponien nicht flach sind.

Tabelle 3 zeigt die **THG-Ergebnisse** für die drei Städte. Aufgrund der vielen notwendigen Annahmen sind die Ergebnisse als grobe Näherung zu verstehen und sind in gerundeten Werten angegeben. "Belastungen" sind die direkten Emissionen (einschließlich zukünftiger Emissionen), "Gutschriften" die potenziellen THG-Einsparungen, "Netto" bezieht sich auf die Differenz zwischen Belastungen und Gutschriften. In allen Status-quo Szenarien werden die Belastungen durch die Methanemissionen aus der Deponierung dominiert. Von den drei Städten erreicht nur Bangalore eine Gutschrift für das Recycling. Die Ergebnisse der Szenarien 1 und 2 zeigen deutlich das signifikante THG-Minderungspotenzial, das sich aus der Abkehr von der Deponierung ergibt. Hier bietet der regulatorische und politische Rahmen in Indien bereits eine gute Basis, was für den Klimaschutz ein sehr relevanter Co-Nutzen ist.

Tabelle 3: THG-Ergebnisse für die 3 Städte (gerundete Werte)

CO <sub>2</sub> Äq pro Jahr	Status quo	Szenario 1	Szenario 2	
			a)	b)
<b>Bangalore</b>				
Belastungen in Tonnen	640.000	380.000	310.000	330.000
Gutschriften in Tonnen	-120.000	-690.000	-680.000	-670.000
Netto in Tonnen	520.000	-310.000	-370.000	-340.000
Spezifisches Nettoergebnis pro Tonne	360	-210	-250	-240
Spezifisches Nettoergebnis pro Kopf	62	-37	-44	-41
<b>Bhopal</b>				
Belastungen in Tonnen	171.000	62.000	57.000	
Gutschriften in Tonnen	0	-97.000	-108.000	
Netto in Tonnen	171.000	-35.000	-51.000	
Spezifisches Nettoergebnis pro Tonne	590	-120	-170	
Spezifisches Nettoergebnis pro Kopf	95	-19	-28	
<b>Haridwar</b>				
Belastungen in Tonnen	29.000	11.000	11.000	
Gutschriften in Tonnen	0	-29.000	-33.000	
Netto in Tonnen	29.000	-18.000	-22.000	
Spezifisches Nettoergebnis pro Tonne	340	-200	-250	
Spezifisches Nettoergebnis pro Kopf	75	-45	-55	

Obwohl einiges zu tun bleibt, bis ein integriertes Abfallwirtschaftssystem vollständig umgesetzt ist, könnte das Szenario 1 für die drei Städte als erster Schritt in einem angemessenen Zeitrahmen wahrgenommen werden. Das Szenario 2 für jede der drei Städte ist schwieriger zu realisieren, da es einen weiteren Anstieg der getrennten Erfassung von Nass/Organikabfall für Bhopal und Bangalore beinhaltet sowie für Haridwar die strikte Vermeidung von Vermüllung. Darüber hinaus sind effizient betriebene emissionsarme Vergärungsanlagen Teil des Szenarios 2, was nicht nur geeignetes Inputmaterial, sondern auch höhere Investitionen erfordert. Dennoch sind beide Szenarien 1 und 2 als machbar und erreichbar für die indischen Städte anzusehen, und beide Szenarien bieten bereits eine signifikante THG-Minderung, obwohl sie nicht die maximal mögliche Reduzierung der THG-Emissionen ausschöpfen. Voraussetzung für die Implementierung funktionaler Abfallwirtschaftssysteme ist es, die Abfallmengen zu kennen, die sich aus allen relevanten Quellen einschließlich Massenabfallerzeuger ergeben, da diese über die erforderlichen Kapazitäten entscheiden, und die Abfalleigenschaften zu kennen, da diese über mögliche Behandlungswege entscheiden. Letztere bestimmen auch die THG-Ergebnisse. Beispielsweise führen die beiden in Szenario 2a und 2b unterschiedenen Konzepte für Bangalore zu ähnlichen THG-Ergebnissen. Dies gilt jedoch nur, wenn die Annahmen über die Abfalleigenschaften zuverlässig sind und die angewandten Behandlungen nach dem Stand der Technik gebaut und betrieben werden, z.B. zur Erzielung einer hochwertigen EBS-Fraktion. Erst dann gilt die Schlussfolgerung, dass es aus Klimaschutzsicht offen ist, für welches der beiden Konzepte sich eine Stadt entscheidet.

Die Differenz zwischen den spezifischen pro Kopf Nettoergebnissen des Status-quo Szenarios und des Szenarios 2 wird für die **Extrapolation der THG-Ergebnisse** auf der Grundlage der Bevölkerungsdaten des Census of India 2011 verwendet, um einen groben Überblick über die nationale Dimension der THG-Minderungsszenarien für die drei verschiedenen Stadtgrößen zu erhalten. Insgesamt sind 468 Städte und Ballungsräume berichtet, von denen 10 mehr als 3 Millionen Einwohner (Groß- und Megastädte), 34 zwischen 1 und 3 Millionen (mittelgroße Städte) und 424 zwischen 0,1 und 1 Million Einwohner (kleinere Städte) haben. Die Gesamtbevölkerung in den Städten wird auf etwa 61 Millionen in Groß- und Megastädten, etwa 49 Millionen in mittelgroßen Städten und etwa 84 Millionen in kleineren Städten geschätzt. Das gesamte THG-Minderungspotenzial für alle Städte wird auf etwa -23,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr berechnet. Der jeweilige Anteil der 3 Stadtcluster beträgt 28% für die Groß- und Megastädte, 26% für die mittelgroßen Städte und 47% für die kleineren Städte. Selbst wenn der Beitrag der kleineren Städte überschätzt ist, zeigen die Ergebnisse, dass die Summe dieser einen relevanten Faktor für die nationale THG-Minderung durch die Abfallwirtschaft darstellt.

Wie bereits erwähnt, mussten die in dieser Studie berechneten THG-Ergebnisse jedoch auf Basis vieler Annahmen ermittelt werden. Obwohl die Größenordnung für die THG-Minderung durch eine Abkehr von der Deponierung robust ist, sind die Ergebnisse als zu ungenau und unverbindlich anzusehen, als dass sie z.B. von finanzierenden Institutionen wie der NAMA-Fazilität oder für NDCs akzeptiert würden. Sie können durchaus über- oder unterschätzt sein. Um zu verdeutlichen, dass **Abfalldaten für die Zuverlässigkeit der THG-Ergebnisse von Bedeutung sind**, werden in dieser Studie spezifische THG-Ergebnisse für die wichtigsten Behandlungsoptionen vorgestellt. Insbesondere Variationen der Abfalldeponierung zeigen Unterschiede bis zu einem Faktor 3, wenn der abbaubare organische Kohlenstoffgehalt (DOC) und die Bedingungen der Deponien (MCF) nicht bekannt oder falsch eingeschätzt sind. Auch die Abfallverbrennung kann je nach fossilem Kohlenstoffgehalt, Heizwert und potenziell substituiertem Strommix sowohl zu Nettobe- als auch zu Nettoentlastungen führen.

**NAMAs und NDCs verlangen MRV-Systeme**, die den allgemeinen, internationalen UNFCCC-Berichtsanforderungen entsprechen, um Emissionen und Emissionsreduktionen im Hinblick auf das Minderungsziel verfolgen zu können (GIZ 2013). Die adressierten THG-Inventare beziehen sich auf alle Sektoren einer Volkswirtschaft und es werden nur direkte und jährliche Emissionen pro Sektor ausgewiesen. Der Abfallsektor im Treibhausgasinventar ist auf nicht-energetische Emissionen konzentriert. Die Erteilung von Gutschriften für durch die Abfallwirtschaft eingesparte THG-Emissionen in anderen Sek-

toren ist keine Option, um Doppelbilanzierung zu vermeiden. Im Vergleich zwischen der Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft und dem THG-Inventar für den Abfallsektor sind zwei Aspekte grundlegende Gegensätze: (1) die Deponierung von Abfällen und (2) die Berücksichtigung potenziell vermiedener Emissionen. Für eine Abfall-NAMA oder NDCs ist es jedoch für Entscheidungsträger sehr schwierig, verschiedene Strategien in der Abfallwirtschaft auf der Grundlage des THG-Inventars zu bewerten, da weder zukünftige Emissionen aus der Entsorgung noch potenzielle THG-Einsparungen sichtbar werden. Dies ist nur mit der Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft möglich.

Daher wird empfohlen, beide Methoden – Ökobilanz und Inventar – für die Entscheidungsfindung und für MRV im Abfallsektor einzusetzen. Die beiden Methoden können nicht zu einer einzigen Methode zusammengeführt werden, um sowohl Entscheidungshilfen zu leisten als auch den volkswirtschaftlichen Fortschritt zu überwachen. Daher wird empfohlen, eine Schnittstelle zwischen den beiden Verfahren zu entwickeln und zu verwenden, mit Verknüpfungen für direkte Emissionen, die bei beiden Methoden gleich sind, Verknüpfungen für Eingangsparameter, die für die Abfalldeponierung verwendet werden wie DOC, DOCf usw. und eventuell mit einer Zeitreihe für die Ökobilanzergebnisse der Deponierung, die leicht mit Hilfe der IPCCs Standardwerte für Zerfallsraten umgesetzt werden kann. Darüber hinaus könnten vermiedene Emissionen nur zu Informationszwecken dokumentiert und separat beschrieben werden. Der empfohlene Ansatz lässt sich leicht umsetzen. Der viel wichtigere Faktor für MRV ist die Qualität der THG-Daten.

### Schlussfolgerungen

Die Zunahme des Abfallaufkommens und die Veränderung der Abfallzusammensetzung infolge des Bevölkerungswachstums und der schnellen Änderung des Lebensstils erschweren Indien und indischen Städten die Einführung eines integrierten Abfallwirtschaftssystems. In vielerlei Hinsicht ist Indien jedoch auf dem richtigen Weg. Die aufgelegten nationalen und regionalen Programme unterstützen die ULBs teilweise finanziell. Die überarbeiteten SWM Rules 2016 schreiben eine ordnungsgemäße Abfallwirtschaft vor, und das MSWM Manual 2016 unterstützt die ULBs bei der Entwicklung von kommunalen Abfallwirtschaftsplänen. Darüber hinaus gibt es viele sehr gute Initiativen an der Basis, die in die Abfallwirtschaftsplanung integriert werden können.

Obwohl die THG-Ergebnisse nicht absolut genau sein können, ist zumindest die Größenordnung für die THG-Minderung durch die Abkehr von der Deponierung robust. Darüber hinaus zeigen die THG-Szenarien die Möglichkeiten zum Klimaschutz durch eine integrierte Abfallwirtschaft. Um dies zu erreichen, müssen jedoch einige große Herausforderungen angegangen werden:

- ▶ Die Behörden müssen die gesamten Abfallmengen kennen, um ausreichende Behandlungskapazitäten zu planen. Sie müssen ein umfassendes Datenerfassungs- und Überwachungssystem für Siedlungsabfälle aufbauen.
- ▶ Die Abfallzusammensetzung, die Abfalleigenschaften, sind essentiell für die Entscheidung über geeignete Behandlungsmöglichkeiten. Repräsentative Probenahme und Analyse, wie sie im MSWM Manual 2016 vorgeschlagen werden, sind eine Voraussetzung, um eine ordnungsgemäße Abfallwirtschaft zu implementieren.
- ▶ Darüber hinaus wird dringend empfohlen, vor dem Bau einer Abfallbehandlungsanlage Pilotversuche mit gesammelten Abfällen durchzuführen, um technische Misserfolge im Betrieb zu verhindern.
- ▶ Die getrennte Erfassung von Nass/Organikabfällen ist für Qualitätskomposte obligatorisch. Die Herstellung von Qualitätskompost erfordert keine High-Tech-Komponenten, sondern kann durch getrennte Erfassung und gute fachliche Praxis erreicht werden.
- ▶ Grundsätzlich wird die getrennte Erfassung als Schlüssel für sortenreine Abfallfraktionen angesehen, die qualitativ hochwertige Produkte und hohe Recyclingquoten ermöglichen. Die Realisierung ist in kleineren Städten aufgrund ihrer stärkeren sozialen Kohärenz sicherlich einfacher, aber auch in Groß- und Megastädten zumindest in einkommensstärkeren und weniger

dicht bebauten Gebieten möglich. Die getrennte Erfassung erfordert keine hohen Investitionen in Ausrüstung, sondern nur ausreichende Container und geeignete Transporteinrichtungen. Die Hauptinvestitionen müssen in die persönliche Beratung der Bürger und berufliche Bildung der Abfallsammler fließen.

- ▶ Eine schrittweise Einführung von Entsorgungsoptionen wird empfohlen, wie es die Szenarien 1 und 2 unter Nutzung von bestehenden Anlagen zeigen. Obwohl auch Szenario 2 nicht das maximale Minderungspotenzial ausschöpft, zeigen beide Szenarien erhebliche THG-Minderungseffekte. Beide werden als machbar und vergleichsweise einfach und kostengünstig zu realisieren angesehen. Szenario 2, mit den vorgeschlagenen modernen anaeroben Vergärungsanlagen, würde jedoch höhere Investitionen erfordern, die wahrscheinlich nicht durch den Verkauf von Biogas und Kompost abgedeckt werden. Ein solches Konzept erfordert andere Finanzierungsquellen wie Abfallservice-/Gategebühren.
- ▶ Darüber hinaus wird die Abfallverbrennung zumindest für mittlere und große Städte als notwendige Option für Sortierreste und Verunreinigungen aus der Vorbehandlung und für EBS-Fractionen angesehen, die nicht zur Mitverbrennung in Zementwerken verwendet werden können. Auch hier gilt es, geeignete Fraktionen zu identifizieren. Cluster WtE und/oder Mitverbrennung in WtE-Anlagen für landwirtschaftliche Reststoffe sind Optionen für kleinere Abfallströme, da WtE-Anlagen einen minimalen Durchsatz an geeignetem Material benötigen, um wirtschaftlich rentabel zu sein.
- ▶ Im Allgemeinen sollten die Kommunen Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit anderen Städten oder anderen Sektoren prüfen, um z.B. ein Cluster-WtE Konzept, die Mitverbrennung in Zementwerken, die Mitverbrennung in WtE-Anlagen für landwirtschaftliche Reststoffe oder die Mitbehandlung von organischen Abfällen in Biogasanlagen für Energiepflanzen und/oder landwirtschaftliche Reststoffe zu realisieren. In jedem Fall ist jedoch für die Abfallverbrennung eine ordentliche Rauchgasreinigung erforderlich, um den Belangen der menschlichen Gesundheit Rechnung zu tragen. Die Verbrennung muss den Emissionsstandards der SWM Rules 2016 entsprechen, und auch für die Mitbehandlung von Siedlungsabfällen in anderen Sektoren muss immer zuerst geprüft werden, ob dies den Umwelanforderungen entspricht.
- ▶ Die Leiter von kommunalen Kooperationen, Städten und Staaten müssen überzeugt werden, mehr Engagement in Entwicklungspläne für den Abfallsektor einzubringen, und ausreichende Ressourcen für die Verbesserung der Abfallwirtschaft bereitzustellen. Es besteht nach wie vor Bedarf an mehr und weiteren Formen der Finanzierung. Finanzielle Mittel könnten bis zu einem gewissen Grad bereitgestellt werden, indem die Anforderung der SWM Rules 2016 bezüglich Nutzungsentgelte für die Abfallentsorgung umgesetzt wird. Darüber hinaus sollten klimaschutzbezogene Finanzierungen, Herstellerverantwortung, Unterstützung durch Energiepreise oder Umweltfonds oder andere Maßnahmen für die Entwicklung geeigneter und klimafreundlicher integrierter Abfallwirtschaftssysteme und -infrastrukturen in Betracht gezogen werden.

Die Extrapolation der THG-Ergebnisse für Städtecluster zeigt, dass der potenzielle Beitrag von kleineren Städten zur nationalen THG-Minderung relevant ist und nicht vernachlässigt werden sollte. Obwohl Großprojekte in großen oder mittelgroßen Städten definitiv ein erhebliches THG-Minderungspotenzial haben, könnten in kleineren Städten die Möglichkeiten für eine ordentliche getrennte Erfassung höher sein, und die in Städten dieser Größenordnung angewandten Technologien, wie die Kompostierung, könnten schneller umzusetzen und einfacher zu betreiben sein.

Die Unterstützung von kleineren Städten könnte auf regionaler oder nationaler Ebene gebündelt werden, so dass sich Finanzierungsinstitutionen und Klimafonds beteiligen können, da der Finanzierungsumfang groß genug ist. Diese Programme sollten Schulungen zu Abfallprobenahme und Abfallanalyse in den kleineren Städten umfassen oder die Entwicklung standardisierter Kleinanlagen für die biologi-

sche Behandlung unterstützen. Ein idealer Effekt wäre, wenn sich die Unternehmen auf solche "kleinskaligen Lösungen" wie z.B. die Kompostierung spezialisieren würden, da der Skaleneffekt anderen Städten zugutekäme.

## Summary

The relevance of integrated waste management for resource and climate protection is demonstrated in several studies. Both in industrial as well as in emerging economies and developing (E+D-) countries the waste sector can contribute considerably to greenhouse gas (GHG) mitigation. Studies commissioned by the German Environment Agency (Dehoust et al. 2010, Vogt et al. 2015) revealed the achievable contribution to climate protection which especially results from diversion from landfill. In many countries, not only but most of all E+D-countries, disposal of municipal solid waste (MSW) is still dominating waste management practices, partly under unsanitary conditions. Efforts to improve the situation and to implement an integrated waste management system can both contribute to minimize impacts on human health and the environment as well as to climate protection. Especially diversion from landfill and thus altogether avoiding methane emissions from disposed of waste is a major driver for GHG mitigation in the waste sector.

The objective of the study 'Resource and Climate Protection through Integrated Waste Management Projects on the example of India' is to support decision-makers in identifying the potential to reduce GHG emissions in the Solid Waste Management (SWM) sector in order to plan their waste management or e.g. Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) and Nationally Determined Contributions (NDCs) accordingly. Ultimately, the project aims to indicate if/how the LCA approach in waste management (decision-making aid) can be connected to reporting requirements in line with UNFCCC, which are assumed to be required for monitoring, reporting, verification (MRV) of Waste-NAMAs, NDCs and others.

On the example of India the study refers to 3 specific cities, which are selected on the one hand based on information on India and, to some extent, at federal state or local level, and on the other hand based on prioritized selection criteria like especially stakeholder interest, contacts to actors, availability of data and population size and density. From a short list of cities subdivided into three clusters depending on the population size the following cities are selected:

- Bangalore from the cluster of cities with > 3 million inhabitants
- Bhopal from the cluster of cities with >1 to 3 million inhabitants
- Haridwar from the cluster of cities with 0.1 to 1 million inhabitants

In a rough approximation the selected 3 cities can also be used as proxy for city size clusters, and extrapolating the results can give a rough idea of the national dimension of GHG mitigation scenarios.

Prior to the data collection phase a comprehensive data template was established to enable systematic interviews and also receive information on data gaps and reliability of data. The initial data collection phase in Bangalore revealed that most important and critical data is not available at a central level, but dispersed at many and various levels. High population growth and migration into cities as well as the rapid change in life style confronts municipalities with an increase of waste generation and change in composition. It is challenging for most municipalities in India to keep up with these dynamic changes in their urban perimeter. So, data collection and management is often of secondary concern for the public sector authorities. The necessity for primary data collection from such a multitude of disperse, local sources had not been predictable and exceeded the research scope and design considerably. The project is therefore based on available secondary level data research, and the efforts to derive first-hand information through site visits and expert interviews were enhanced. Additionally, workshops in Bangalore and Haridwar – initially meant to discuss optimization scenarios – were readressed to verify collected data and potentially close data gaps.

General background information for India derived from studies provides the following picture: The per capita waste generation in Indian cities is estimated to range from 0.17 to 0.54 kg/cap/day in

small towns (< 1 million inhabitants) and from 0.22 to 0.62 kg/cap/day in large cities (> 2 million inhabitants) (Kumar et al. 2009, 2017). For 2011, the collection rate was reported to be 70% and the treatment rate about 13% of the waste generated (Joshi & Ahmed 2016). According to Kumar et al. (2017) the informal sector has a key role in extracting value from waste, but approximately more than 90% of residual waste in India is dumped in an uncontrolled manner.

The regulatory framework as well as a MSW manual have been prepared and implemented by nodal ministries in 2000 (MSW Rules 2000, MoEF 2000; MSW Manual, MoUD/CPHEEO 2000). However, the responsible municipal authorities (Urban Local Bodies - ULBs) could not fully comply with the guidelines. ULBs often lacked information about advantages and disadvantages of technologies, on how to implement integrated SWM systems as well as on costs or environmental and social impacts. In addition, budget constraints and lack of capacity in executing solid waste management projects could also be reasons for some non-compliance. The revised versions, the “MSW Manual 2016” (MoUD 2016) and the “SWM Rules 2016” (MoEF 2016) considered the above mentioned deficiencies and aimed for more comprehensive guidelines and regulations. For example, the MSW Manual 2016 provides a seven-step approach for developing a municipal solid waste management plan in ULBs, including a gap analysis of the current status with detailed information on data collection methodologies to derive representative data on waste quantities and composition. Salient features of the SWM Rules 2016 are for example the extension of the scope beyond the municipal perimeters, the duty for source segregation put on waste generators, the responsibilities of local authorities with regard to waste collection, and the provision to establish a comprehensive monitoring system.

The financial situation was also improved through several programs which have been launched to support ULBs, like the national programs Swachh Bharat Mission (Clean India Mission), the Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission (JNNURM) and its follow-up program AMRUT (Atal Mission for Rejuvenation and Urban Transformation) or the Smart Cities Program. However, not all cities benefit from these funds and partly funding is not sufficient. Financing is still needed and may be provided through user fees for solid waste management (SWM Rules) or for example by funding of NAMAs for the waste sector.

### **Facts and findings of SWM systems in the 3 selected cities**

**Bangalore**, located in southern India, is the capital of the state Karnataka. It is an important commercial center with some of the major, especially IT based industrial establishments. Bangalore has the reputation of being one of the fastest growing cities in Asia. Its population was about 8.5 million inhabitants as per Census of India 2011, and is likely to be 10 million inhabitants by 2021. The city is structured into 198 wards in 8 sub-administrative zones. The municipal authority is called Bruhat Bangalore Mahanagara Palike (BBMP). MSW is handled by the SWM Department which is responsible for MSW from households. So-called bulk generators like trade and commerce, hotels, canteens, apartment and high-rise blocks are required to manage their waste either in-situ or to contract BBMP authorized private service providers (KSPCB 2014). In addition, like in general in India, recyclable waste is basically processed by the informal sector. The respective amounts of both, bulk generators and informal recycling, are assumed to be relevant though data are not available.

Data on MSW generated, available from studies or from BBMP, vary between 3,000 and 4,000 TPD (BBMP 2016b, TERI 2015, KSPCB 2014). Data on waste composition are not available on a representative basis. Although, a study for the West Zone (Weichgrebe et al. 2016) provides the waste composition from a comprehensive analysis it is not applicable to other zones in Bangalore. The waste composition available from BBMP (2016a) is an approximation for guidance only. However, the latter was used for the GHG calculations in lack of better data.

Waste collection is provided by BBMP on a daily basis. Waste is collected by door-to-door (D2D) collection from households and collection from litter spots. Bins/litter bins are only used in the commercial areas. Although, the collection coverage is 100%, approximately 20% of the waste generated is not collected. BBMP has emphasized segregation at source. In general, 3 categories of waste are destined for source segregation: wet, dry and sanitary waste. As of the data collection phase in 2016 this source segregation was hardly implemented. Dry waste contained non-recyclables or low quality material. Wet waste – defined as biodegradable waste – consisted of a mixture of non-segregated dry waste, textiles, biodegradable waste and sanitary waste, and is therefore denoted as “wet/mixed waste” in this study.

Dry waste is brought to Dry Waste Collection Centers (DWCC), while wet/mixed waste is taken to one of 10 mechanical-biological treatment plants (MBTs). In both cases considerable amounts were not accepted or not processed due to low quality (DWCC) or lack of capacity/non-operation (MBTs). At the time of the visit in Bangalore, in October 2016, 7 of the 10 plants were not operating. Reasons were blockades from protesting citizens, power cut-off due to not paid bills, a RDF storage fire and problems with the delivered wet/mixed waste which consists of long rope-like textile material that regularly clogged the trommels and prevented proper separation of a RDF and an organic waste fraction, resulting in poor quality products (RDF, compost) which are not and/or hardly marketable. The mass flows of the treatment processes are assessed based on interview outcomes, literature and expertise:

DWCC: 30% not accepted; sorted recyclables output 80% of input and 20% residues.

MBT: 10% not processed; output: 20% RDF, 20% compost, 15% stabilized solid residues, 10% inert, 35% losses (water, degraded organics).

From all outputs only sorted recyclables are attributed with a benefit in the GHG calculation. This also accounts for a small amount of source segregated food waste which is treated in small-scale biogas plants. In October 2016 only 4 of 16 plants were operational. The concept is simple with a rather low, not self-sustaining biogas yield, and digestate which is stored in a slurry tank is ultimately drained to the water bodies. Thus this concept is not very climate- or environmentally friendly. The not accepted and not processed waste as well as rejects, impurities and low quality RDF are basically stored and/or disposed of at dump yards and uncontrolled dumps or quarries. At least two of the officially closed disposal sites are higher than 15 m. This information is relevant for the GHG calculation because in lack of regional data default values provided from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006) are used to calculate methane emissions from disposal which depend on the height of the landfill body.

**Bhopal**, located in central India, is the capitol of the state Madhya Pradesh. As per Census of India 2011, the population of Bhopal was about 1.8 million. A significant proportion (about 27%) of the population lives in the 388 slum areas across the city (Smart Cities Projects 2015). The city is structured into 85 wards in 19 zones, and is administered by the Bhopal Municipal Corporation (BMC). SWM is generally the responsibility of BMC. However, also several NGOs and Self-Help-Groups are involved in waste management. Bhopal's informal sector includes more than 8,000 recyclers, where BMC employs more than 4,700 personnel for SWM (CDIA 2015).

Data on MSW generated available from studies vary between 700 and 800 TPD (Sharma 2016, Katiyar et al. 2013, Dasgupta 2016). Data on waste composition are available from BMC (2006) and from a study for 2009 (Katiyar et al. 2013). The more recent was used for GHG calculations though also outdated.

Waste collection is well implemented by the BMC Health Department (Sharma 2016). But to date MSW from households and commercial centers is usually unsegregated when collected. The waste collected is unloaded at one of the more than 3,000 collection bins/centers and then transported to the Bhanpura dumpsite (CDIA 2015). The Bhanpura dumpsite is in use for over 35 years, is meanwhile lying

inside municipal limits and has reached its capacity (BMC 2014). Delivered MSW is weighed before disposal and approximately since 2016 digitally recorded. The dumped waste is piled up not higher than 5 m – and thus considered shallow regarding IPCC (2006) – and is neither compacted nor covered. Some other activities in Bhopal like small-scale composting units or a biomethanation plant (actually in a much better state than those in Bangalore) operated by Self Help Groups or NGOs, informal plastics recycling or the attempt to produce fertilizer from dumped waste which is dugged out and mechanically treated in a plant next to the landfill are not considered in the GHG calculation as either very specific or no data on city level is available.

**Haridwar**, located in the North Indian state Uttarakhand at the Ganga river, is one of the seven sacred cities of Hindu culture. As per Census of India 2011 Haridwar city has a population of about 230,000 people. However, the city's floating population (tourist, worshippers) is up to about 160,000 people per day (IPE 2009, CPCB 2016). A considerable proportion of the population - depending on source (MoUD 2016, IPE 2009) about one quarter to one third of the permanent population – is living in slum areas. The city is divided into 30 wards, aggregated in 4 zones (CPCB 2016). The municipal authority is called Nagar Nigam Haridwar.

Data on MSW generated available from studies vary between 200 and 400 TPD (Urban Development Directorate 2015, MoEF 2015, Nagraath 2016). For the GHG calculations in this study, the average MSW generation is assumed to be 237 TPD, including an estimated waste generation of 315 TPD during 20 days per year due to religious festivities (Nagar Nigam Haridwar 2015). Data on waste composition are available from three different sources (IPE 2009, Sharma et al. 2010, Jain & Sharma 2011). Although, (IPE 2009) refers to the years 2007/2008 it was used for the GHG calculation, because it is more comprehensive than information from the other sources.

Waste collection is provided in all wards on a daily basis though the collection rate is reported to be 72% (MoUD 2016). The non-collected waste is basically scattered onto the streets or into open sewers. Especially the latter have the potential to be washed out into the Ganga river and to increase marine littering. D2D collection from households was commissioned to a private company which provided source segregated D2D collection of biodegradable and non-biodegradable waste in 22 wards in early 2017. MSW from the remaining 8 wards was still collected unsegregated by the municipality (CPCB 2016, HMC 2016 & 2017). The source segregation was started although at the time of the visit in Haridwar in March 2017 the SWM facility intended for treatment of the biodegradable waste was still under construction.

The collected waste is transported to a community container (waste storage depot) where the collectors manually extract salable recyclables. The residual waste is finally transported for disposal to the uncontrolled dumpsite at Sarai (near the SWM facility under construction). MSW is not piled up higher than 5 m and during the visit in March 2017 landfill fires were observed.

The findings and assumptions for the status quo scenarios for the 3 cities are summarized in Table 4.

**Some major observations and challenges** recognized from the information gathering phase are:

4. The difficult data situation: Data are not available on an aggregated level, the fate of the waste is partly not known, MSW from bulk generators and informal recycling are not within the responsibility of the municipality and not recorded on municipal level. Data on waste composition or characteristics is available from a few studies but are partly outdated and/or not representative.
5. The challenging situation of SWM: Waste collection and treatment as well as recycling are applied but relevant amounts are still not collected and disposed of in an unsanitary manner. Source segregation has generally started but MSW facilities to receive this waste were either not yet in place or not properly operating.

6. The observed administration and policy challenges: A high staff turnover as well as the lack of capacity at municipal level makes it difficult to consistently execute waste management plans. The assignment of more responsibility to the waste generators like bulk generators helps to relieve municipalities to some extent but the lack of available data or a monitoring system for all MSW streams makes it difficult to assess or plan proper waste treatment capacities because MSW from bulk generators is likely to end up in the municipal waste stream nevertheless.

Table 4: Overview assumptions status quo scenario for the 3 cities

	Bangalore	Bhopal	Haridwar
MSW generated	4000 TPD	800 TPD	237 TPD
Collection rate	80%	100%	72%
Source segregation started	yes	no	yes
Fate of non-collected waste	90% unsanitary disposal 8% open burning 2% homecomposting	-	100% scattered
Treatment of collected MSW	25% DWCC 72.5% MBT <sup>1)</sup> 2.5% biomethanation	100% unsanitary disposal	100% unsanitary disposal
Main fractions waste composition:			
Organic waste (food, green waste, hay, straw, wood)	59%	69%	50%
Recyclables (paper, plastic, textiles, glass, metals)	33%	20%	23%
Inert (sand, silt, debris)	5%	10%	24%
Waste parameters for MSW generated calculated from the waste composition			
Heating value [MJ/kg]	7.6	5.8	6.3
Fossil carbon [% mass]	6.8%	3%	5.6%
Regenerative carbon [% mass]	16.4%	17.1%	13.5%

- 2) 10 MBTs, of these 7 were not operating in October 2016, and problems in properly separating MSW in a RDF and organic fraction resulted in hardly marketable low quality products.

### SWM scenarios and GHG calculation

In the light of the data situation, the status quo scenarios as well as the optimization scenarios had to be based mostly on assumptions. In addition, some clarifications are necessary for a common understanding of terms and definitions. For example, in India the term “composting” is often used indifferent if the treatment of wet/mixed waste is addressed or of wet/source segregated organic waste. To avoid misunderstandings in this study “composting plant” is used for the treatment of source segregated wet/organic waste only and “MBT” for the treatment of wet/mixed waste. For RDF fractions from MBT different quality grades are distinguished. “Biomethanation plant” is used for small-scale plants as implemented in Bangalore, while anaerobic digestion (AD) plant is used for efficient modern low emission plants. Waste incineration is considered in the optimization scenarios in form of co-incineration in WtE plants which typically process e.g. agricultural residues and are more frequent in India than MSW incineration plants, in form of co-incineration in a “cluster WtE”, a cooperation concept of several cities processing source segregated combustible waste, and in form of newly build WtE plants if the waste streams are large enough and a new plant appears to be economically viable. Incineration of generated or collected MSW is not considered because usually in India this waste has a low heating value and is not suitable for incineration.

The **development of the optimization scenarios** aims at representing integrated waste management systems with potential co-benefits for GHG mitigation. The different settlement structures of the 3 cities are considered as well as existing approaches and plans to be as realistic as possible. Also, achievable and realistic technologies are taken into account and operational conditions fit to achieve the necessary quality outputs. The potential GHG mitigation is not the maximum possible, but the realistically achievable in the nearer future. The potential share of waste for recycling, waste for composting or for incineration is based on the waste composition for MSW generated. Altogether two optimization scenarios are developed as a step by step approach, with scenario 1 as the first step to a further optimized scenario 2. **Landfill gas collection is not an option.** Basically, landfilling of non-treated usable waste is not allowed according to the SWM Rules (MoEF 2000, 2016). Although still considerable waste amounts are disposed of at unsanitary landfills, ULBs are struggling to implement compliant treatment options. In addition, existing landfills are hardly suitable for the subsequent installation of a gas collection system as they are mostly shallow and unmanaged.

The **scope of the scenarios** is focused on MSW from households in the responsibility of the municipality. Neither MSW from bulk generators nor MSW treated by the informal sector are included due to lack of sufficient data, though especially informal recycling would contribute considerably to potential GHG mitigation.

The **assumptions for the optimization scenarios** of the 3 cities are shown in Table 5. In general, 100% collection is assumed. This is the first step to an integrated waste management system. In addition, source segregation is considered as a key element to achieve proper treatment and quality products. Although, this needs educational and counseling service for the citizens as well as for the collectors, it is assumed easier to be implemented in E+D countries than technical solutions. In addition, organic waste must be collected separately and not mixed with other residual waste to prevent irreversible pollution of the organic material. Realization is surely easier in small cities as less anonymous but also possible in large/mega cities at least at less densely built-up areas.

For Bangalore and Bhopal moderate source segregation of wet/organic waste is assumed in scenario 1 which is further increased in scenario 2, though each to a higher extent for Bhopal due to its comparably high share of organic waste in the waste composition. In addition, scenario 2 assumes partial treatment of source segregated wet/organic waste in an efficient, low emission anaerobic digestion (AD) plant. For Haridwar a more pretentious segregation rate of wet/organic waste is already assumed for scenario 1 which is not further increased in scenario 2. Instead scenario 2 focuses on the prevention of marine littering by assuming a most efficient D2D collection where littering does not take place any more. Thus the silt from the open sewers is excluded from the MSW stream, less residual wet/mixed waste needs to be treated and recyclables remain unspoiled resulting in a higher recycling rate.

For Bangalore and Bhopal the assumed recycling rate is equal in scenario 1 and 2. An additional source segregation of combustibles is considered for Bhopal because the city plans to cooperate with other cities to implement a cluster WtE. For all 3 cities it is assumed that residual wet/mixed waste is mechanical-biologically treated in scenario 1 and 2. For Bangalore scenario 2b additionally examines WtE treatment of the residual wet/mixed waste fraction. The outputs from MBT are deduced respecting the waste composition of the residual waste as far as possible. For Bangalore generation of high quality RDF is assumed which can be co-incinerated in cement kilns. For Haridwar it is assumed that treatment of source segregated wet/organic waste and of residual wet/mixed waste can take place in a 2 line operation in the new SWM facility. There seems to be enough space for strictly separated treatment of the two waste streams. For Bangalore it seems most reasonable to rededicate some of the existing MBTs to the treatment of source segregated wet/organic waste only, like it was done earlier in the KCDC plant, while the remaining MBTs continue to process the residual wet/mixed waste.

Table 5: Overview assumptions for the optimization scenarios for the 3 cities

	Scenario 1	Scenario 2
Collection rate all 3 cities	100%	100%
<b>Bangalore</b>		
Source segregation	15% wet/organic waste 25% recyclables to recyclers	40% wet/organic waste 25% recyclables to recyclers
Residual wet/mixed waste	60%	35%
Treatment of source segregated wet/organic waste	100% composting	70% composting 30% anaerobic digestion (AD)
Treatment of residual wet/mixed waste	100% MBT, output: 20% RDF to WtE plant 15% RDF to cement kiln 30% stabilized solid residue, inert 0.3% metals 35% losses	2a) 100% MBT, output: 10% RDF to WtE plant 25% RDF to cement kiln 30% stabilized solid residue, inert 0.3% metals 35% losses 2b) 100% WtE plant
<b>Bhopal</b>		
Source segregation	30% wet/organic waste 20% combustibles to cluster WtE 15% recyclables to recyclers	50% wet/organic waste 20% combustibles to cluster WtE 15% recyclables to recyclers
Residual wet/mixed waste	35%	15%
Treatment of source segregated wet/organic waste	100% composting	70% composting 30% anaerobic digestion (AD)
Treatment of residual wet/mixed waste	100% MBT, output: 20% RDF to WtE plant 45% stabilized solid residue, inert 1% metals 34% losses	100% MBT, output: 30% RDF to WtE plant 40% stabilized solid residue, inert 1% metals 29% losses
<b>Haridwar</b>		
Source segregation	45% wet/organic waste 10% recyclables to recyclers	45% wet/organic waste 15% recyclables to recyclers 17% silt, inert excluded from MSW
Residual wet/mixed waste	45%	23%
Treatment of source segregated wet/organic waste	100% composting in new SWM facility, 2 line operation, strictly separated from wet/mixed waste	
Treatment of residual wet/mixed waste	100% mechanical/manual sorting and biological stabilization, output: 50% stabilized solid residue, inert 15% recyclables 35% losses	100% mechanical/manual sorting and biological stabilization, output: 45% stabilized solid residue, inert 20% recyclables 35% losses

"Losses" are water and mass losses which result from biological treatment through degradation and evaporation.

For the GHG calculations the Life Cycle Assessment (LCA) method in waste management is used, which is a most suitable method to aid on decision making because it reflects all GHG emissions related to the treatment of a certain amount of waste. It not only includes direct emissions but also future emissions

resulting from landfilling as well as potential GHG savings in other sectors than the waste sector resulting from waste management activities like generation of energy and secondary products. The latter have the potential to substitute conventional energy and primary production. Potential GHG savings are considered as credits with negative values.

Aside from assumptions according to the mass flows, further assumptions are necessary with regard to waste characteristics. The most relevant parameters, carbon content and heating value, are calculated from the waste composition for MSW generated and are estimated for source segregated combustibles or the RDF fractions. Harmonized emission factors from Vogt et al. (2015) are used for the calculation of recycling and biological treatment. Disposal of waste is calculated using internationally accepted default values (IPCC 2006). The methane correction factor (MCF) is assumed to be 0.4 for Bhopal and Haridwar because the disposal sites are shallow. For Bangalore the MCF is set to 0.6 for uncategorized disposal sites because at least two are not shallow.

Table 6 presents the **GHG results** for the 3 cities. Due to the many assumptions which were necessary the results are to understand as rough approximations and are given in rounded values. “Debits” are the direct emissions (including future emissions), “credits” are potential GHG savings, “net” refers to the difference between debits and credits. In all status quo scenarios the debits are dominated by methane emissions from landfilling. Of the three cities only Bangalore achieves some credits for recycling. The results for the scenarios 1 and 2 clearly demonstrate the significant GHG mitigation potential which derives from diversion from landfill. Here, the regulatory and policy framework in India already provides a good basis, which is a most relevant co-benefit for climate protection.

Table 6: GHG results for the 3 cities (rounded values)

CO <sub>2</sub> eq per year	Status quo	Scenario 1	Scenario 2	
<b>Bangalore</b>			a)	b)
debits in tons	640,000	380,000	310,000	330,000
credits in tons	-120,000	-690,000	-680,000	-670,000
net in tons	520,000	-310,000	-370,000	-340,000
specific net result per ton	360	-210	-250	-240
specific net result per capita	62	-37	-44	-41
<b>Bhopal</b>				
debits in tons	171,000	62,000	57,000	
credits in tons	0	-97,000	-108,000	
net in tons	171,000	-35,000	-51,000	
specific net result per ton	590	-120	-170	
specific net result per capita	95	-19	-28	
<b>Haridwar</b>				
debits in tons	29,000	11,000	11,000	
credits in tons	0	-29,000	-33,000	
net in tons	29,000	-18,000	-22,000	
specific net result per ton	340	-200	-250	
specific net result per capita	75	-45	-55	

Although, there is still some ground to cover until an integrated waste management system is completely implemented, the scenario 1 for the 3 cities could be perceived as a first step within a decent

time frame. The scenario 2 for each of the 3 cities is more challenging to realize as they include a further increase of wet/source segregated organic waste for Bhopal and Bangalore, and for Haridwar the strict prevention of littering. Additionally, efficiently operated low emission AD plants are part of scenario 2, which needs not only proper input material but also higher investments. Nevertheless, both scenarios 1 and 2 are considered feasible and achievable for the Indian cities, and both already provide a significant GHG mitigation although they are not exploiting the maximum possible GHG emission reduction. Prerequisite to implement functional waste management systems is to know the waste quantities deriving from all relevant sources including bulk generators as they decide on the necessary capacities, and to know the waste properties as they decide on possible treatment routes. The latter also determine the GHG results. For example for Bangalore the two concepts distinguished in scenario 2a and 2b do not lead to very different GHG results. However, this is only true if the assumptions on the waste characteristics are reliable and the treatments applied are constructed and operated according to the state of the art of technology, e.g. yielding a quality RDF. Only then the conclusion is valid that from a climate protection point of view it does not matter which of the two concepts a city opts for.

The difference between the specific net results per capita of the status quo scenario and scenario 2 are used for the **extrapolation of the GHG results** based on the population data of the Census of India 2011 in order to get a rough idea of the national dimension of GHG mitigation scenarios for the 3 different city sizes. Altogether 468 towns & urban agglomerations are reported of these 10 have more than 3 million inhabitants (large/mega cities), 34 between 1 and 3 million (medium sized cities), and 424 between 0.1 and 1 million (small cities). The total population in the towns is identified to about 61 million in large/mega cities, to about 49 million in medium sized cities and to about 84 million in small cities. The total GHG mitigation potential for all towns is calculated to about -23.5 million tons CO<sub>2</sub>eq per year. The share of the 3 city clusters is 28% for the large/mega cities, 26% for the medium sized cities and 47% for the small cities. Even if the contribution of the small cities is overestimated the results illustrate that the sum of smaller towns are a relevant factor for the national GHG mitigation through waste management.

However, as mentioned before the GHG results calculated in this study had to be based on many assumptions. Although the order of magnitude for the GHG mitigation through diversion from landfill is robust, the results are considered too inaccurate and nonbinding to be accepted for example by financing institutions like the NAMA facility or for NDCs. They may well be over- or underestimated. To emphasize that **waste data matters for the reliability of GHG results** specific GHG results for the most relevant treatment options are provided in this study. Especially variations for solid waste disposal reveal differences up to a factor 3 if the DOC and the conditions of disposal sites (MCF) are not known or estimated incorrectly. Also waste incineration can result both in net debits and net credits depending on the fossil carbon content, the heating value and the conventional grid electricity which is potentially substituted.

**NAMAs and NDCs require MRV systems** which shall comply with common international UNFCCC reporting requirements to be able to track emissions and emission reductions toward the mitigation goal (GIZ 2013). The addressed GHG inventories refer to all sectors in a national economy, and only direct and yearly emissions are reported per sector. The waste sector in the GHG inventory focuses on non-energy emissions only. Crediting GHG emissions potentially saved by waste management in other sectors is not an option in order to prevent double accounting. In comparison between the LCA method in waste management and the GHG inventory for the waste sector two aspects are fundamental antipodes: (1) landfilling of waste and (2) considering potentially avoided emissions. However, for a waste NAMA or NDCs it is very difficult for decision-makers to assess different strategies in waste management based on the GHG inventory because neither future emissions from disposal nor potential GHG savings become visible. This is only possible with the LCA method in waste management.

Therefore, it is recommended to use both methods – LCA and inventory – for decision-making and for MRV in the waste sector. The two methods cannot be merged to a single method to deliver both decision making aid and monitoring of the economy-wide progress. Hence, it is recommended to develop and use an interface between the two methods with linkages for direct emissions which are equal for both methods, linkages for the input parameters used for solid waste disposal like DOC, DOCf, etc. and maybe a time series for the LCA results on disposal which can be easily done using IPCCs default values for the decay rate. In addition, avoided emissions could be documented and described separately for information only. The recommended approach can be easily implemented. The much more important factor for MRV is GHG data quality.

## Conclusions

Increase of waste generation and change in waste composition resulting from population growth and rapid change in lifestyle impose difficulties on India and Indian cities to implement an integrated waste management system. However, in many ways India is on the right track. The national and regional programs launched support ULBs partly financially. The revised MSW Rules 2016 stipulate proper waste management and the 2016 MSW Manual aids ULBs to develop municipal solid waste management plans. In addition, there are many very good initiatives on grass root level which can be integrated in waste management planning.

Although, the GHG results cannot be absolutely accurate, at least the order of magnitude for the GHG mitigation through diversion from landfill is robust. In addition, the GHG scenarios show the possibilities of climate protection through integrated waste management. However, to achieve this some major challenges need to be addressed:

- ▶ Municipalities need to know the total waste amounts generated to plan sufficient treatment capacity. They need to establish a comprehensive data collection and monitoring system for MSW.
- ▶ The waste composition, the properties of the waste, is essential to decide on suitable treatment options. Representative sampling and analysis as proposed in the MSWM Manual 2016 are a prerequisite to implement proper waste management.
- ▶ In addition, it is strongly recommended to undertake pilot tests with collected MSW before implementing a waste treatment plant to prevent failure of technologies in operation.
- ▶ Source segregation of wet/organic waste is mandatory for quality compost. Producing quality compost does not need high-technology units but can be achieved with source segregation and good professional operation.
- ▶ In general, source segregation is seen as key to clean waste fractions allowing quality products and high recycling rates. Realization is surely easier in small cities because of their stronger social coherence, but also possible in large/mega cities at least in higher income and less densely built-up areas. Source segregation does not need high investments into equipment, but sufficient containers and suitable transport facilities. The main investment must be on personal and on educational training for citizens and also for waste collectors.
- ▶ A stepwise implementation of waste management options is recommended as demonstrated with the scenarios 1 and 2 using existing facilities. Although, even scenario 2 does not aim at a maximum mitigation potential both scenarios reveal considerable GHG mitigation effects. Both are considered feasible and comparably easy to implement on a cost-effective basis. However, scenario 2, with the proposed modern anaerobic digestion plants would need higher investments which are not likely to be covered by sales of biogas and compost only. Such a concept needs other financing sources like waste service/gate fees.
- ▶ Additionally, at least for medium sized and large/mega cities waste incineration is seen as a necessary option for rejects and impurities from pretreatment and for RDF fractions which cannot be used for co-incineration in cement kilns. Here again, suitable fractions need to be

identified. Cluster WtE and/or co-incineration in WtE plants for agricultural residues are options for smaller waste streams because WtE plants need a minimum throughput of suitable material to be economically viable.

- ▶ In general, municipalities should examine possibilities for cooperation with other cities or other sectors to realize e.g. a cluster WtE concept, co-incineration in cement kilns, co-incineration in WtE plants for agricultural residues or co-processing of organic waste in biogas plants for energy crops and/or agricultural residues. However, in any case for waste incineration a proper flue gas cleaning is mandatory to respect human health concerns. Incineration must comply with the emission standards of the SWM Rules 2016, and also co-processing of MSW in other sectors always needs to examine first if this is compliant with environmental needs.
- ▶ The leaders of municipal cooperation, cities and states need to be convinced to put more emphasis on development plans for the waste sector and to dedicate adequate resources to the improvement of MSW management. There is still need for more and other types of funding. Financial means may be provided to some extent by implementing the requirement of the MSW Rules 2016 for user fees for solid waste management. Additionally, climate mitigation related funding, producer responsibility, support through energy pricing or environmental funds or others should be considered for developing appropriate and climate friendly integrated waste management systems and infrastructure.

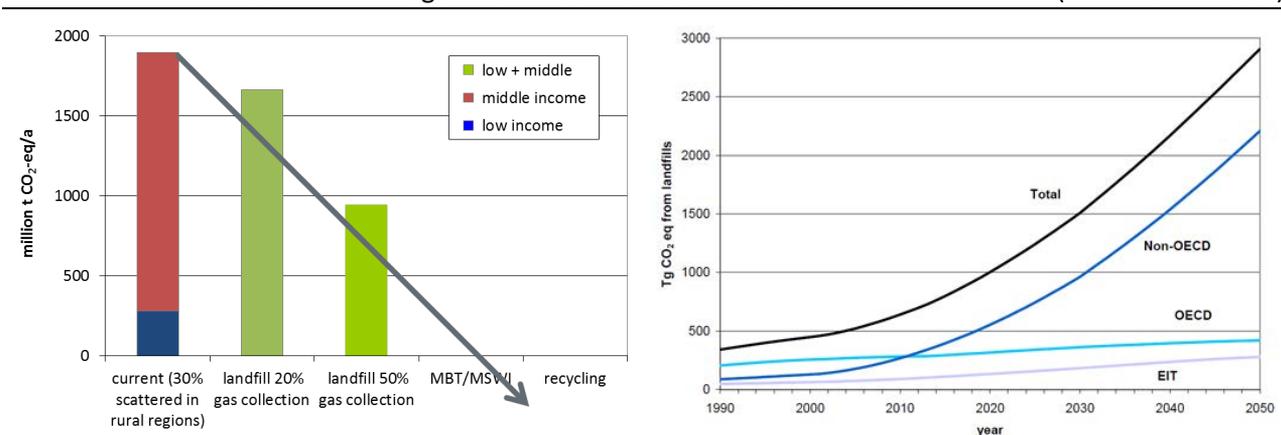
The extrapolation of the GHG results for city clusters displays that the potential contribution of small cities to national GHG mitigation is relevant and should not be neglected. Although, large-scale projects in large or medium sized cities definitively have a significant GHG mitigation potential, in smaller cities the opportunities for sound source segregation might be higher and the technologies applied in cities of that scale, like composting, might be faster to implement and are easier to operate.

Support of small cities could be bundled on regional or national level programs allowing financing institutions and climate funds to get involved, because the financing scale is large enough. Such programs should cover training on methods for waste sampling and waste analyzing in the smaller cities as well as, for example, the development of a standard construction pattern for biological treatment. An ideal effect would be if companies would specialize on such 'small scale solutions' like for example composting as this would give a merit of order effect for other cities.

## 1 Einleitung

Die Bedeutung des Abfallsektors in Schwellen- und Entwicklungsländern (S+E-Länder) für die Treibhausgas (THG) Minderung wurde in mehreren Studien nachgewiesen. Nach den Erkenntnissen von Dehoust et al. (2010) könnte die Entwicklung integrierter Abfallwirtschaftssysteme 12-18% der jährlichen THG-Emissionen in S+E-Ländern reduzieren. In der Regel dominiert die Deponierung die Praxis der Abfallwirtschaft in den S+E-Ländern. Giegrich und Vogt (2009) zeigten die globale Dimension der potenziellen Einsparungen von THG-Emissionen aus dem Abfallsektor in S+E-Ländern durch die Abkehr von der Deponierung. Etwa 2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente oder mehr könnten reduziert werden (Abbildung 1, links). Die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus dem Abfallsektor in Nicht-OECD-Ländern wurde von Monni et al. (2006) unter der Annahme geschätzt, dass die Abfallerzeugung mit dem Bevölkerungswachstum zunimmt und keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden (Abbildung 1, rechts). Die fortgesetzte Deponierung würde bis 2050 zu mindestens dreimal höheren Treibhausgasemissionen führen.

Abbildung 1: links: Potenzielle THG-Emissionseinsparungen in S+E-Ländern (Giegrich and Vogt 2009); rechts: zukünftige THG-Emissionen des Abfallsektors in S+E-Ländern (Monni et al. 2006)



Das signifikante THG-Minderungspotenzial der Abfallwirtschaft wurde in früheren Studien im Auftrag des Umweltbundesamtes für mehrere Länder und Regionen nachgewiesen (Dehoust et al. 2010, UBA 2011, Vogt et al. 2015). Nicht nur S+E-Länder, sondern auch OECD-Länder können durch eine Änderung ihres Abfallwirtschaftssystems noch einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Insgesamt weisen sie im Nettoergebnis der Ökobilanz noch THG-Belastungen aus, wobei die Methanemissionen aus der Deponie den Hauptbeitrag verursachen (Vogt et al. 2015).

In Deutschland hat sich die Abfallwirtschaft seit Anfang der 90er Jahre stark verändert. Politische und rechtliche Rahmenbedingungen ermöglichten einen Paradigmenwechsel von der Beseitigung zur Recycling- bzw. Kreislaufwirtschaft. Insbesondere das seit 2005 geltende Deponieverbot hat Methanemissionen weitgehend unterbunden und leistet damit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. Seitdem werden Siedlungsabfälle immer häufiger getrennt erfasst, recycelt oder verwertet. (Dehoust et al. 2010, UBA 2011)

Für die S+E-Länder veranschaulichen die Grafiken in Abbildung 1 die hohe Relevanz der Deponierung in Bezug auf die THG-Emissionen. Daher wären Maßnahmen und Verbesserungen zur Umlenkung von Abfällen aus der Deponierung und zur Durchführung von Deponiegasfassungsprojekten, soweit auf bestehenden Deponien angemessen, erforderlich. In einem ersten einfachen Schritt könnte die Stabilisierung von organischen Abfällen aus einer gemischten Abfallfraktion mittels mechanisch-biologischer Behandlungen erfolgen. Generell sollte das Ziel darin bestehen, die Abfallhierarchie unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften einzuhalten.

Daher ist es für die S+E-Länder wichtig, die Emissionseinsparpotenziale des Abfallsektors im Detail zu kennen und bei der konzeptionellen Planung der Abfallbehandlung zu berücksichtigen, z.B. im Rahmen von Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) oder Nationally Determined Contributions (NDCs). Das vorliegende Projekt zielt darauf ab, die Länder dabei zu unterstützen. Das Projekt ist in die deutsch-indische bilaterale Umweltzusammenarbeit eingebettet und soll die Gemeinsame Arbeitsgruppe für Kreislaufwirtschaft und Abfall unterstützen. Es zeigt spezifische THG-Einsparpotenziale eines integrierten Ansatzes für den Abfallsektor in exemplarischen Untersuchungsgebieten in Indien.

## 2 Ziele und Herangehensweise

Ziel der Studie "Ressourcen- und Klimaschutz durch integrierte Abfallwirtschaftsprojekte am Beispiel Indiens" ist es, Entscheidungsträger dabei zu unterstützen, das Potenzial zur Reduzierung von THG-Emissionen im Abfallsektor zu identifizieren, um ihre Abfallwirtschaft oder z.B. NAMAs und NDCs entsprechend zu planen. Letztendlich zielt das Projekt darauf ab, aufzuzeigen, ob und wie der Ansatz der Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft (Entscheidungshilfe) mit den Berichterstattungspflichten nach UNFCCC verbunden werden kann, die vermutlich für die Überwachung, Berichterstattung, Verifizierung (MRV) von Abfall-NAMAs, NDCs und anderen erforderlich sind.

Dabei wurde Wert auf einen intensiven Austausch mit relevanten Akteuren und Kontakte zu relevanten Akteuren unter Berücksichtigung ihres Interesses an der Beteiligung an Verbesserungen im Abfallsektor gelegt, die als Voraussetzung für eine nachhaltige Unterstützung angesehen werden. Die Studie bezieht sich auf drei spezifisch ausgewählte Städte, die einerseits auf der Grundlage von Informationen über Indien sowie bis zu einem gewissen Grad auch für die Bundesstaaten- oder die lokale Ebene und andererseits auf der Grundlage von priorisierten Auswahlkriterien (Kapitel 3), von denen Interesse von Akteuren eines ist, ausgewählt wurden. Ziel des Auswahlverfahrens ist es, die großen Unterschiede in der Größe der indischen Städte zu berücksichtigen, die zu unterschiedlichen Rahmenbedingungen für die Abfallwirtschaft führen. In einer groben Näherung können die ausgewählten 3 Städte als Proxy für Stadtgrößencluster verwendet werden, und die Extrapolation der Ergebnisse kann eine grobe Vorstellung von der nationalen Dimension der THG-Minderungsszenarien vermitteln (Kapitel 8).

Die ausgewählten Städte sind Bangalore, Bhopal und Haridwar, wobei mit Bangalore begonnen wurde. Um systematische Interviews zu ermöglichen und auch Informationen über Datenlücken und Datenzuverlässigkeit zu erhalten, wurde eine umfassende Datenvorlage erstellt. Diese Datenvorlage basiert auf dem von der Weltbank (2013) entwickelten "Data Collection Tool for Urban Solid Waste Management" und ist hinsichtlich der Datenblätter zur Abfallbehandlung modifiziert, um auf die THG-Emissionen abzuheben und um ein systematisches Eingangsdatenblatt für die THG-Berechnung herzustellen. Die Datenblätter berücksichtigen auch, dass Groß- und Megastädte in verschiedene Regierungsbezirke untergliedert sind und über verschiedene Abfallbehandlungsstandorte verfügen (s. Anhang, Kapitel 13.4). Darüber hinaus wurden die Abfalldefinitionen insbesondere für "Siedlungsabfälle" und für relevante Abfallfraktionen geklärt. Ein Auszug zu den in dieser Studie verwendeten Begriffen/Glossar sowie die Definition für Siedlungsabfall sind im Anhang (Kapitel 13.3) dargestellt.

Die erste Phase der Datenerhebung umfasste Interviews mit Behördenvertretern, Betreibern und Experten. Hohes Bevölkerungswachstum und Zuwanderung in die Städte sowie der rasante Wandel des Lebensstils konfrontieren Kommunen mit steigenden Abfallmengen und einer Veränderung der Zusammensetzung (siehe Kapitel 4). Daher ist die Datenerhebung und -verwaltung für die Behörden oft von nachgelagerter Bedeutung. Die Interviews zeigten, dass die wichtigsten und kritischen Daten nicht auf einer zentralen Ebene verfügbar sind, sondern auf vielen und verschiedenen Ebenen und manchmal nur in handschriftlicher Form. Die Notwendigkeit der Primärdatenerhebung aus einer solchen Vielzahl von dispersen lokalen Quellen war nicht vorhersehbar und überstieg Forschungsumfang und

Design erheblich. Das Projekt basiert daher auf verfügbarer Sekundärliteraturrecherche, und die Bemühungen, Informationen aus erster Hand durch Besuche vor Ort und Experteninterviews abzuleiten, wurden verstärkt.

Darüber hinaus wurden Workshops in Bangalore und Haridwar – ursprünglich zur Diskussion von Optimierungsszenarien gedacht – neu organisiert, um die gesammelten Daten zu verifizieren und Datenlücken zu schließen, indem die Ergebnisse in intensiven Diskussionen mit verschiedenen Akteuren ausgetauscht wurden. Die Ergebnisse der Workshops mit Stakeholdern in Bangalore und Haridwar sind in Workshopberichten zusammengefasst. Die Fakten und Ergebnisse für die drei Städte, die ermittelt und bestätigt werden konnten, sind in Kapitel 5 kurz beschrieben. Detaillierte Berichte für die drei Städte werden als separater Anhang zu diesem Bericht veröffentlicht.

Basierend auf den erhaltenen Informationen wurden die THG-Szenarien für die Siedlungsabfälle erstellt, mit einem Status quo und 2 Optimierungsszenarien für jede der 3 Städte (Kapitel 6). Die THG-Szenarien und Ergebnisse wurden auf dem Abschlussworkshop in Neu-Delhi am 31. Januar 2018 und auf der Umweltmesse IFAT in München am 15. Mai 2018 vorgestellt und diskutiert.

Angesichts der unzureichenden Verfügbarkeit und Qualität von Daten und Informationen einerseits und der Bedeutung belastbarer Daten andererseits wurden zusätzliche THG-Berechnungen durchgeführt, um den Einfluss von Abfalldaten bzw. unterschiedlichen Parametern auf die Ergebnisse der THG-Bilanz zu visualisieren (siehe Kapitel 9).

Alle THG-Berechnungen in diesem Projekt basieren auf der Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft in Anlehnung an ISO 14040/14044. Der Vorteil dieses Ansatzes ist die Möglichkeit, die ganzheitlichen Auswirkungen der Abfallwirtschaft zu bewerten – sowohl direkte Emissionen als auch vermiedene Emissionen durch Substitution von Primärprodukten und Energie. Die Ergebnisse stellen Minderungspotenziale dar, die für Entscheidungen in Politik, Behörden und Industrie anwendbar sind. Die Methode sowie Besonderheiten für die Abfallwirtschaft sind im Anhang (Kapitel 13.1) beschrieben.

Im Gegensatz zur Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft zielen die Nationalen Inventarberichte (NIR) im Rahmen des Kyoto-Protokolls darauf ab, die THG-Emissionen aus allen Sektoren einer Volkswirtschaft zu überwachen. Daher werden jährliche Emissionen ausgewiesen (anstelle von auf die Abfallmenge bezogenen Emissionen) und die Anrechnung von THG-Emissionen, die in anderen Sektoren potenziell eingespart werden können, ist keine Option, um Doppelbilanzierung zu vermeiden. Überwachung, Berichterstattung und Verifizierung (MRV) von THG-Emissionen und -reduzierungen sind auch für NAMAs und ebenfalls für NDCs erforderlich. Allerdings gibt es vorerst keine harmonisierte oder abgestimmte Methode, wie MRV in diesem Zusammenhang umgesetzt werden soll. Der Status zu NAMAs ist in (Michaelowa & Friedmann 2017) dokumentiert. Ein kurzer Überblick sowie praktische Aspekte und Herausforderungen des MRV sind in Kapitel 10 beschrieben.

Eine weitere Projektaufgabe bestand darin, die THG-Berechnungen an spezifischere technische und organisatorische Gegebenheiten der Abfallwirtschaft anzupassen, die insbesondere in S+E-Ländern relevant sind, wie beispielsweise unterschiedliche Praktiken der mechanisch-biologischen Behandlung. In diesem Zusammenhang wurden nicht nur die THG-Berechnungsmethoden erweitert, sondern auch ein THG-Berechnungstool für wissenschaftliche Anwender entwickelt. Um zukünftige Bewertungen für weitere Regionen in S+E-Ländern zu ermöglichen, wurde dieses ifeu-Tool (THG-Modell für die Abfallwirtschaft) dem Umweltbundesamt übergeben, unter der Bedingung, dass das Tool ausschließlich für den internen Gebrauch und nicht für die Weitergabe an Dritte bestimmt ist.

### 3 Auswahl der Cluster-Städte

Die Auswahl von bis zu 3 Städten basierte auf einer Reihe von relevanten Kriterien (Abbildung 2, links). Den Kriterien Verfügbarkeit und Qualität der Abfalldaten, Kontakte zu Akteuren und Interessenvertretern sowie das Interesse relevanter Akteure sich an einer Verbesserung des Abfallsektors zu

beteiligen, wurde eine höhere Bedeutung zugeordnet. Abfalldaten sind nicht nur für die korrekte Berechnung des Status quo wichtig, sondern auch, um die Eigenschaften der Abfälle zu verstehen und damit deren Behandlungsmöglichkeiten. Darüber hinaus sind Kenntnisse über die lokalen Bedingungen wie formale und informelle Aktivitäten, Infrastruktur, Arbeitsbedingungen, Arbeitskräfte, administrative Rahmenbedingungen und politische Unterstützung, Marktbedingungen für Sekundärprodukte, Klima usw. für die Planung integrierter Abfallwirtschaftssysteme wichtig.

Basierend auf recherchierten Informationen zu diesen Kriterien und einem Informationsaustausch mit der GIZ Delhi wurde eine Auswahlliste für Städte erstellt, ausgehend von den 59 Städten, die vom Central Pollution Control Board (CPCB) für die Zeiträume 1999/2000, 2004/2005 und 2010/2011 analysiert wurden (CPCB 2011). Die Lage der 26 in die engere Wahl gekommenen Städte ist in Abbildung 2 auf der rechten Seite dargestellt. Diese 26 Städte wurden in Abhängigkeit der Bevölkerungszahl in Cluster eingeteilt:

- > 3 Millionen:  
Ahmedabad, Bangalore, Chennai, Hyderabad, Pune.
- >1 bis 3 Millionen:  
Bhopal, Coimbatore, Gwalior, Indore, Jabalpur, Lucknow, Nashik, Rajkot, Vadodara, Varanasi, Visakhapatnam.
- 0,1 bis 1 Million:  
Bhubaneswar, Dehradun, Haridwar, Hubli, Kochi, Kota, Rishikesh, Shimla, Tirupati, Udaipur.

**Bangalore** war die erste Stadt, die aus dem Cluster der Groß- und Megastädte ausgewählt wurde, aufgrund sehr guter Kontakte, proaktiver Interessenvertreter und einer verfügbaren Studie der ISAH Hannover (Weichgrebe et al. 2016). **Haridwar** wurde aus dem Cluster kleinerer Städte ausgewählt, um einer Anfrage der Indisch-Deutschen Gemeinsamen Arbeitsgruppe über Abfall zu folgen, eine Stadt am Fluss Ganges in Betracht zu ziehen. **Bhopal** wurde aus dem Cluster der mittelgroßen Städte ausgewählt, da es sich in einem der großen Bundesstaaten Indiens befindet, der ein anderes Einkommensniveau im Vergleich zu Karnataka und Uttarakhand aufweist. Die wichtigsten Merkmale der 3 ausgewählten Städte sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Abbildung 2: Auswahlkriterien für die 3 Städte (links) und Lage der 26 in die engere Wahl gekommenen Städte (rechts)

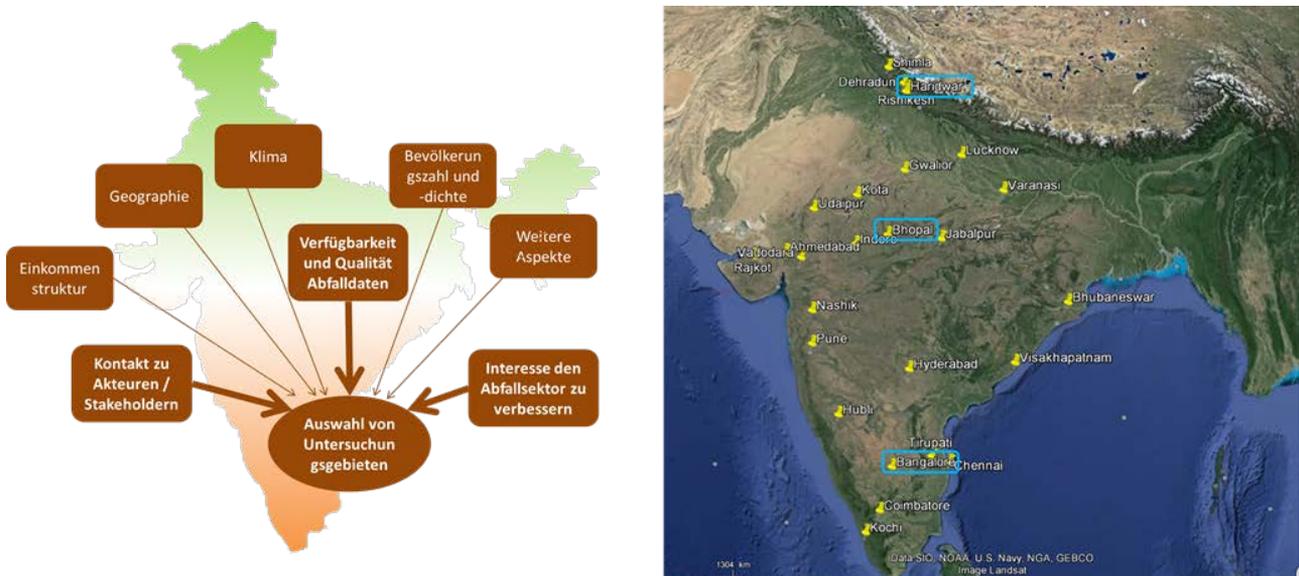


Tabelle 7: Merkmale der ausgewählten Städte

Stadt		Bangalore	Bhopal	Haridwar
Bundesstaat		Karnataka	Madhya Pradesh	Uttarakhand
Verwaltungsebene / Bereich		Landeshauptstadt	Landeshauptstadt	Heilige Stadt am Ganges
Pro-Kopf-Einkommen Staat	1000 INR	75-100	30-50	75-100
Urbanisierungsrate	%	38,7	27,6	30,2
Bevölkerung lt. Census 2011 <sup>1)</sup>		8.495.492	1.798.218	228.832 <sup>2)</sup>
Fläche <sup>1)</sup>	km <sup>2</sup>	740,64	285,88	12,17
Klimazone Köppen Geiger Klassifikation		Aw: tropisch, Winter trocken	Aw: tropisch, Winter trocken	Cwa: feucht subtropisch, winter trocken, wärmster Monat >22°C

1) Informationen beziehen sich auf die Stadtebene

2) Die zusätzliche fluktuierende Bevölkerung wird auf durchschnittlich 165.000 Menschen pro Tag geschätzt (CPCB 2016)

Quellen: (ORGI 2015 & 2018); (Mapsofindia 2015); (vetmed 2015)

## 4 Abfallwirtschaft in Indien – ein Überblick

Abfallwirtschaft kann als große Herausforderung für Indien angesehen werden. Der kontinuierliche Anstieg des Abfallaufkommens und die Veränderung der Zusammensetzung auf der einen Seite und die eingeschränkten Kapazitäten auf der anderen Seite führen zu mangelndem Wissen zu Abfalldaten sowie Bereitstellung geeigneter Behandlungsmöglichkeiten. Der Status der Abfallwirtschaft in Indien sowie die bisherige Rechtslage sind in Kapitel 4.1 kurz beschrieben. Defizite aus letzteren wurden durch überarbeitete Versionen, die „SWM Rules 2016“ (MoEF 2016) und das „MSWM Manual 2016“ (MoUD 2016) adressiert, die in Kapitel 4.2 beschrieben sind. Um finanziellen Engpässen zu begegnen, hat die indische Regierung im Rahmen der 12. und 13. Finanzkommission erheblich in Siedlungsabfallprojekte investiert (Michaelowa et al. 2015). Einige dieser Programme und einige regionale abfallbezogene Programme und Initiativen sowie die Beteiligung der 3 ausgewählten Städte sind in Kapitel 4.3 beschrieben.

### 4.1 Stand und bisherige Rechtslage

Für 2011 wird die tägliche Abfallmenge in Indien auf 133.760 Tonnen geschätzt, von denen etwa 70% gesammelt und etwa 13% behandelt werden, während nicht gesammelte Abfälle im Wesentlichen verstreut und unbehandelte Abfälle in offenen Deponien abgelagert werden (Joshi & Ahmed 2016, unter Berufung auf den CPCB-Bericht 2013). Laut Kumar et al. (2017) spielt der informelle Sektor eine Schlüsselrolle bei der Wertschöpfung aus Abfällen, aber ungefähr 90% der Restabfälle in Indien werden unkontrolliert abgelagert. Daher ist es notwendig, Anlagen zur Behandlung und Entsorgung der steigenden Abfallmengen zu entwickeln. Das von der Deutsch-Indischen Umweltpartnerschaft (GIZ-IGEP 2015) erstellte Factsheet zur kommunalen Abfallwirtschaft stellt fest, dass die getrennte Erfassung, die Sammlung, der Transport, die Behandlung und ordentliche Entsorgung von Abfällen weitgehend unzureichend ist, was zu einer Verschlechterung der Umwelt und schlechter Lebensqualität führt.

Die Abfallerzeugung in indischen Städten reicht von 0,17 kg bis 0,62 kg/Kopf/Tag, je nach Bevölkerungszahl und sozioökonomischem Profil (GIZ-IGEP 2015). Die gleichen Daten werden von Kumar et al. (2017) mit Abfallerzeugungsraten für vier verschiedene Stadtgrößen näher beschrieben, die von 0,17 kg bis 0,54 kg/Kopf/Tag in kleineren Städten (< 0.1 Mio. Einwohner) bis 0,22 kg bis 0,62 kg/Kopf/Tag in Großstädten (> 2 Mio. Einwohner) reichen. Die Daten stammen aus einer früheren Studie (Kumar et al. 2009) zu 59 Städten.

Es gibt mehrere Studien über Abfalldaten für Städte in Indien. Diese Daten sind jedoch teilweise veraltet oder nicht repräsentativ, z.B. in Bezug auf die Zusammensetzung der Abfälle, bei denen die Probenahme oft zufällig und nicht systematisch an verschiedenen Stellen, zu unterschiedlichen Jahreszeiten und in nicht ausreichender Anzahl erfolgt. Joshi & Ahmed (2016) erklären, dass in Indien aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit von Primärdaten über die Pro-Kopf-Abfallerzeugung, unzureichender Daten über die Abfalleigenschaften und den Einfluss der Aktivitäten des informellen Sektors verschiedene Berichte unterschiedliche Werte und Prognosen über den erforderlichen Deponieflächenbedarf liefern und dass es daher schwierig ist, den Deponiebedarf zu ermitteln oder geeignete Behandlungs- und Entsorgungstechniken auszuwählen.

Die Abfallwirtschaft in Indien hat sich in den letzten zehn Jahren nicht viel verändert. Obwohl im Jahr 2000 die zuständigen Ministerien einen regulatorischen Rahmen (MSW Rules 2000, MoEF 2000) sowie ein Handbuch für Siedlungsabfälle (MSW Manual, MoUD/CPHEEO 2000) erstellt und umgesetzt hatten, konnten die kommunalen Körperschaften (Urban Local Bodies - ULBs) die Richtlinien nicht vollständig erfüllen. Der Rechtsrahmen verbot unter anderem das verstreute Wegwerfen von Abfällen, beschränkte die Deponierung auf nicht biologisch abbaubare oder inerte Abfälle und setzte Standards für die Kompostierung und Verbrennung. Die MSW Rules 2000 boten eine Reihe von Optionen, aus denen die einzelnen Gemeinden wählen konnten. Häufig fehlte es den Kommunen jedoch an Informationen über Vor- und Nachteile dieser Optionen und darüber, wie ein integriertes System zur Entsorgung fester Abfälle umgesetzt werden kann. Darüber hinaus hatten die Kommunen nur begrenzte Informationen über Kosten oder Umwelt- und Sozialauswirkungen, die sich aus verschiedenen Optionen ergeben. Ein weiterer Grund für die Nichteinhaltung der MSW Rules 2000 könnten Schwierigkeiten wie Budgetknappheit und Kapazitätsmangel bei der Durchführung von Abfallwirtschaftsprojekten sein. Diese Mängel wurden durch die überarbeiteten Versionen adressiert.

## 4.2 Bestehende Regelungen und Richtlinien

Das "MSWM Manual 2016" (MoUD 2016) bietet einen siebenstufigen Ansatz für die Entwicklung eines Abfallwirtschaftsplans in den ULBs, einschließlich einer Lückenanalyse des Ist-Zustands (Schritt 2) mit detaillierten Informationen über Datenerhebungsmethoden zur Ableitung repräsentativer Daten über Abfallmengen und Zusammensetzung der Abfälle.

Die "SWM Rules 2016". (MoEF 2016) dehnten den Geltungsbereich über die kommunalen Grenzen hinaus aus, um Auswüchse in städtischen Agglomerationen, Volkszählungsstädten, ausgewiesenen Industriestädten oder Gebieten unter der Kontrolle von Indian Railways und Flughäfen abzudecken. Weitere wesentliche Merkmale der SWM Rules 2016 sind beispielsweise die Übertragung der Getrennthaltungspflicht auf die Abfallerzeuger und Verantwortlichkeiten der Kommunen:

- ▶ Die Abfallerzeuger müssen (Regel 4):
  - biologisch abbaubare, nicht biologisch abbaubare und häusliche gefährliche Abfälle in geeigneten Behältern trennen und lagern und an autorisierte Abfallsammler und Sammler übergeben,
  - Bau- und Abbruchabfälle gemäß den „C&D Waste Management Rules 2016“ getrennt lagern,
  - Gartenbau- und Gartenabfälle getrennt auf dem eigenen Gelände lagern und nach den Anweisungen der örtlichen Behörden entsorgen,

- eine von den örtlichen Behörden festgelegte Nutzungsgebühr für die Entsorgung fester Abfälle zahlen; Verstreuen von Abfällen ist verboten.
- ▶ Organisatoren von Veranstaltungen mit mehr als 100 Personen haben für die Trennung der Abfälle zu sorgen und sie gemäß den Vorgaben der örtlichen Stelle abzugeben, und Straßenverkäufer sollen geeignete Behälter vorhalten und die Abfälle gemäß den Angaben der örtlichen Stelle lagern.
- ▶ Bewohner von Fürsorgeeinrichtungen, Marktverbände, bewachte Gemeinden und Institutionen mit mehr als 5.000 m<sup>2</sup> Fläche sowie die Hotels und Restaurants müssen innerhalb eines Jahres in Zusammenarbeit mit der örtlichen Behörde:
  - die getrennte Erfassung sicherstellen,
  - recycelbare Materialien an autorisierte Abfallsammler und Sammler übergeben,
  - biologisch abbaubare Abfälle soweit möglich auf dem eigenen Gelände durch Kompostierung oder Biomethanisierung behandeln, verarbeiten und entsorgen,
  - Restmüll an Abfallsammler oder Agenturen abgeben, wie von der örtlichen Behörde vorgeschrieben.
- Die lokalen Behörden sind andererseits beispielsweise dafür verantwortlich
  - die Haustürsammlung getrennt erfasster Abfälle zu organisieren, auch in Slums, informellen Siedlungen, gewerblichen, institutionellen und anderen Nichtwohngebieten; die Abfälle von Massenabfallzeugern können am Eingangstor oder an jedem anderen bezeichneten Ort abgeholt werden (Regel 15 (b)),
  - die Integration des informellen Sektors zu unterstützen, z.B. durch die Einrichtung von Systemen zur Erkennung von Abfallsammler- und Sammlerorganisationen, um deren Teilnahme an der Abfallwirtschaft zu vereinfachen, und die Bildung von Selbsthilfegruppen zu vereinfachen, Ausweise bereitzustellen und die Integration voranzutreiben (Regel 15 (b)),
  - Marktabfälle zu sammeln und die Errichtung von dezentralen Kompost- oder Biomethanisierungsanlagen an geeigneten Standorten auf den Märkten oder in deren Nähe zu fördern (Regel 15 (m)).

Auch wird ein umfassendes Überwachungssystem aufgebaut. Die Betreiber von Anlagen müssen Jahresberichte an die lokale Stelle (Formular III) übermitteln, die dann selbst Jahresberichte an die Regulierungsbehörden (Formular IV) übermitteln muss, die weiterhin zuerst auf bundesstaatlicher Ebene (Urban Development Department und SPCB/PCC) und dann auf nationaler Ebene (CPCB, MoUD, MoEF) gemeldet und zentralisiert werden. Das Umweltministerium (MoEF) ist für die Überwachung der Umsetzung der Vorschriften im Land verantwortlich und soll daher einen zentralen Überwachungsausschuss für die jährliche Überprüfung bilden (Regel 5).

Die finanzielle und kapazitätsbildende Unterstützung für die Abfallwirtschaft wird von der öffentlichen Hand gefordert, z.B.:

- Das Ministerium für Stadtentwicklung (MoUD) soll Schulungen und Kapazitätsaufbau für lokale Behörden und andere Akteure durchführen sowie technische Leitlinien und Projektfinanzierungen für Bundesstaaten, Unionsgebiete und lokale Behörden bereitstellen, um die Einhaltung von Zeitplänen und Normen zu erleichtern (Regel 6 (e) (f)).
- Das Amt für Düngemittel, das Ministerium für Chemie und Düngemittel soll Unterstützung bei der Marktentwicklung für Stadtkompost bereitstellen und für die Förderung der gemeinsamen Vermarktung von Kompost sorgen (Regel 7).

- Das Landwirtschaftsministerium soll für Flexibilität in der Düngemittelkontrollverordnung für die Herstellung und den Verkauf von Kompost sorgen, die Verwertung von Kompost auf landwirtschaftlichen Flächen propagieren, Labors zur Prüfung der Kompostqualität einrichten und geeignete Richtlinien für die Unterhaltung und Anwendung herausgeben (Regel 8).
- Die Kommunalverwaltungen sollen die Verwendung von chemischen Düngemitteln in zwei Jahren einstellen und Kompost in allen Parks und Gärten verwenden, die von der örtlichen Behörde gepflegt werden (Regel 15 (u)) und angemessene Mittel für Investitionen sowie für Durchführung und Unterhalt von Abfalldienstleistungen im Jahreshaushalt bereitstellen (Regel 15 (x)).
- Das Energieministerium soll den Tarif oder Gebühren für Strom aus Abfällen beschließen und den erzeugten Strom zwangsweise abkaufen (Regel 9).
- Das Ministerium für erneuerbare Energien (MNRE) soll die Schaffung von Infrastrukturen für Verbrennungsanlagen (WtE-Anlagen) erleichtern und angemessene Subventionen oder Anreize für solche Anlagen bieten (Regel 10).
- Industrieanlagen, die Brennstoff verwenden und sich innerhalb von 100 km Entfernung von Ersatzbrennstoff- (EBS) und WtE-Anlagen befinden, müssen innerhalb von 6 Monaten Vorkehrungen treffen, um mindestens 5% ihres Brennstoffbedarfs durch EBS zu ersetzen.

Einige weitere wichtige Regeln für Abfallwirtschaft sind:

- Die örtlichen Behörden sollen von SPCB/PCC die Konzession/Ermächtigung beantragen, Abfallbehandlungs-, Behandlungs- oder Entsorgungseinrichtungen > 5 t/d einschließlich geordneter Deponien zu errichten (Formular I) (Regel 15 (y)).
- Sie sollen das öffentliche Bewusstsein schärfen und Abfallerzeuger aufklären, z.B. über die Praxis der Eigenkompostierung, der Wurmkompostierung, der Biogasproduktion oder der Kompostierung auf Gemeindeebene (Regel 15 (zg)).
- Die Deponierung von nicht behandelten verwertbaren Abfällen ist nicht zulässig (Regel 15 (zi)), aber bis zum Zeitpunkt der Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen sind Abfälle auf eine geordnete Deponie zu verbringen (Anlage I (C-ii)).
- Nicht recycelbare Abfälle mit einem Heizwert  $\geq 1.500$  kcal/kg (ca. 6,3 MJ/kg) sollen ausschließlich zur Energieerzeugung verwendet werden, wobei hochkalorische Abfälle zur Mitverbrennung verwendet werden sollen (Regel 21).
- Standards für die Kompostqualität sind z.B. um Werte für den Nährstoffgehalt erweitert (Zeitplan II. A) und Standards für die Verbrennung sind deutlich verschärft und entsprechen nun weitgehend den Emissionsgrenzwerten in Deutschland/Europa.

## **4.3 Abfallwirtschaftsprogramme und –initiativen, die für die ausgewählten Städte relevant sind**

### **4.3.1 Swachh Bharat Mission (“Mission sauberes Indien”)**

Swachh Bharat Mission ist eine nationale Kampagne, die vom Ministerium für Stadtentwicklung (MoUD) und vom Ministerium für Trinkwasser und Sanitärversorgung (MoDWS) für städtische und ländliche Gebiete in Indien durchgeführt wird, um Hygiene, Abfallmanagement und Sanitärversorgung im ganzen Land zu gewährleisten. Die Mission legt spezifische Leitlinien fest, die von den Leitungsorganen auf nationaler, staatlicher und städtischer Ebene einzuhalten sind. Der Schwerpunkt liegt auf dem Ziel eines 100% „öffentlich verrichtungsfreien Indiens“ (open defecation free, ODF). Im Rahmen der Abfallwirtschaft sind die Ziele 100% Haustürsammlung, organische Abfallbehandlung (Waste-to-Compost) und energetische Abfallnutzung (Waste-to-Energy). Laut den Statistiken der Swachh Bharat-

Website wurde die Haustürsammlung von Siedlungsabfällen bis November 2017 in 55.913 von insgesamt 82.607 Bezirken in Indien eingeführt<sup>1</sup>.

In Bangalore werden im Rahmen des Programms die Haustürsammlung und die Kompostierung von Abfällen gefördert. Bhopal ist eine der Städte im Bundesstaat Madhya Pradesh, die Mittel für Abfallwirtschaftsinitiativen erhalten hat, und auch Haridwar erhielt Mittel im Rahmen der Swachh Bharat Mission (MoUD 2016, Uttaranchal High Court 2017), die die sanitäre Versorgung und die Abfallentsorgung verbessern will.

#### **4.3.2 JNNURM und AMRUT**

Die Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission (JNNURM) war ein nationales Programm, das von der indischen Regierung und dem Ministerium für Stadtentwicklung ins Leben gerufen wurde, um die städtische Infrastruktur und Dienstleistungen zu verbessern und 65 Städte für das Programm zu identifizieren. Es sah eine Gesamtinvestition von über 20 Milliarden US-Dollar vor. Die siebenjährige Mission sollte 2011-12 enden, aber es wurden wiederholte Verlängerungen vorgenommen, da sich die Umsetzung aus Gründen wie erforderlicher Landerwerb verzögerte. Das Programm wurde im März 2015 abgeschlossen (TNN 2015). Das Programm unterstützte Städte dabei, ihre Infrastrukturdienste finanziell nachhaltig zu verbessern, ihr Gebiet (neu) zu entwickeln, Stadtreformen und geeignete Rahmenbedingungen zu entwickeln und ihre Dienste den städtischen Armen zur Verfügung zu stellen. Die Hälfte der von JNNURM abgedeckten Städte sind Städte mit mehr als einer Million Einwohnern, der Rest sind Landeshauptstädte oder Städte von besonderem Interesse wie Haridwar. (IPE 2009, Urban Development Directorate 2015)

Bangalore erhielt die meisten genehmigten Projekte, wobei die meisten Mittel auf die Entwicklung der Infrastruktur und der U-Bahn entfallen. In Bhopal konzentrierten sich rund zwei Drittel der von JNNURM genehmigten Projekte auf die Wasserversorgung und die meisten anderen genehmigten Projekte auf den städtischen Verkehr (Smart Cities Projects 2015). Daher hatte dieses Programm wenig Einfluss auf die Abfallwirtschaft in Bhopal. Haridwar's JNNURM-Projekt wurde 2009 genehmigt und umfasst die Beschaffung von Abfallmanagement-Ausrüstung, den Start der Haustürsammlung und den Bau einer integrierten Abfallwirtschaftsanlage (Urban Development Directorate 2015). Als das Programm 2015 abgeschlossen wurde, war jedoch nicht einmal die Hälfte der Mittel für das Haridwar-Projekt ausgezahlt worden, und es war eine Anschlussfinanzierung erforderlich, die teilweise von der Uttarakhand-Landesregierung bereitgestellt wurde (Nagrath 2016).

AMRUT, Atal Mission for Rejuvenation and Urban Transformation, ist das Folgeprogramm von JNNURM, das ebenfalls von der indischen Regierung und dem Ministerium für Stadtentwicklung gestartet wurde. Das Programm verfügt über Mittel in Höhe von 500 Milliarden Rupien (fast 8 Milliarden US-Dollar) für fünf Jahre von 2015 bis 2020. Es umfasst 500 Städte, darunter Bhopal und Haridwar. AMRUT konzentriert sich jedoch auf die Infrastruktur, die mit besseren Dienstleistungen für die Menschen verbunden ist, insbesondere in der Wasserversorgung, in Abwasseranlagen, Parks und im städtischen Verkehr. Die Abfallwirtschaft ist kein Schwerpunkt von AMRUT. (MoUD 2015)

#### **4.3.3 Namami Gange (Clean Ganga)**

Namami Gange ist ein Programm der National Mission for Clean Ganga und hat zum Ziel, die Verschmutzung des Flusses Ganges zu stoppen und den Fluss wiederzubeleben (NMCG 2017). Die Schwerpunkte liegen in den Bereichen Abwasserbehandlung, Ufererschließung, Oberflächenwasserreinigung, Biodiversität, Aufforstung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit.

---

<sup>1</sup> <http://www.swachhbharaturban.in/sbm/home/#/SBM>

Für Haridwar am Fluss Ganges wurden unter Namami Gange mehrere Abwasserbehandlungsprojekte genehmigt. Obwohl die Clean Ganga Mission nicht auf die Bewirtschaftung fester Abfälle selbst abzielt, finanziert sie Systeme zur Bekämpfung schwimmender fester Abfälle im Fluss und zur Verringerung des Eintrags von festen Abfällen in den Fluss infolge schlechter Hygienemaßnahmen in ländlichen Gebieten.

#### **4.3.4 Smart Cities Programme**

Smart Cities Mission ist eine Initiative zur Förderung von Städten, die über eine zentrale Infrastruktur verfügen und ihren Bürgern eine angemessene Lebensqualität bieten, eine saubere und nachhaltige Umwelt und die Anwendung von "smarten" Lösungen. Der Schwerpunkt liegt auf einer nachhaltigen und integrativen Entwicklung, und die Idee ist, kompakte Gebiete zu betrachten, ein nachahmenswertes Modell zu schaffen, das wie ein Leuchtturm für andere aufstrebende Städte wirkt. Die indische Regierung hat 1,2 Milliarden US-Dollar für Smart Cities im Unionshaushalt 2014-15 bereitgestellt. Es wird erwartet, dass die Finanzierung meist als vollständige private Investition oder durch private öffentliche Partnerschaften erfolgt und dass der staatliche Beitrag weitgehend zur Unterstützung der Wirtschaftlichkeit erfolgt (Michaelowa et al. 2015).

Bangalore und Bhopal standen auf der Liste der 98 Städte, die von den Bundesstaaten für die Smart City Challenge nominiert wurden, und Bhopal gehörte zu den Top 20 der ersten Runde im Januar 2016. Bangalore wurde in Runde 3 im Juni 2017 ausgewählt. Mit der Finalrunde 4 im Januar 2018 gibt es nun insgesamt 99 Städte in der Smart Cities Mission<sup>2</sup>.

#### **4.3.5 Beispiele für regionale Programme, Bangalore**

Viele Programme gibt es auch auf regionaler Ebene. Zwei davon, die es in Bangalore gibt, sind die "2Bin 1Bag Initiative" und "I got garbage", die im Folgenden beschrieben sind.

##### **1. 2Bin 1Bag Initiative, Bangalore**

2Bin 1Bag – Abfall trennen und bekämpfen ist eine Initiative von Bürgergruppen, die proaktiv mit der Regierung zusammenarbeiten, um Lösungen für die Abfallwirtschaft zu finden. Die Bewegung ist eine gemeinsame Anstrengung von Bürgerinitiativen in Bangalore, darunter die Kasa Muktha Bellandur, das HSR Bürgerforum, We Care for Malleswaram, Solid Waste Management Round Table (SWMRT) und viele andere, bei denen die Abfalltrennung auf Haushaltsebene praktiziert und auf Gemeindeebene gefördert wird. Das Programm wurde auch von Bruhat Bangalore Mahanagara Palike (BBMP, die städtische Behörde von Bangalore) identifiziert und unterstützt und weiter aufgegriffen. BBMP hat damit begonnen, Abfälle von Haushalten getrennt zu sammeln, um das Programm zu unterstützen. Nass-, Trocken- und Sanitärabfall werden in separaten Behältern/Beuteln gesammelt und separat behandelt. Die Initiative wird durch Gerichtsbeschlüsse, Sensibilisierungskampagnen und die Verhängung von Strafen bei Nichtkooperationen unterstützt. Der High Court von Karnataka hat am 17. Dezember 2015 eine einstweilige Verfügung an die Bürger in Bangalore erlassen, verpflichtend das 2bin 1-Beutel-System zu praktizieren<sup>3</sup>.

##### **2. I got garbage**

I Got Garbage („ich habe Abfall“) ist eine Corporate Social Responsibility (CSR)-Initiative („gesellschaftliche Unternehmensverantwortung“) von Mindtree im Bereich des Lebensunterhalts von (informellen) Müllsammlern und der Abfallwirtschaft. Ein wichtiges Ziel ist es, Bürger und Gemeinden in die

---

<sup>2</sup> <http://smartcities.gov.in/content/Whatsnews.php>

<sup>3</sup> <http://www.2bin1bag.in/>

Lösung des Problems der Bewirtschaftung fester Abfälle einzubeziehen, so dass gemeinschaftlich Arbeitsplätze für Müllsammler geschaffen werden und auch Städte sauberer werden. Die wichtigste Aktionsstadt für die Initiative ist Bangalore.

I Got Garbage ist im Grunde genommen eine Cloud-basierte IT-Plattform und bietet Funktionen wie Warenwirtschaftssystem für Müllsammler, Bürgerengagement Plattform, Abfallwirtschaftsdienstleistungs-Marktplatz und Müllsammler Leistungs-Tracker. Darüber hinaus arbeiten sie mit Sozialunternehmen zusammen, um Prozesse zu verbessern und Partner-Ökosysteme aufzubauen. Seit 2013 unterstützt die Initiative das Recycling von mehr als 9000 Tonnen Abfall und schafft Arbeitsplätze und ein grünes Umfeld. Die Müllsammler nehmen sowohl nassen als auch trockenen Abfall von ihren Kunden; der trockene Abfall wird zu den Trockenabfallsammelzentren (DWCC) in Bangalore transportiert, während nasser Abfall zu Biogas und Kompost verarbeitet wird<sup>4</sup>.

## 5 Fakten und Ergebnisse von Abfallwirtschaftssystemen in den ausgewählten Städten

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über Fakten und Ergebnisse in den 3 ausgewählten Städten. Detailliertere Informationen sind in den Berichten für die drei Städte enthalten, die als separater Anhang zu diesem Bericht veröffentlicht werden.

### 5.1 Bangalore

Die Stadt Bangalore ist die administrative und politische Hauptstadt des Staates Karnataka. Sie ist auch ein wichtiges Handelszentrum mit einigen der wichtigsten Industrieunternehmen. Die Stadt hat den Titel "IT Hub of Asia" und "Silicon Valley of India" erhalten. Während der IT-basierte formale Sektor 15% der Wirtschaft ausmacht, trägt der informelle Sektor 60-70% bei (BDA 2005).

#### 5.1.1 Lage und Klima

Bangalore liegt im südlichen Teil des Dekkan-Plateaus auf einer Höhe von 949 Metern über dem Meeresspiegel. Die Metropole Bangalore umfasst eine Fläche von rund 800 km<sup>2</sup>.

Gemäß der Köppen Geiger Klassifikation (Peel et al. 2007) wird das Gebiet als "Aw", tropisches Nass- und Trocken- oder Savannenklima eingestuft. Das Klima ist saisonal mit einer Trockenzeit von Dezember bis Mai, gefolgt von der Südwest-Monsunzeit von Juni bis September, und Oktober, November bilden die Nordost-Monsunzeit. Die Hauptmerkmale des Klimas von Bangalore sind der angenehme Temperaturbereich, vom höchsten Maximum von 33°C im April bis zum niedrigsten Minimum von 14°C im Januar. Die mittlere monatliche relative Luftfeuchtigkeit ist im März am niedrigsten (44%) und zwischen Juni und Oktober am höchsten (80-85%). Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt 860 mm, wobei auf die Regenzeit von Juni bis September 54% in der Südwest-Monsunzeit und auf Oktober und November 28% während des Nordost-Monsuns entfällt.

#### 5.1.2 Bevölkerung und Stadtstruktur

Bangalore hat den Ruf, eine der am schnellsten wachsenden Städte Asiens zu sein (Ramachandra & Bachamanda 2007). Laut Census of India 2011 hatte die Stadt Bangalore etwa 8,5 Millionen Einwohner (ORGI 2015) und verzeichnet einen stetigen Bevölkerungszuwachs (3,25% aktuelle jährliche Wachstumsrate). Bis 2021 dürften es 10 Millionen Einwohner sein. Die Stadt Bangalore ist in 198 Bezirke in 8 Unterverwaltungszonen gegliedert (Abbildung 3).

Die Stadtverwaltung in Bangalore heißt Bruhat Bangalore Mahanagara Palike (BBMP). BBMP stellt die dritte Regierungsebene dar (die Zentral- und die Landesregierung sind die ersten beiden Ebenen) und

---

<sup>4</sup> <http://www.igotgarbage.com/>

wird von einem Stadtrat geleitet, der aus Körperschaften (oder gewählten Vertretern) besteht, wobei je eine Körperschaft jeden Bezirk der Stadt vertritt. Die Stadtratswahlen finden einmal alle 5 Jahre statt. Ein Bürgermeister und ein stellvertretender Bürgermeister des Rates werden für die Dauer von einem Jahr gewählt, allerdings nicht durch Volksabstimmung.

Bangalore ist die viertgrößte Stadt Indiens und rangiert mit einem Gesamt-BIP von rund 83 Milliarden US-Dollar auf Platz 84 der Entwicklungsstädte weltweit. Die Stadt ist nach Mumbai und Delhi das drittgrößte Zentrum für vermögende Privatpersonen. Die Regierungspolitik trug zur Entwicklung der Industrie in Bangalore bei. Die Regierung von Karnataka gründete Ende der 80er Jahre die Electronic City, 18 km von Bangalore entfernt (heute in die städtische Agglomeration eingewachsen), für die Software- und Elektronikindustrie. In den letzten zehn Jahren wurden mehrere Technologieparks eingerichtet, um Hunderte von Unternehmen zu beherbergen.

Abbildung 3: Zonen und Bezirke in Bangalore

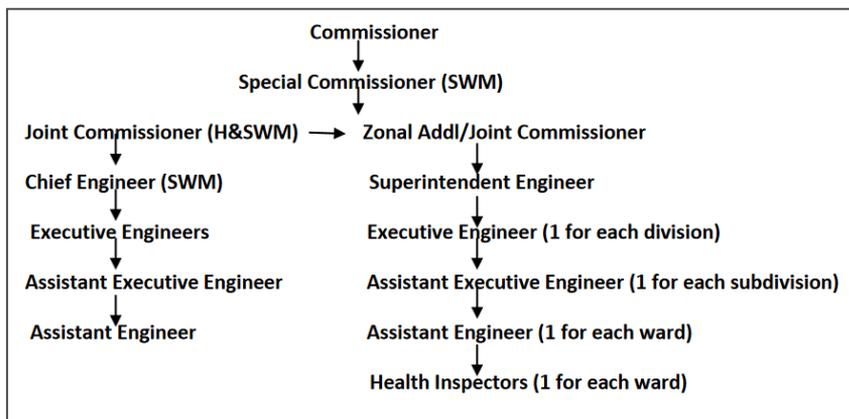


Kartografie: ifeu; Geodaten basierend auf CC BY-SA 3.0. <http://openbangalore.org>

### 5.1.3 Kommunale Abfallwirtschaft

Die Entsorgung von Siedlungsabfällen in Bangalore wird von der Abfallwirtschaftsabteilung unter der Leitung des Sonderbeauftragten für Abfallwirtschaft durchgeführt. Die Organisationsstruktur der Abteilung ist in Abbildung 4 dargestellt. BBMP ist verantwortlich für die Sammlung, Straßenkehren, Transport, Behandlung und Entsorgung von Siedlungsabfällen. Alle sogenannten Massenabfallerzeuger wie Handel und Gewerbe, Märkte, Hotels, Kantinen, Apartmentblocks und Hochhäuser – und damit ein erheblicher Teil der Abfallerzeuger in der Stadt – sind verpflichtet, ihre Abfälle entweder vor Ort zu entsorgen oder von BBMP autorisierte private Dienstleister zu beauftragen (KSPCB 2014). Darüber hinaus sind mehrere NGOs („Nichtregierungsorganisationen“) und Wohlfahrtsverbände an der Abfallwirtschaft beteiligt. Die kommunale Abfallwirtschaft wird durch die Vermögenssteuer finanziert und in einigen Gebieten wird eine zusätzliche Gebühr von den Haushalten erhoben.

Abbildung 4: Organigramm der Abfallwirtschaft der BBMP



Quelle: BBMP Webseite<sup>5</sup>

### 5.1.3.1 Abfallerzeugung und -zusammensetzung

Die verfügbaren Daten zur Abfallerzeugung variieren zwischen 3.000 und 4.000 Tonnen pro Tag (BBMP 2016b, TERI 2015, KSPCB 2014). Diese Mengen beinhalten keine Abfälle von Massenabfallerzeugern, die mit zusätzlichen 1.700 Tonnen pro Tag angenommen werden (UMC 2015). Auch recycelbare Abfälle, die vom informellen Sektor verarbeitet werden, sind in diesen Zahlen nicht enthalten. Die jeweiligen Beträge werden als relevant angenommen, obwohl keine Daten verfügbar sind.

Tabelle 8: Abfallzusammensetzung in Bangalore

Abfallfraktion	Bangalore allgemein [%] (Näherung, nur zur Orientierung) <sup>1)</sup>	West Zone [%] <sup>2)</sup>
Organik und Gemüse	53	62,6
Papier & Pappe	13	8,8
Kunststoff	12	9,9
Holz	6	0,4
Textilien	4	4,6
Verbundwerkstoffe		3,3
Glas	3	1,5
Elektronikartikel	2	0,1
Metall	1	0,3
Inert (Schutt & Feinteile)	5	5,8
Biomedizinische und Sonderabfälle aus Haushalten	2	2,8

Quelle: (1) BBMP (2016a), (2) Weichgrebe et al. (2016)

Ungefähre Daten zur Abfallzusammensetzung, die nur als Orientierungshilfe dienen, sind bei BBMP erhältlich und in Tabelle 5 aufgeführt. Darüber hinaus zeigt Tabelle 5 die Abfallzusammensetzung aus

<sup>5</sup><http://bbmp.gov.in/documents/10180/512162/Organization+Chart+of+Solid+Waste+Management.pdf/2697cd91-79d5-4785-8ed2-d7ce4d0e8d7b>; last access 17-04-2017

einer Studie über die West Zone (Weichgrebe et al. 2016). Obwohl diese Studienergebnisse aus einer umfassenden Analyse stammen, wurden sie nicht für die THG-Berechnungen verwendet, da Experten, die am Workshop in Bangalore am 25. Oktober 2016 teilnahmen, erklärten, dass die Daten aus der West Zone nicht auf andere Zonen in Bangalore anwendbar sind. In Anbetracht der gegebenen Situation wird die Zusammensetzung von BBMP als Näherungswert in den Berechnungen verwendet.

### 5.1.3.2 Sammlung und Behandlung

BBMP bietet allen Haushalten, Slumgebieten, Geschäften und Einrichtungen einen täglichen Abfallsammel-service an (BBMP 2016b). Bangalore ist eine Mülltonnen freie Stadt, mit Mülltonnen nur in den Gewerbegebieten. Die behälterfreie Abfallsammlung erfolgt durch die Haustürsammlung und die Sammlung an Wegwerfplätzen (Bereiche am Straßenrand). Etwa 80% aller Sammel- und Transportaktivitäten werden ausgelagert. Für die primäre Sammlung werden kleine Kiplaster, Autos und Schubkarren verwendet. Etwa 20.000 Straßenreiniger, Pourakarmikas genannt, arbeiten für BBMP und Auftragsfirmen in den Bereichen Haustürsammlung, Straßenreinigung und Transport von Siedlungsabfällen.

BBMP empfiehlt die getrennte Abfallerfassung. Die Aktivitäten im Bereich der Informationsaufklärung und -kommunikation werden intensiviert und Strafen wegen Nichteinhaltung verhängt. Im Allgemeinen sind 3 Kategorien von Abfällen für die getrennte Erfassung bestimmt: Trocken-, Nass- (definiert als biologisch abbaubare Abfälle) und Sanitärabfälle. Zum Zeitpunkt der Datenerhebungsphase war die getrennte Erfassung kaum umgesetzt. Trockener Abfall enthielt nicht recycelbare oder minderwertige Materialien. Die Nassabfallfraktion war eigentlich eine Mischung aus nicht getrennten Trockenabfällen, Textilien, biologisch abbaubaren Abfällen und Siedlungsabfällen.

Obwohl die Sammelquote 100% beträgt, werden nicht alle Siedlungsabfälle wirklich erfasst. Auf dem Workshop in Bangalore wurde der nicht eingesammelte Anteil der erzeugten Siedlungsabfälle durch die Beurteilung von Stakeholdern und Experten auf 20% geschätzt. Es wird angenommen, dass die nicht eingesammelten Abfälle zu 90% unkontrolliert entsorgt, zu 8% offen verbrannt und zu 2% eigenkompostiert werden. Diese Annahmen werden für nicht erfasste Abfälle in der THG-Berechnung des Status quo verwendet.

Die gesammelte Abfallmenge wird zu einer Transferstation gebracht, wo Trockenabfälle teilweise weiter sortiert werden, während die Nass-/Mischabfallfraktion mit Verdichtern & Kiplastern zu den Behandlungsstandorten transportiert wird (Abbildung 5). Der Anteil der Trockenabfälle variiert zwischen 17% und 41%, entsprechend den Informationen, die auf Zonenebene für 3 Zonen gesammelt wurden. Für die THG-Berechnung wurde ein durchschnittlicher Anteil von 25% trockener Abfall angenommen.

Abbildung 5: Haustürsammlung (links) und Umladung kleiner Kiplaster auf Verdichter (rechts)



Fotos: ifeu

Für die Behandlung des Trockenabfalls betreiben BBMP und ausgewählte NGOs 185 Trockenabfallsammelzentren (Dry Waste Collection Centers, DWCC) in Bangalore. NGOs betreiben hauptsächlich

große, gut organisierte Zentren, die zusätzlich Trockenabfall von Massenabfallerzeugern behandeln (Abbildung 6).

Abbildung 6: Trockenabfallsammelzentren, die von NGOs betrieben werden, Südzone, Bangalore



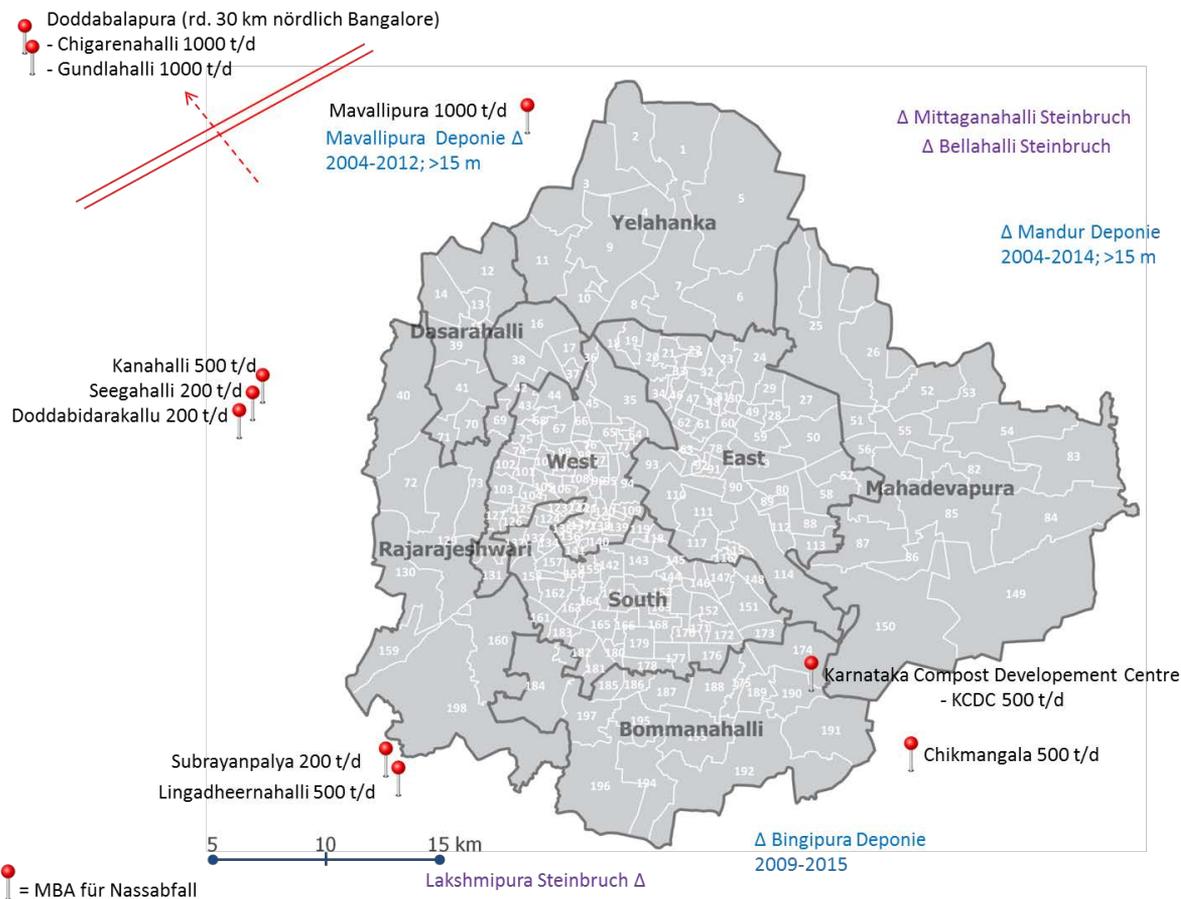
Fotos: ifeu

Es wird davon ausgegangen, dass 30% der an die DWCC gelieferten Trockenabfälle von geringer Qualität oder nicht recycelbar sind und daher in den DWCCs nicht akzeptiert werden und grundsätzlich auf Deponien landen. Der in den Sammelstellen angenommene Trockenabfall wird gewogen, bezahlt und anschließend gründlich manuell sortiert. Das zurückgewonnene Material, vermutlich 80% des angenommenen Inputs<sup>6</sup>, wird an Industrien oder Recycler verkauft, während Sortierreste deponiert werden. Diese Zahlen werden auch für die THG-Berechnung der DWCC verwendet.

Der Nass-/Mischabfall wird zu einer von 10 mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBAs) gebracht, die sich meist außerhalb der Stadt befinden, die am weitesten entfernte, etwa 30 km nördlich von Bangalore. Abbildung 7 zeigt die MBAs in und bei Bangalore sowie die 3 geschlossenen Deponien (Mavallipura, Mandur, Bingpura) und einige unkontrollierte Deponien oder Steinbrüche (grobe Lage entweder von „open space data“ oder wie von Experten des Workshops in Bangalore berichtet).

<sup>6</sup> Mittelwert von 3 DWCCs, nach Beurteilung von Experten auf dem Workshop in Bangalore als plausible angenommen.

Abbildung 7: MBAs, geschlossene Deponien und unkontrollierte Steinbrüche/Deponien in und bei Bangalore (zur Datenerfassungsphase 2016/2017)



Kartografie: ifeu; Geodaten basierend auf CC BY-SA 3.0. <http://openbangalore.org>

Die MBAs haben eine Kapazität zwischen 200 und 1.000 Tonnen pro Tag und werden von 7 verschiedenen Betreibern betrieben. Die KCDC-Anlage war früher eine Kompostierungsanlage für getrennt erfasste, biologisch abbaubare Abfälle im Besitz des Bundesstaates Karnataka. Im Jahr 2015 wurde die Anlage an BBMP übergeben. Seitdem werden Nass-/Mischabfälle verarbeitet und die Kapazität von 300 auf 500 t/d erweitert. 6 der 10 MBAs sind neu errichtete Anlagen, die nach dem Beschluss des Obersten Gerichts von Karnataka im Jahr 2012, die Deponie Mavallipura zu schließen und keine Abfälle wie bisher zu entsorgen, errichtet wurden (TERI 2015). Die 6 neu errichteten Anlagen sind in ähnlicher Weise in einem modularen Konzept aufgebaut:

1. der angelieferte Abfall wird auf einer elektronischen Wiegebrücke gewogen,
2. aus der Müllkipprampe werden die Abfälle entnommen und mechanisch durch ein 200 mm Trommelsieb, gefolgt von einem 100 mm Trommelsieb vorbehandelt,
3. der Durchlauf wird in den Ersatzbrennstoff (EBS)-Lagerbereich überführt,
4. der abgesiebte Abfall (< 100 mm) wird in der Komposthalle in Form von Trapezmieten aufgesetzt, 3 m hoch und ca. 4-5 m breit,
5. die Mieten werden per Radlader etwa einmal pro Woche gewendet, bei Bedarf wird Wasser hinzugefügt,
6. nach 4-5 Wochen wird das teilgereifte Material durch 40 mm und 16 mm Trommelsiebe abgesiebt, der Durchlauf wird in das EBS-Lager transportiert,
7. der Durchsatz (< 16 mm) wird zur weiteren Stabilisierung 12 Tage in Kompostboxen gelagert,

8. stabilisiertes Material wird mit einem 4 mm Trommelsieb veredelt, der Durchlauf wird dem Kompostierungsprozess wieder zugeführt und das feinere Material, das Endprodukt Kompost, wird für den Kauf verpackt.

Nach Informationen aus Interviews und Studien variieren die MBA-Outputs von 50% EBS, 25% Kompost (Chikmangala) bis 22% EBS, 22% Wertstoffe, 11% Kompost, 44% Sortierreste (Mavallipura) bis 30% EBS, 12%-15% Kompost und ansonsten Feuchtigkeit und inerte Materialien (TERI 2015). Beim Workshop in Bangalore wurde in Diskussionen mit den Stakeholdern ein durchschnittlicher MBA-Output von 20% EBS, 20% Kompost, 15% stabilisierte Rückstände, 10% inert, 35% Verluste abgestimmt, der für die THG-Berechnung verwendet wird.

Allerdings, wurden 2016 die aus der Aufbereitung gewonnenen EBS aufgrund ihrer geringen Qualität grundsätzlich im EBS-Lager gelagert oder vor Ort deponiert. In der Regel sind die Anlagen mit einem Schredder und einer Balliereinheit ausgestattet, um das Abfallmaterial zu EBS aufzubereiten. Eine der besuchten Anlagen versuchte, Ersatzbrennstoffe zu ballieren und stand in Kontakt mit einem Zementwerk. Der produzierte Kompost wurde zu einem vergleichsweise niedrigen Preis zum Verkauf angeboten, aber es gab keine regelmäßigen Verkäufe. Zum Zeitpunkt des Besuchs im Oktober 2016 waren 7 der 10 MBAs nicht in Betrieb. Gründe dafür waren Stromabschaltung aufgrund unbezahlter Rechnungen und/oder Blockaden von Anlagen durch protestierende Bürger. In einem Fall wurde der Betrieb durch einen EBS-Lagerbrand unterbrochen<sup>7</sup>.

Abbildung 8 zeigt Bilder von einem Besuch der MBA Chikmangala im Oktober 2016, der freundlicherweise von Wissenschaftlern der ISAH Hannover und von K S Velankani Bangalore organisiert wurde. Die Bilder von links oben nach unten zeigen die Trapezmieten mit dem abgetrennten, vermeintlich biologisch abbaubaren Material aus der ersten mechanischen Trennung durch die Trommelsiebe, dem weiteren Trennschritt nach 4-5 Wochen und dem Endlagerbereich. Das erste Bild rechts zeigt die EBS-Fraktion nach der ersten Trennung. Dieses Material unterscheidet sich nicht sehr von dem ursprünglichen Input, was darauf zurückzuführen ist, dass der Mischabfall-Input 2-3 m lange Textilien und Blumenstränge beinhaltet, die regelmäßig die Trommeln blockieren und den Trommelsieb auch verstopfen, an dem das biologisch abbaubare Material abgetrennt werden soll. Der Betreiber versuchte dennoch, die EBS durch Schreddern und Ballieren weiterzuverarbeiten, jedoch wie in den nächsten beiden Bildern rechts gezeigt ohne Erfolg. Die endgültigen EBS-Ballen sind von geringer Qualität und bestehen aus relevanten Anteilen an inertem und organischem Material und haben einen niedrigen Heizwert von etwa 1.200 kcal/kg (5 MJ/kg). Dieses Material wurde von den Betreibern des Zementwerks als nicht mitverbrennbar eingestuft (1) wegen des niedrigen Heizwertes und (2) wegen des inerten/organischen Anteils, der im Zementklinker landen und die Produktqualität negativ beeinflussen würde.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde im THG-Szenario keine Gutschrift für die MBA-Outputs im Status quo-Szenario berechnet.

---

<sup>7</sup> <http://www.deccanchronicle.com/nation/in-other-news/151016/kannahalli-garbage-plant-still-on-fire-after-10-days.html>

Abbildung 8: MBA Chikmangala, Oktober 2016



Fotos: ifeu

Getrennte Essensreste aus Kantinen oder Hotels werden teilweise in kleinen Biogasanlagen, sogenannten Biomethanisierungsanlagen, behandelt. Insgesamt realisierte BBMP 16 nahezu identische kleine Biomethanisierungsanlagen mit einer Kapazität von 5 Tonnen pro Tag. Die Anlagen sind von zwei Technologielieferanten mit einem Zerkleinerer, Faulbehälter, Gärrestlager, Gasballon und einem 50 kW Blockheizkraftwerk (BHKW) ausgestattet. Die Technologie ist recht einfach ohne Förderpumpe oder Rührwerk. Essensreste werden zerkleinert und mit Wasser vermischt und direkt über den Zerkleinerer in den Fermenter eingebracht, wo sie von der täglichen Beschickung durchgeschoben werden und schließlich in das Gärrestlager gelangen (siehe Abbildung 9).

Die Biogasproduktion ist eher gering, da der anaerobe Prozess nicht richtig funktioniert und externe Energie benötigt wird. Im Oktober 2016 waren vier der 16 Anlagen in Betrieb. Das Verfahren ist nicht sehr klima- und umweltfreundlich, da der Gärrest aus dem Gärrestlager in die Gewässer abgeleitet wird.

Die Behandlung wurde in das Status-quo-Szenario aufgenommen, aber es wurde keine Gutschrift angerechnet.

Abbildung 9: Kleinmaßstäbliche Biomethanisierungsanlage



Fotos: ifeu und ecoparadigm

Neben den beschriebenen Behandlungspraktiken für trockene und nasse Abfälle betreiben einige andere NGOs oder Wohlfahrtsinitiativen kleine Kompostierungsanlagen für getrennt erfasste organische Abfälle, wie in Abbildung 10 dargestellt. Getrennt erfasste organische Abfälle werden zunächst in einem Schnellkomposter (Organic Waste Converter, OWC) behandelt (Bild links). OWCs mit einer Kapazität von etwa 1 Tonne pro Tag sind in Indien ziemlich verbreitet. Typischerweise wird der organische Abfall nach Zugabe eines Aktivators für 1-3 Tage im OWC behandelt. Die NGO SAAHAS kompostiert das Material aus dem OWC für bis zu 40 Tage (rechtes Bild), während sie den Kompost alle 3 Tage zur Belüftung dreht. Es wird Qualitätskompost produziert, der etwa 25% des Input entspricht. Im Oktober 2016 konnte dieser Kompost mangels Markt- und Marktstrategien nicht verkauft werden.

Abbildung 10: Kompostierungseinheit der NGO SAAHAS



Fotos: ifeu

Der beschriebene Kompostierungsprozess wurde im Status-quo-Szenario nicht berücksichtigt, (1) da keine Daten verfügbar waren, und (2) die THG-Berechnungen sich auf Abfälle aus Haushalten in der Verantwortung der Behörden konzentrieren.

## 5.2 Bhopal

Die Stadt Bhopal ist die administrative und politische Hauptstadt des Landkreises Bhopal sowie des Bundesstaates Madhya Pradesh. Bhopal war eine der ersten im Rahmen der Smart City Initiative ausgewählten Städte im Januar 2016 (siehe Fußnote 4).

### 5.2.1 Lage und Klima

Bhopal, auch bekannt als "Stadt der Seen", liegt auf einer Höhe von ca. 460 bis 625 m über dem Meeresspiegel und erstreckt sich über 463 km<sup>2</sup>. Etwa 10% der Fläche des Landkreises Bhopal bilden die Stadt Bhopal und werden von der Bhopal Municipal Corporation (BMC) verwaltet (Gaur et al. 2014. BMC 2006).

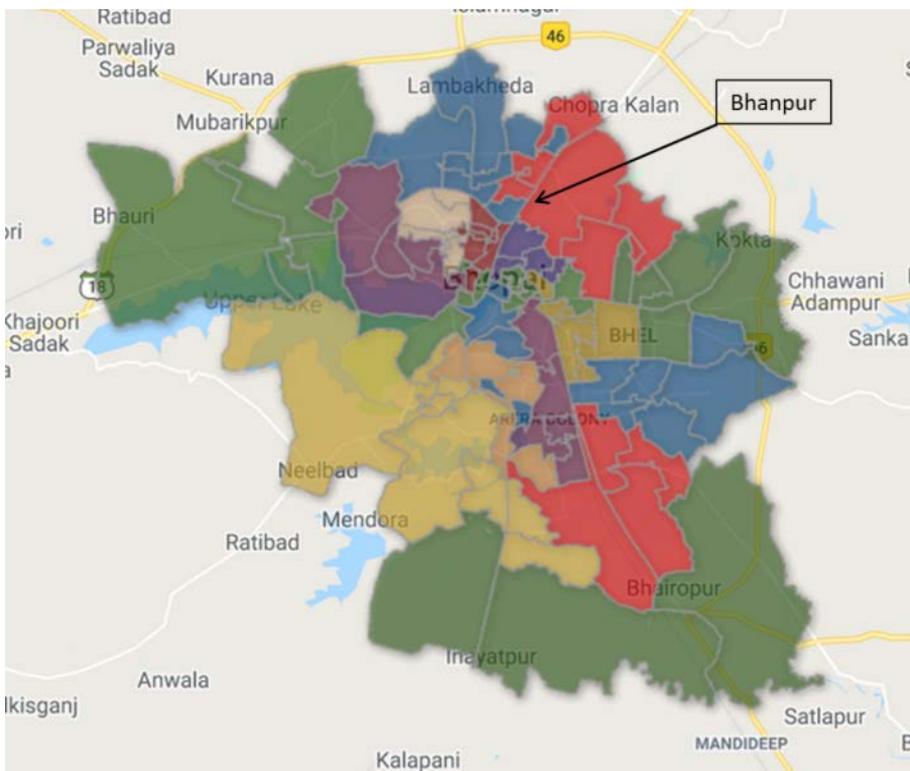
Laut der Köppen Geiger Klassifikation (Peel et al. 2007) liegt Bhopal in einer Region, die als "Aw"-Klimazone eingestuft wird. Das Hauptklima ist tropisch (A) mit winter trockenem Klima (w). Das Klima der Stadt gilt als gemäßigt mit heißen Sommern und kalten Wintern und Temperaturen zwischen 10 und 43°C. Der durchschnittliche jährliche Niederschlag beträgt 1.200 mm und fällt überwiegend während der Monsunzeit von Juli bis September. Die durchschnittliche Anzahl der Regentage beträgt ca. 40 (BMC 2006).

### 5.2.2 Bevölkerung und Stadtstruktur

Laut Census of India 2011 betrug die Einwohnerzahl der Stadt Bhopal etwa 1,8 Millionen. Die Gemeindeverwaltung umfasst etwa 94% der gesamten städtischen Bevölkerung des Landkreises. Die durchschnittliche Bevölkerungsdichte in der Stadt beträgt 6.290 Personen pro Quadratkilometer. Außerdem lebt ein erheblicher Teil (etwa 27%) der Bevölkerung in den 388 Slumgebieten der Stadt. (Smart Cities Projekte 2015)

Auf der Website des BMC wird die Stadtstruktur mit einer informativen Karte dargestellt. Bhopal ist in 85 Bezirke unterteilt, die zu 19 Zonen zusammengefasst sind, und wird vom Stadtkommissar geleitet. Abbildung 11 zeigt einen Screenshot der informativen Karte. Die angegebene Region "Bhanpur" entspricht in etwa der Lage der Deponie Bhanpura.

Abbildung 11: Stadtstruktur Bhopal



Quelle: BMC Website (2017). <http://www.bhopalmunicipal.com/city-information/informative-map.html>

### 5.2.3 Kommunale Abfallwirtschaft

Abfallwirtschaft liegt in der Regel in der Verantwortung von BMC. Aber auch mehrere NGOs und Selbsthilfegruppen sind in der Abfallwirtschaft tätig. Der informelle Sektor von Bhopal umfasst mehr als 8.000 Verwerter, während BMC mehr als 4.700 Mitarbeiter für die Abfallwirtschaft beschäftigt (CDIA 2015).

### 5.2.3.1 Abfallerzeugung und -zusammensetzung

Die verfügbaren Informationen über die Abfallerzeugung variieren zwischen 700 und 800 Tonnen pro Tag (Sharma 2016, Katiyar et al. 2013, Dasgupta 2016), was aufgrund unterschiedlicher Zeithorizonte durchaus den Anstieg der Abfallerzeugung darstellen kann. Im Vergleich zu 550 t/d, die in BMC (2006) berichtet wurden, würde der Anstieg in den letzten zehn Jahren mindestens etwa 30% betragen.

Daten zur Abfallzusammensetzung sind von BMC erhältlich, sind aber aus dem Jahr 2006. Für die THG-Berechnungen wurde eine neuere Quelle, die die Abfallzusammensetzung für 2009 darstellt (Katiyar et al. 2013), als Grundlage herangezogen. Die Zusammensetzung beschreibt Proben von Bhopals häuslichen Abfällen, wie sie in Tabelle 6 aufgeführt sind. Die wichtigsten Abfallfraktionen sind biologisch abbaubare Materialien. Die recycelbaren Trockenabfallfraktionen Papier, Kunststoffe, Textilien, Metalle machen etwa 20% des Gesamtabfalls aus. Es wird angenommen, dass der Anteil des feinen Erdstaubs aus unbefestigten Bereichen stammt.

Tabelle 9: Abfallzusammensetzung der Proben von Bhopal, 2009

Abfallfraktionen	[% des Gewichts]
Essensreste und Obstabfälle	43,18
Gartenschnitt	3,06
Heu, Stroh und Blätter	22,15
Papier und Karton	11,06
Gummi, Leder	0,13
Kunststoffe, einschließlich Polyethylen	5,72
Textilien	1
Holz	0,5
Glas, Geschirr	1,1
Dosen	0,49
Steine, Ziegelsteine	0,6
Kohlenasche, feiner Erdstaub	9,59
Eisenmetalle	0,87
Nichteisenmetalle	0,21
Andere Abfallfraktionen	0,26

Quelle: (Katiyar et al. 2013)

### 5.2.3.2 Sammlung und Verarbeitung

Nach Angaben der BMC-Website (2017) begann die Haustürsammlung im August 2013 in allen Bezirken. Die getrennte Erfassung wurde in einem Bezirk als Pilotprojekt durchgeführt. Heutzutage wird die Sammlung von BMC in der Stadt gut umgesetzt, mit einer deutlich verbesserten Effizienz in den letzten fünf Jahren (Sharma 2016). Aber bis heute ist Abfall aus Haushalten und Gewerbegebieten bei der Erfassung meist nicht getrennt. Die gesammelten Abfälle werden in einem der mehr als 3.000 Sammelbehälter/Zentren entladen und anschließend auf die Deponie Bhanpura transportiert (CDIA 2015).

Abbildung 12: Siedlungsabfall beim Transport zur Deponie Bhanpura und Wiegebrücke



Fotos: ifeu

Die Deponie Bhanpura ist die größte Deponie in Bhopal und wird seit über 35 Jahren genutzt. Mittlerweile hat sie ihre Kapazität erreicht (BMC 2014) und liegt auch innerhalb der kommunalen Grenzen (siehe Abbildung 11). Daher ist die Deponie für den Abschluss vorgesehen. Der Transport zur Deponie erfolgt mit verschiedenen Müllfahrzeugen, die vor der Ablagerung gewogen werden (Abbildung 12). Die digitale Datenerfassung wurde etwa Ende 2016 implementiert. Die Daten dienen zu Dokumentationszwecken (Tiwari & Rupali 2017).

Der deponierte Abfall wird nicht höher als 5 m aufgeschichtet und ist weder verdichtet noch abgedeckt. Einige rezyklierbare Kunststoffe, die finanziell interessant sind, werden extrahiert und in einer nahegelegenen Anlage durch den informellen Sektor sortiert. Ein Teil der deponierten Abfälle wird ausgegraben und in einer nahegelegenen mechanischen Behandlungsanlage behandelt, um Platz zu gewinnen und in der Hoffnung, aus dem verarbeiteten Material verkaufsfähigen Dünger herzustellen. Abbildung 13 von oben links nach unten rechts zeigt (1) die deponierten Siedlungsabfälle, (2) den Anschnitt für das ausgegrabene Material, (3) die Behandlung des ausgegrabenen Materials, (4) das verpackte verarbeitete Produkt.

Abbildung 13: Deponierte Abfälle und „Abfall zu Düngemittel“-Anlage bei der Deponie Bhanpura





Fotos: ifeu

Hier, wie in Bangalore, besteht der Siedlungsabfall aus Textilien und anderen seilartigen Materialien, was zu ähnlichen Problemen in mechanischen Behandlungsanlagen führen kann. Im Vergleich zu frischem Abfall ist das ausgegrabene Material leichter mechanisch zu behandeln. Allerdings wurde der aus den deponierten Abfällen gewonnene Dünger einmal analysiert, mit dem Ergebnis eines eher schlechten Nährstoffgehalts. Aus diesem Grund ist der Verkauf des Produktes schwierig und es wird überwiegend im Lagerbereich der Anlage gelagert. (Khare 2017)

Der aus dem deponierten Abfall entnommene rezyklierbare Kunststoff wird in einer nahegelegenen Anlage für die Weiterverarbeitung wie Zerkleinerung oder Extrusion an anderer Stelle vorsortiert. Aus der Verarbeitung erhaltene Produkte sind in Abbildung 14 dargestellt. Granulate werden aus Milchbeuteln oder anderen hochwertigen Kunststoffabfällen hergestellt. Geschredderte Schnipsel werden für den Straßenbau verwendet und Fluff für die Mitverbrennung in Zementwerken.

Abbildung 14: Sortierung von Kunststoffabfällen in der Nähe der Deponie



Fotos: ifeu

Für das Status-quo-Szenario wurden nur 100% Mischmüll-Sammlung und Deponierung der Siedlungsabfälle berücksichtigt, da die anderen Aktivitäten entweder sehr spezifisch sind (Dünger aus Abfällen) oder keine Abfalldaten auf Stadtebene vorliegen (informelles Recycling).

### 5.3 Haridwar

Die Stadt Haridwar ist die Hauptstadt und die größte Stadt im Landkreis Haridwar im nordindischen Bundesstaat Uttarakhand. Haridwar ist eine der sieben heiligen Städte der hinduistischen Kultur in

Indien und einer der vier Orte in Indien, an denen die Kumbh Mela - die größte hinduistische Pilgerreise des Glaubens - alle zwölf Jahre stattfindet.

### 5.3.1 Lage und Klima

Haridwar liegt am Fluss Ganges, wo er aus dem Himalaya kommend in die North Indian River Plain mündet. Auf einer Höhe von ca. 300 m über dem Meeresspiegel erstreckt sich die Stadt auf ca. 12 km<sup>2</sup> auf beiden Seiten des Flusses Ganges, wobei das Hauptgebiet nordwestlich des Flusses liegt.

Laut der Köppen Geiger Klassifikation (Peel et al. 2007) liegt Haridwar in einer Region, die als "Cwb" eingestuft wird, aber nahe der Klimazone "Cwa". Das Hauptklima ist gemäßigt (C) mit trockenen Wintern (w) und warmen (Cwb) bis heißen (Cwa) Sommern mit Monsuneinfluss. Das Klima in Haridwar ist saisonal mit der Wintersaison von November bis Februar, gefolgt von einer Frühsommersaison von März bis Juni und dann einer Monsunsaison von Juli bis September. Die Luftfeuchtigkeit im Sommer wird mit 40 bis 60% und die jährliche Höchsttemperatur mit 30 bis 42°C angegeben, während im Winter die Luftfeuchtigkeit auf 25% sinkt und die Temperatur auf ein Minimum von 4°C absinken kann. In der Regenzeit beträgt die Luftfeuchtigkeit 70 bis 85%. Im Sommer kommt es häufig zu heißen, staubaufwirbelnden Winden mit Geschwindigkeiten von bis zu 15 km/h. (GHK 2007)

### 5.3.2 Bevölkerung und Stadtstruktur

Laut Census of India 2011 hat die Stadt Haridwar eine Bevölkerung von etwa 230.000 Menschen (ORGI 2015). Die fluktuierende Bevölkerung der Stadt (Touristen, Gläubige) beträgt jedoch bis zu 160.000 Menschen pro Tag (IPE 2009. CPCB 2016). Die Einwohnerzahl der Stadt wächst seit Jahrzehnten, und aktuelle Prognosen gehen für 2025 (MoUD 2016) von rund 293.000 und für 2041 (Urban Development Directorate of Uttarakhand 2015) von 424.000 Menschen aus. Ein erheblicher Teil der Bevölkerung lebt in Slumgebieten. In (IPE 2009) werden 86.888 Slumbewohner erwähnt und in (MoUD 2016) heißt es, dass 2011 56.295 Menschen in Slumgebieten lebten.

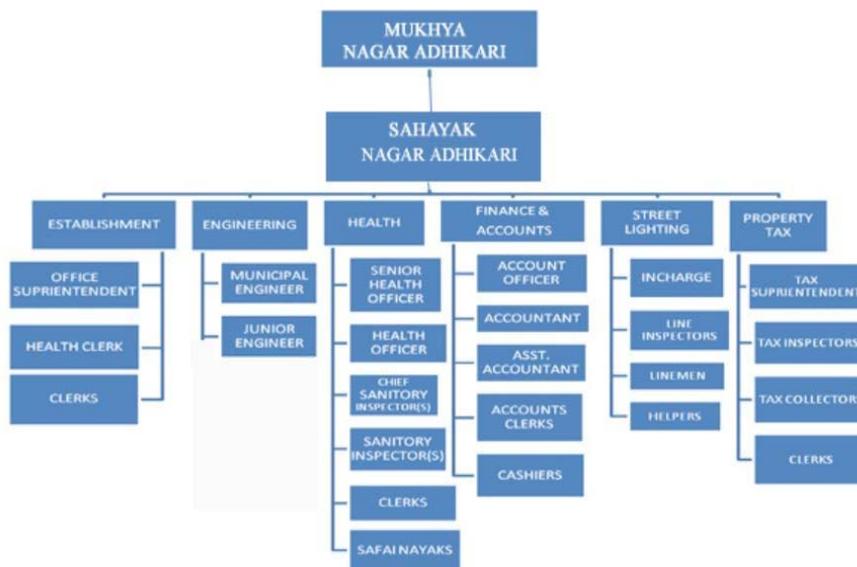
Im Jahr 2016 wurde die Stadt in 30 Bezirke unterteilt, die in 4 Zonen zusammengefasst sind (GKKB 2016). Haridwar's Vororte gehören zu den am stärksten industrialisierten Regionen von Uttarakhand mit Bharat Heavy Electricals Ltd. (BHEL) mit mehreren tausend Beschäftigten (IPE 2009).

### 5.3.3 Kommunale Abfallwirtschaft

Die Stadtverwaltung in Haridwar heißt Nagar Nigam Haridwar (Abbildung 15). "Mukhya Nagar Adhikari" bedeutet grob übersetzt "Amtsleiter", und die Abteilung von Nagar Nigam Haridwar, die für die Siedlungsabfallentsorgung zuständig ist, ist die Gesundheitsabteilung. Für einige Aufgaben (z.B. Haus-türsammlung) hat Nagar Nigam Haridwar privatwirtschaftliche Organisationen beauftragt.

Die stark fluktuierende Bevölkerung in Haridwar ist eine Herausforderung für die Abfallwirtschaft, und einige Regeln und Anforderungen sind speziell für Orte wie Haridwar. Als Reaktion auf die riesigen Mengen an Kunststoffabfällen, die an den Ufern anfallen, verbot das National Green Tribunal (2015) im Juli 2015 die Verwendung von Kunststoff für die Ausgabe von Lebensmitteln, Waren und Verpackungen in der gesamten Stadt Haridwar und insbesondere in der Nähe des Flusses Ganges. Jedoch wurde Kunststoff in Form von Taschen, Tellern und dergleichen im August 2016 in Haridwar noch offen und häufig verwendet (Trivedi 2016). Die Sensibilisierung der Pilger wurde als unzureichend erachtet, und in den sieben Monaten hat die Stadtverwaltung 76 kg Polyethylen beschlagnahmt und verschiedene Händler mit einer Geldstrafe von 250.000 Rupien belegt.

Abbildung 15: Organisationstruktur von Nagar Nigam Haridwar



Quelle: (Nagar Nigam Haridwar 2017)

### 5.3.3.1 Abfallerzeugung und Zusammensetzung

Die verfügbaren Daten zur Abfallerzeugung variieren zwischen etwa 200 und 400 Tonnen pro Tag (Urban Development Directorate 2015, MoEF 2015, Nagraath 2016). Für die THG-Berechnungen in dieser Studie wird ein durchschnittliches Abfallaufkommen von 237 t/d angenommen, darin eingeschlossen eine geschätzte Abfallerzeugung von 315 t/d an 20 Tagen pro Jahr aufgrund religiöser Feierlichkeiten (Nagar Nigam Haridwar 2015). Die Prognosen für Siedlungsabfall in Haridwar erwarten 278 t/d im Jahr 2025 (MoEF 2015) und 368 t/d im Jahr 2041 (Urban Development Directorate 2015).

Tabelle 10: Abfallzusammensetzung der aus 4 Bezirken auf der Deponie ankommenden Proben

Abfallfraktion	[Massen-%]	Details
Biologisch abbaubare Abfälle	50,35	Vorwiegend Küchenabfälle (35,10), grüne Blätter (7,46), trockene Blätter (4,17), Stroh/Heu (1,50), Gemüse (1,65), Blumen (0,21), tote Tiere (0,26)
Papier	5,08	
Kunststoff	8,40	PE-Tüten (7,13) und Kunststoffe (1,27))
Textilien	9,60	
Glas	0,12	
Inert	23,91	Sand/Erde/Boden (19,95) und Bau- und Abbruchabfälle (3,96), die aus Stein, Kalk, Ziegeln und Keramik bestanden
Metalle	0,06	
Holz	0,38	
Andere	1,24	Gummi/Leder (0,53), Schultaschen (0,5), Thermocole <sup>1)</sup> (0,18) und Echthaar (0,03)

Quelle: (IPE 2009)

1) Indischer Begriff für Styropor

Daten zur Abfallzusammensetzung sind aus drei verschiedenen Quellen verfügbar (IPE 2009, Sharma et al. 2010, Jain & Sharma 2011). Obwohl sich (IPE 2009) auf die Jahre 2007/2008 bezieht, wurde

diese Quelle für die THG-Berechnung verwendet, da sie umfassender ist als Informationen aus den anderen Quellen. Sharma et al. (2010) berichtet nur über Anteile an organischen und rezyklierbaren Stoffen aus probeweisen Haustürsammlungen, während Jain & Sharma (2011) nur kleine Proben von einer Deponie analysierten. Die in (IPE 2009) angegebene Abfallzusammensetzung ist in Tabelle 7 dargestellt. Weitere Einzelheiten zur Abfallzusammensetzung aus den anderen Quellen sind im Bericht für Haridwar beschrieben (separater Anhang zu diesem Bericht).

### 5.3.3.2 Sammlung und Behandlung

Gemäß (MoUD 2016) werden 170 t/d von den 237 t/d in Haridwar gesammelt, was einer Sammelquote von etwa 72% entspricht. Die restlichen Abfälle sind nicht gesammelte, verstreute Abfälle. Siedlungsabfall wird sowohl aus Haushalten in Wohngebieten als auch aus Slumgebieten gesammelt. Die Haustürsammlung wurde an das Privatunternehmen KRL Waste Management (Haridwar) Private Limited vergeben, das Anfang 2017 in 22 der insgesamt 30 Bezirke eine getrennte Erfassung bei Haushalten durchführte und insgesamt 110 t/d sammelte. In den anderen Bezirken wurde die noch nicht getrennte Sammlung von der Gemeinde durchgeführt (CPCB 2016, HMC 2016 & 2017). Diese Zahlen für die Sammlung werden für die Szenarien zur Berechnung der THG-Emissionen verwendet.

Für die Haustürsammlung werden die Abfallerzeuger gebeten, biologisch abbaubare Abfälle und nicht biologisch abbaubare Abfälle (einschließlich Wertstoffe) zu trennen. Die getrennte Erfassung wurde begonnen, obwohl sich die Abfallwirtschaftsanlage zur Behandlung der biologisch abbaubaren Abfälle noch im Bau befand. Die Haustürsammlung wird täglich mit Fahrrad-Rikschas mit mehreren Behältern zur Trennung durchgeführt (Abbildung 16). Insgesamt besuchen rund 110 Sammler jeweils rund 200 Haushalte.

Der gesammelte Abfall wird zu Sammelcontainern (Abfalldepot) transportiert, wo die Sammler manuell verkaufsfähige Wertstoffe entnehmen, und der restliche Abfall (Nassmüll sowie der verbleibende Trockenmüll) in den Sammelcontainer gelangt, der schließlich zur Entsorgung auf die Deponie transportiert wird.

Abbildung 16: Haustürsammlung mit Fahrradrikscha, März 2017



Fotos: ifeu

Nicht gesammelte Abfälle werden grundsätzlich auf die Straße oder in die offene Kanalisation verstreut. Insbesondere letztere haben das Potenzial, in den Fluss Ganges gespült zu werden und die Meeresverschmutzung zu erhöhen. Straßenkehrende sind dazu angestellt, den Abfall wieder zu entfernen, wie in Abbildung 17 dargestellt. Allerdings kann nicht jede Auswaschung verhindert werden und das entfernte Material enthält viel Schlamm aus dem offenen Kanal, was die Abfallgesamtmenge erhöht und den Trockenabfall stark verunreinigt, so dass er nicht rezykliert werden kann.

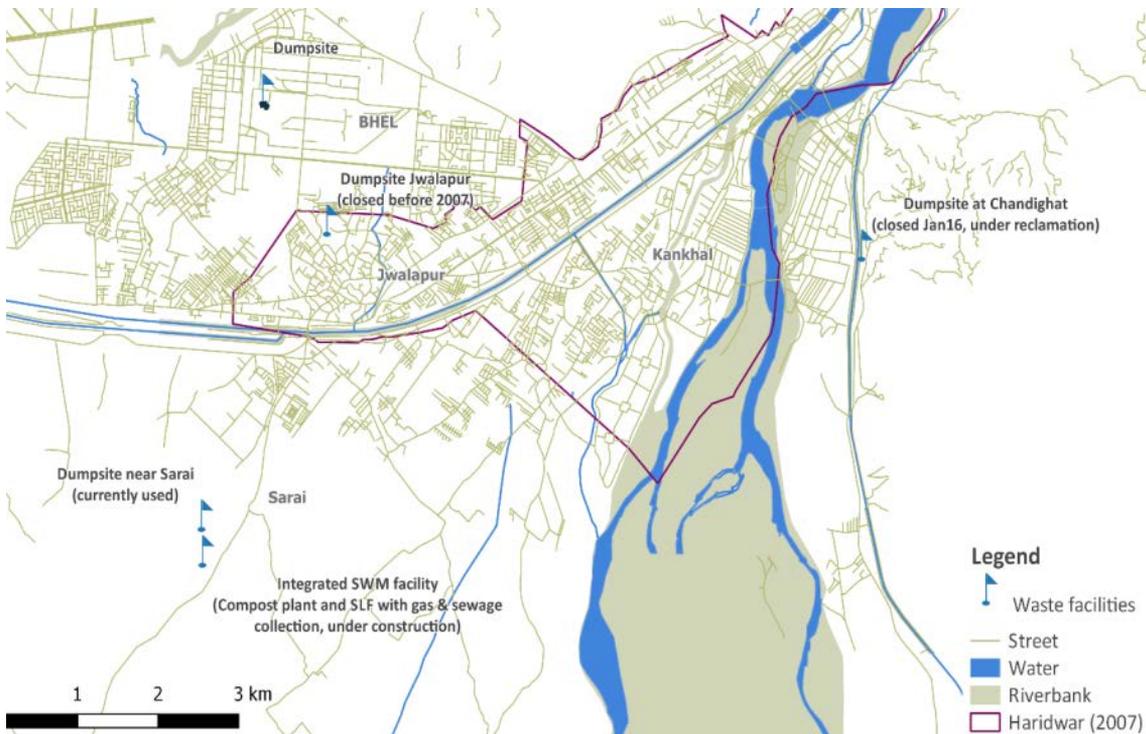
Abbildung 17: Aus offenen Kanälen entfernter Abfall und Schlamm



Fotos: ifeu

Im Jahr 2017 wurde Siedlungsabfall aus Haridwar auf einer Deponie bei Sarai entsorgt (siehe Abbildung 18). Die Nutzung der älteren Deponie Chandighat wurde 2015 verboten, und eine weitere Deponie in Jwalapur wurde bereits vor 2007 aufgegeben. Alle diese Deponien sind flach, nicht höher als 5 m und gänzlich unkontrolliert. Während des Besuchs im März 2017 waren auf der Deponie bei Sarai mehrere Schwelbrandstellen zu beobachten.

Abbildung 18: Deponien bei Haridwar



Kartografie: ifeu; Gemeindegrenzen basierend auf (GHK 2007); andere Geodaten basierend auf © OpenStreetMap contributors

Um die Einhaltung der SWM Rules zu erreichen, plante Haridwar eine neue integrierte Abfallwirtschaftsanlage, die teilweise im Rahmen des JNNURM-Projekts finanziert wurde. Als öffentlich-private Partnerschaft wurde die KRL mit dem Bau der Anlage beauftragt (Nagrath 2016, HMC 2016 & 2017).

Die Anlage wird eine geordnete Deponie sowie eine Kompostierungsanlage beinhalten und befindet sich ebenfalls in der Nähe von Sarai.

Die Kompostierungsanlage wurde für eine Kapazität von 100-150 t/d biologisch abbaubarem Abfall in einer ersten Phase von 2015 bis 2025 und 150-200 t/d in einer zweiten Phase von 2025 bis 2040 ausgelegt, während die Kapazität der Deponie 50 t/d betragen soll (MoEF 2015, CPCB 2016). Wertstoffe sind dazu bestimmt, getrennt erfasst und recycelt zu werden, so dass nur getrennt gesammelte inerte Materialien (hauptsächlich Boden vom Straßenkehren) für die Ablagerung auf der Deponie übrig bleiben. Darüber hinaus werden Sortierreste aus der Kompostierungsanlage auf der Deponie entsorgt (IPE 2009). Während des Besuchs im März 2017 befand sich die Kompostierungsanlage noch im Bau. Das Bild links in Abbildung 19 zeigt die betonierte Kompostmieten- und Trockenfläche und die überdachte Verarbeitungshalle im Hintergrund. Auf dem Bild rechts im Halleninneren sind die eingelassenen Halterungen für die Maschinen zu sehen, die eine Woche später installiert werden sollten.

Abbildung 19: Bauzustand der Kompostieranlage, März 2017



Fotos: ifeu

Der Bau der integrierten Abfallwirtschaftsanlage hat sich mangels ausreichender Finanzierung verzögert. Das JNNURM-Projekt endete im März 2015, als nicht einmal die Hälfte der Mittel für Haridwar's Projekt zugeteilt war. Der größte Teil der erhaltenen Mittel wurde für den Kauf von Geräten zur Sammlung und zum Transport von Abfällen verwendet. Seitdem hat die Landesregierung von Uttarakhand weitere Mittel für das Projekt bereitgestellt (Nagrath 2016).

## 6 Zusammenfassende Beobachtungen und Schlussfolgerungen im Hinblick auf Szenarien

Literaturrecherchen sowie Besuche und Interviews in den drei Städten zeigen, dass Abfallwirtschaft in Indien nach wie vor eine große Herausforderung ist. Es gibt viele sehr gute Initiativen an der Basis, die von NGO-Aktivitäten bis hin zu anderen privaten oder freiwilligen Initiativen wie "I got garbage" reichen. Aber kontinuierlich wachsende Abfallmengen und Veränderungen in der Abfallzusammensetzung durch Bevölkerungswachstum und Zuwanderung in die Städte sowie ein rascher Wandel im Lebensstil stellen große Schwierigkeiten dar.

### 6.1 Beobachtungen und Herausforderungen

Zusammenfassend wurde in der Phase der Informationsbeschaffung 2016/2017 im Rahmen des Vorhabens folgendes beobachtet.

Erstens sind Daten und Informationen, wenn überhaupt, nicht leicht verfügbar:

- Daten sind nicht auf einer aggregierten Ebene verfügbar;
- verschiedene Quellen schätzen unterschiedliche Abfallmengen, und der Verbleib der Abfälle ist teilweise nicht bekannt;
- Daten und Informationen über Siedlungsabfall, die von Massenabfallerzeugern erzeugt und von beauftragten Dienstleistern gesammelt, behandelt und entsorgt werden, werden nicht auf kommunaler Ebene erfasst, allerdings sind diese Daten grundsätzlich auf der Ebene der Dienstleister verfügbar;
- informelle Sammlung und Recycling werden nicht auf kommunaler Ebene erfasst, allerdings sind zum Teil Informationen verfügbar;
- die digitale Aufzeichnung der an den Behandlungsstandorten erfassten Daten und die Berichterstattung an die Behörden hat begonnen, jedoch gab es keine Informationen darüber, wie und auf welcher Ebene diese Daten zusammengestellt werden und für welche Zwecke sie verwendet werden;
- Daten über die Zusammensetzung oder Kenndaten der Abfälle sind aus einigen wenigen Studien verfügbar, die teilweise veraltet (vor etwa 10 Jahren veröffentlicht) und nicht repräsentativ sind, da nur wenige kleine einmalige Proben entnommen wurden;

Zweitens werden Abfallsammlung und -behandlung sowie Recycling- und Verwertungsverfahren in den 3 Städten angewendet, aber:

- relevante Abfallmengen werden immer noch nicht gesammelt, insbesondere in Bangalore und Haridwar;
- in allen 3 Städten (in Bangalore teilweise) werden die gesammelten Abfälle noch immer auf unhygienische Art entsorgt;
- die getrennte Erfassung hat im Allgemeinen begonnen, aber Behandlungsanlagen zur Aufnahme dieser Abfälle waren entweder noch nicht vorhanden oder funktionierten nicht ordnungsgemäß;
- die getrennte Erfassung insbesondere von Nassmüll (definiert als biologisch abbaubare Abfälle) aus Haushalten zeigte sich als schwer umsetzbar und noch immer als eher schlecht. Die Nassmüllfraktion bestand weiterhin aus Kunststoffen, Textilien und anderen anorganischen Abfällen;
- dieser Nass-/Mischabfall, der an mechanisch-biologische Behandlungsanlagen in Bangalore geliefert wurde, enthielt langes seilartiges Textilmaterial oder dekorative Blumengebinde, die die Trommeln regelmäßig verstopften und eine ordnungsgemäße Trennung von EBS und organischem Abfallstrom verhinderten, was zu Produkten minderer Qualität führte;
- andere Abfallfraktionen wie Styropor und Verpackungsabfälle, insbesondere dünne Plastiktüten, verursachen Probleme, da sie schwer zu recyceln sind und im Allgemeinen auf ungeordneten Deponien landen;
- dickere und höherwertige Kunststoffabfälle werden informell auch von Deponien gesammelt, granuliert und als Sekundärprodukt verkauft oder geschreddert und für den Straßenbau verwendet. Ein Teil der Kunststoffabfälle wird zur Mitverbrennung zu EBS verarbeitet;
- die Recyclingaktivitäten sind informelles Recycling, das in Indien eine lange Tradition hat, einschließlich der Haustürsammlung von Wertstoffen, der Sortierung und dem Handel mit Sekundärrohstoffen. Das informelle Recycling ist gut organisiert und marktorientiert, erfolgt aber teilweise unter gesundheitsschädlichen Arbeitsbedingungen.

Drittens, beobachtete administrative und politische Herausforderungen sind:

- eine hohe Personalfluktuation, die insbesondere in Bangalore zu beobachten war, erschwert die konsequente Umsetzung von Abfallwirtschaftsplänen;
- mangelnde Kapazitäten auf kommunaler Ebene sind nach wie vor ein Hindernis für die Implementierung integrierter Abfallwirtschaftssysteme;

- die Übertragung von mehr Verantwortlichkeiten auf die Abfallerzeuger wie Massenabfallerzeuger oder dezentrale Privatinitiativen trägt dazu bei, überlastete Behörden teilweise zu entlasten,
- aber das Fehlen verfügbarer Daten und/oder eines Überwachungssystems für alle Siedlungsabfallströme erschwert die Einschätzung oder Planung geeigneter Abfallbehandlungskapazitäten.

Die genannten Faktoren haben Einfluss auf die Genauigkeit der THG-Bilanz für den Status quo und die Optimierungsszenarien. Es ist offensichtlich, dass Abfalldaten von großer Bedeutung sind, nicht nur, um das Potenzial für die THG-Minderung aus dem Abfallsektor abzuschätzen. Daher mussten der Status quo und die Szenarien auf verschiedene Annahmen aufgesetzt werden. Der Einfluss von Daten auf das THG-Minderungspotenzial ist in Kapitel 9 weiter veranschaulicht.

## 6.2 Schlussfolgerungen und Annahmen für Szenarien

Das Status-quo-Szenario für die 3 Städte basiert auf den beobachteten Behandlungspraktiken, wie in Kapitel 5 beschrieben. Die Daten zur Abfallzusammensetzung wurden den verfügbaren, beschriebenen Literaturangaben entnommen, auch wenn diese nicht repräsentativ sind. Diese Daten werden benötigt, um (1) die relevanten Abfallkenndaten wie Kohlenstoffgehalt und Heizwert zu berechnen und (2) den potenziellen Wert der Siedlungsabfälle zu untersuchen. Der Anteil von Wertstoffen, Organik und anderen Fraktionen im Siedlungsabfall wird genutzt, um Möglichkeiten der Abfallbehandlung für die Optimierungsszenarien abzuleiten.

### 6.2.1 Begriffe und Definitionen

Grundsätzlich sind einige Definitionen und Aspekte für ein gemeinsames Verständnis der Szenarien zu klären.

1. Die Beobachtungen zur Trennung von Trocken- und **Nassabfall** gemäß der vorgegebenen Definition zeigten 2016/2017 deutliche Defizite. Um das Potenzial und die Grenzen für eine bessere Trennung zu veranschaulichen, wird der Begriff Nassabfall hier näher spezifiziert zu

- Nass-/Mischabfall
- Nass-/getrennt erfasster Organikabfall

"Nass/getrennt erfasster Organikabfall" wird nur verwendet, wenn von nahezu reinen organischen Abfällen die Rede ist, und "Nass/Mischabfall", wenn die Abfälle die Eigenschaft von Mischabfällen aufweisen, wie es in Bangalore und Haridwar der Fall war.

2. In Indien wird der Begriff **Kompostierung** oft gleichermaßen verwendet für die Behandlung von nass/getrennt erfasstem Organikabfall oder von Nass/Mischabfall. Um Missverständnisse zu vermeiden, unterscheiden wir in den Szenarien folgende Begriffe:

- Kompostierungsanlage
- mechanisch-biologische Behandlungsanlage (MBA)

Die "Kompostierung" adressiert ausschließlich die Behandlung von Nass/getrennt erfasstem Organikabfall, während der Begriff "MBA" für die Behandlung von Nass/Mischabfall verwendet wird.

3. In Indien wird die anaerobe Behandlung von Abfällen als "**Biomethanisierung**" bezeichnet. Dieser Begriff wird im Status-quo-Szenario für die bestehende Behandlung verwendet, wie sie in Kapitel 5 beschrieben ist. In den Optimierungsszenarien wird die anaerobe Behandlung von Nass/getrennt erfasstem Organikabfall auch als Option betrachtet. Diese Behandlung bezieht sich jedoch auf moderne Vergärungsanlagen mit geringen diffusen Methanemissionen, effizienter Biogasausbeute und Kompostierung des Gärrests, so dass hochwertiger Kompost erzeugt wird. Diese Behandlung wird in den Optimierungsszenarien als "**Bioabfallvergärung**" bezeichnet.

4. Die Outputs der MBAs in Indien sind typischerweise EBS, Kompost und Inertmaterial. Im Falle der in Bangalore besuchten MBAs waren EBS und Kompost von minderer Qualität, aufgrund der unzureichenden Separation. Daher werden im **Status-quo-Szenario** für die **MBA-Outputs** die folgenden Begriffe verwendet:

- "EBS, geringe Qualität", der im EBS-Lager gelagert oder deponiert wird
- "Kompost, geringe Qualität", der kaum vermarktungsfähig ist
- "stabilisierte Reste" und "inert"

"EBS, geringe Qualität" enthält noch einen erheblichen Anteil an organischem Material und die Depositionierung dieser Fraktion ist mit Methanentstehung verbunden. "Kompost, geringe Qualität" gilt als reif, aber mit niedrigem Nährstoffgehalt und potenziell mit Schadstoffen aus Mischabfällen kontaminiert. Daher wird diesem Kompost kein Nutzen zugeschrieben. "Stabilisierte Reste" bezieht sich auf ausge-reiftes organisches Material, das vom minderwertigen Kompost getrennt wird. Diese Output-Fraktion wird deponiert und verursacht immer noch Methanemissionen, jedoch in wesentlich geringerem Maße als nicht gereiftes organisches Material. "Inert" bezieht sich auf Sand und andere inerte Materialien, die nicht biologisch abbaubar sind und somit keine Methanemissionen aus der Deponierung erzeugen.

In den **Optimierungsszenarien** wird eine ordnungsgemäße mechanisch-biologische Behandlung von Nass-/Mischabfall mit den folgenden **MBA-Outputs** angenommen:

- "EBS, hohe Qualität", der als geeignet für die Mitverbrennung in Zementwerken angesehen wird
- "EBS, mittlere Qualität", der aufgrund des niedrigeren Heizwertes mit etwas geringerer Qualität angenommen wird, aber dennoch für die Verbrennung geeignet ist.
- "Stabilisierte Reste" und "inert"

Die beiden letztgenannten werden wie im Status-quo-Szenario charakterisiert. Es wird keine Komposterzeugung angenommen, da Kompost aus Mischabfällen von minderwertiger Qualität wäre.

5. In den Optimierungsszenarien bezieht sich der Begriff "**Kompost**" auf marktfähigen hochwertigen Kompost aus Kompostierung und/oder anaerober Vergärung mit Nachrotte von Nass/getrennt erfass-tem Organikabfall.

6. Die **Abfallverbrennung** wird als Option für bestimmte Abfallströme in den Optimierungsszenarien betrachtet. In der Regel hat Siedlungsabfall in Indien einen hohen organischen Gehalt (vgl. Kumar et al. 2009) und teilweise auch einen hohen inerten Anteil, die beide darauf hindeuten, dass Siedlungsabfall mehrheitlich nicht selbsttätig verbrennt und Stützbrennstoffe für die Abfallverbrennung benötigt würden. Müllverbrennungsanlagen (MVAs) z.B. in Deutschland verbrennen typischerweise Siedlungsab-fälle mit einem durchschnittlichen Heizwert im Bereich von 8-14 MJ/kg. EBS-Kraftwerke (WtE-Anlage für EBS) arbeiten auch mit einem höheren durchschnittlichen Heizwert, die Technologie ist jedoch die gleiche.

Wird die Abfallverbrennung in den Optimierungsszenarien berücksichtigt, wird grundsätzlich nicht davon ausgegangen, dass eine der Städte eine eigene Verbrennungsanlage bauen soll oder kann, da geeignete Abfallströme wahrscheinlich zu klein sind, um wirtschaftlich sinnvolle Anlagen zu installieren. Die einzige Ausnahme ist das Szenario 2b für Bangalore. Ansonsten werden vielmehr zwei alter-native Möglichkeiten angenommen:

a) Verbrennung von getrennt erfassten brennbaren Abfällen oder von Restnass-/Mischabfällen in einer sogenannten "**Cluster WtE**". Unter diesem Begriff versteht man ein Kooperationskonzept mehrerer Städte, wie es beispielsweise mit der WtE-Anlage in Jabalpur realisiert wurde. Eine Cluster WtE

bezieht Abfälle nicht nur aus einer Stadt, sondern aus mehreren Städten. Die Besonderheit besteht darin, dass die angelieferten Abfälle nur aus getrennt erfassten Abfallfraktionen bestehen, die für die Verbrennung geeignet sind. Als Alternative zur Städtekooperation könnte ein ausreichender Durchsatz an brennbarem Abfall auch durch die Akquise von brennbarem Abfall aus anderen Quellen wie Industrie- oder Gewerbeabfällen erzielt werden.

b) Mitverbrennung von "EBS, mittlere Qualität" sowie von Verunreinigungen oder Sortierresten, die von nass/getrennt erfassten Organikabfällen und von trockenen Abfällen abgetrennt wurden, in einer WtE-Anlage, die typischerweise z.B. landwirtschaftliche Rückstände verbrennt. Solche Anlagen sind in Indien eher verbreitet als MVAs. Darüber hinaus kann auch eine Mitverbrennung in einer bestehenden Cluster WtE möglich sein. In beiden Fällen müssten die Städte für die entsprechenden Verbrennungskapazitäten bezahlen.

In der THG-Berechnung wird der Wirkungsgrad der Energieerzeugung für die Cluster WtE und/oder WtE-Anlagen als gleichwertig mit dem aktuellen durchschnittlichen Wirkungsgrad von MVAs in Deutschland/Europa angenommen, mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von 12% und einem thermischen Wirkungsgrad von 30%.

### 6.2.2 Anwendungsbereich und Szenarienentwicklung

Der **Rahmen** der THG-Berechnungsszenarien konzentriert sich auf **Abfälle aus Haushalten in der Verantwortung der Behörden**. Weder Siedlungsabfälle von Massenabfallerzeugern noch vom informellen Sektor behandelte Siedlungsabfälle werden berücksichtigt, da weder ausreichende Daten über Abfallmengen noch über Behandlungswege verfügbar waren.

Das **Status-quo-Szenario** basiert auf den Abfallströmen, die von den Behörden und anderen Quellen stammen. Die Zusammensetzung der Abfälle wird aus den verfügbaren Literaturdaten entnommen, die in Tabelle 5 für Bangalore allgemein, in Tabelle 6 für Bhopal und in Tabelle 7 für Haridwar angegeben sind. Die wichtigsten Aspekte für die Status-quo-Szenarien der 3 Städte sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 11: Überblick Status-quo-Szenario und wichtigste Parameter für die 3 Städte

	Bangalore	Bhopal	Haridwar
Abfallaufkommen	4000 t/d	800 t/d	237 t/d
Sammelquote	80%	100%	72%
Getrennte Erfassung eingeleitet	ja	nein	ja
Behandlung gesammelte Abfälle	25% DWCC; 72,5% MBT; 2,5% Biomethanisierung	100% ungeordnete Deponierung	100% ungeordnete Deponierung
Hauptfraktionen Abfallzusammensetzung:			
Organikabfall (Essensreste, Grünabfall, Heu, Stroh, Holz)	59% <sup>1)</sup>	69% <sup>2)</sup>	50% <sup>3)</sup>
Wertstoffe (Papier, Kunststoffe, Textilien, Glas, Metalle)	33%	20%	23%
Inert (Sand, Schlick, Schutt)	5%	10%	24%
Abfallkenndaten für generierte Abfälle berechnet auf Basis der Zusammensetzung			
Heizwert [MJ/kg]	7,6	5,8	6,3
Fossiler Kohlenstoff [%]	6,8%	3%	5,6%
Regenerativer Kohlenstoff [%]	16,4%	17,1%	13,5%

1) 53% Organik und Gemüse + 6% Holz (Tabelle 8)

2) gerundeter Wert aus Essens- und Obstabfällen. Gartenschnitt und Heu, Stroh, Blättern und Holz aus Tabelle 9

3) gerundeter Wert aus biologisch abbaubaren Abfällen (außer toten Tieren) zuzüglich Holz aus der Tabelle 10

Aus den verfügbaren Informationen zum Abfallaufkommen wird der obere Wert für die Status-quo-Szenarien für Bangalore und Bhopal verwendet. Der Wert für Haridwar beinhaltet das geschätzte Abfallaufkommen aufgrund religiöser Feierlichkeiten. Die Abfallzusammensetzung der Städte zeigt einen vergleichsweise hohen Anteil an organischen Abfällen in Bhopal und einen vergleichsweise hohen Anteil an Inertabfällen in Haridwar. Beide Aspekte werden bei den Optimierungsszenarien berücksichtigt.

Bei der **Entwicklung der Optimierungsszenarien** wurden die folgenden Aspekte berücksichtigt:

- grundsätzlich zielen die Szenarien darauf ab, integrierte Abfallwirtschaftssysteme mit potenziellen Synergieeffekten für die THG-Minderung darzustellen;
- sie berücksichtigen die unterschiedlichen Siedlungsstrukturen der 3 Städte sowie bestehende Ansätze, Pläne und Regelungen, um so realistisch wie möglich zu sein;
- das THG-Minderungspotenzial basiert auf realisierbaren und realistischen Technologien und Betriebsbedingungen, die geeignet sind, die für die Outputmaterialien erforderliche Qualität zu erreichen;
- der potenzielle Anteil von Abfällen für das Recycling, für die Kompostierung oder für die Verbrennung basiert auf der Abfallzusammensetzung des Status quo (Bedingung der Ökobilanzmethode);
- die aufgezeigten THG-Minderungspotenziale sind nicht die maximal möglichen, sondern das realistisch Machbare in der näheren Zukunft.

Insgesamt werden 2 Optimierungsszenarien als schrittweiser Ansatz entwickelt, d.h. das Szenario 1 ist der erste Schritt zu einem weiter optimierten Szenario 2. Das bedeutet nicht, dass die Entwicklung des Abfallwirtschaftssystems an dieser Stelle stoppen könnte oder sollte. Integrierte Abfallwirtschaftssysteme können weitere Optimierungspotenziale bieten. Aber aufgrund der zuvor genannten Kriterien wurden praktikable anstelle von idealen Szenarien entwickelt.

**Deponiegaserfassung ist keine Option.** Zum einen ist die Deponierung von nicht behandelten verwertbaren Abfällen seit 2000 nach den SWM Rules (MoEF 2000, 2016) eigentlich nicht mehr zulässig. Obwohl immer noch beträchtliche Abfallmengen auf ungeordneten Deponien entsorgt werden, kämpfen die Behörden mit der Umsetzung konformer Behandlungsmöglichkeiten. Zum anderen sind bestehende Deponien kaum für die nachträgliche Installation einer Gaserfassung geeignet. Sie sind entweder meist unbeaufsichtigt und mehr oder weniger flach wie in Bangalore, Bhopal oder Haridwar oder sie sind aufgrund der Flächenknappheit sehr steil, wie es z.B. in Neu-Delhi beobachtet wurde. Darüber hinaus wirkte der auf der Deponie in Neu Delhi entsorgte Abfall sehr trocken und inert. Es wird angenommen, dass die Gasbildung schneller als üblich erfolgt. Auf jeden Fall wurde ein Testfeld für die Gaserfassung an dieser Deponie wegen einer geringen Gasausbeute aufgegeben.

## 7 Abfallwirtschaftsszenarien und THG-Berechnungen

Im Folgenden werden die entwickelten Abfallwirtschaftsszenarien sowie die Ergebnisse der THG-Berechnungen vorgestellt. Vor den THG-Ergebnissen werden allgemeine Annahmen für die Berechnungen erläutert.

### 7.1 Abfallwirtschaftsszenarien

Die entwickelten Szenarien werden kurz beschrieben und in sogenannten Sankey-Diagrammen dargestellt. Sankey-Diagramme stellen Massenströme proportional dar. Das heißt, die Breite der Pfeile entspricht der dahinterliegenden Masse. In den Sankey-Diagrammen werden die folgenden Hauptfarbcodes verwendet:

- braun: Siedlungsabfall, nicht gesammelt oder nicht getrennte oder schlecht getrennte Nass-/Misch- und Trockenabfälle
- grün: Nass/getrennt erfasster Organikabfall und Kompost
- Gelb: getrennte erfasste Trockenabfälle und Wertstoffe / Recycling

### 7.1.1 Allgemeine Annahmen für die Szenarien

Die wichtigsten Annahmen für die Status-quo-Szenarien werden in den Kapiteln für die Städte kurz wiederholt. Hier sind einige allgemeine Annahmen erläutert.

In allen Status-quo-Szenarien wird Siedlungsabfall teilweise oder vollständig auf ungeordneten Deponien abgelagert. Bei den Besuchen 2016 und 2017 wurden **Deponiebrände** in Bangalore (wilde Deponien in unbebauten Bereichen neben Straßen) und in Haridwar (Deponie Sarai) beobachtet. Obwohl dies in Bhopal nicht der Fall war, werden für alle Status-quo-Szenarien, bei denen Siedlungsabfall auf ungeordneten Deponien abgelagert wird, gleichermaßen 10% Deponiebrände angenommen.

Allgemeine Annahmen für die beiden Optimierungsszenarien sind in Tabelle 9 dargestellt. Die Optimierungsszenarien werden nach den in Kapitel 6.2.2. beschriebenen Kriterien entwickelt. Ein grundlegender Aspekt auf dem Weg zu einer integrierten Abfallwirtschaft ist die Umsetzung einer ordnungsgemäßen Abfallsammlung. Darüber hinaus wird die getrennte Erfassung als Schlüsselement für die eine funktionierende Abfallbehandlung und Qualitätsprodukte angesehen. Sortenrein getrennte Abfallfraktionen sind Voraussetzung für die Herstellung von Qualitätsprodukten. Nach den Erfahrungen in Deutschland ist es möglich, sortenrein getrennte Abfallfraktionen mit nur einem geringen Anteil an Restverunreinigungen (ca. 5%) durch getrennte Erfassung zu erreichen. Dies erfordert zwar Bildungs- und Beratungsleistungen für die Bürger sowie entsprechend ausgebildete Abfallsammler, aber es wird davon ausgegangen, dass es in S+E-Ländern wie Indien einfacher ist, diese umzusetzen als technische Lösungen. Darüber hinaus wären Hightech-Sortierlösungen nur für trockene Wertstoffe praktikabel. Hier können weitere Verbesserungen möglich sein, z.B. durch den Einsatz von automatischen Sortierereinheiten in einer modernen Sortieranlage (engl.: material recovery facility, MRF). Organische Abfälle müssen jedoch getrennt erfasst und nicht mit anderen Reststoffen vermischt werden, da dies die organische Fraktion irreversibel verunreinigen würde.

Daher wird bereits für Szenario 1 nicht nur von einer 100%igen Sammelquote ausgegangen, sondern auch von einer verbesserten getrennten Erfassung in moderatem Maße. Im Allgemeinen ermöglicht die getrennte Erfassung von nassen/organischen Abfällen die Herstellung von hochwertigem Kompost, für den die Anwendung in der Landwirtschaft angenommen wird. Die getrennte Erfassung von Wertstoffen ermöglicht höhere Recyclingquoten und die Anlieferung von minderwertigen Abfällen oder nicht recycelbaren Abfällen wird vermieden. Insbesondere für Bhopal wird von einer getrennten Erfassung von brennbaren Abfällen ausgegangen, da aus Interviews hervorging, dass Bhopal die Umsetzung eines Cluster-WtE-Konzeptes in Zusammenarbeit mit anderen Städten in Betracht zieht.

Für die verbleibenden restlichen Nass-/Mischabfälle wird eine mechanisch-biologische Behandlung angenommen, da diese Art der Behandlung in Indien am besten akzeptiert wird. Um ein Verstopfen der Trommelsiebe, wie in Bangalore beobachtet, zu vermeiden, können problematische Abfallfraktionen entweder manuell – wenn möglich bereits mit der getrennten Erfassung – oder durch technische Lösungen entfernt werden. Dies ermöglicht eine ordnungsgemäße Separierung von EBS und einer organischen Fraktion. Die so abgetrennten EBS können zur Mitverbrennung in Zementwerken oder in WtE-Anlagen weiter aufbereitet werden. Die organische Fraktion kann durch eine biologische Behandlung stabilisiert werden. Obwohl der stabilisierte feste Rückstand nicht als Qualitätskompost geeignet ist, ist dessen Ablagerung im Vergleich zur Ablagerung von unbehandelten organischen Abfällen mit einer deutlich reduzierten Methanbildung verbunden. In Haridwar kann die im Bau befindliche Abfallwirtschaftsanlage genutzt werden, um sowohl die getrennt erfassten Nass-/Organikabfälle als auch die

Nass-/Mischabfälle in einem Zwei-Linien-Betrieb zu behandeln. Von den Abmessungen der Anlage her gibt es dafür genügend Platz, aber es muss darauf geachtet werden, dass sich die beiden Abfallströme nicht vermischen. Daher ist die mechanische Aufbereitung den Nass-/Mischabfällen vorbehalten, um Wertstoffe zu entfernen. Die sortenrein getrennt erfassten Nass-/Organikabfälle werden direkt kompostiert.

Tabelle 12: Überblick Annahmen für Optimierungsszenarien

Szenario 1 (1. Schritt)	Szenario 2 (2. Schritt)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100% Sammelquote</li> <li>• (verbesserte) getrennte Erfassung                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• von Nass/Organikabfall mit Erzeugung hochwertigen Komposts in Haridwar, teilweise in Bhopal und Bangalore</li> <li>• von Wertstoffen in Haridwar und Bhopal; in Bangalore von Trockenabfällen mit optimierter Sortierung (z.B. MRF)</li> <li>• von brennbaren Abfällen in Bhopal, die zu einer Cluster-WtE verbracht werden ("Jabalpur-Konzept")</li> </ul> </li> <li>• optimierte Behandlung von restlichen Nass-/Mischabfällen, manuelle oder technische Abtrennung problematischer Fraktionen zur Herstellung von hochwertigem EBS für die Mitverbrennung und EBS für WtE-Anlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Bhopal und Bangalore Steigerung der getrennten Erfassung von Nass-/Organikabfall: 70% Kompostierung, 30% Bioabfallvergärung -&gt; Restabfallfraktion reduziert und weniger nass</li> <li>• für Bangalore zusätzliches Szenario 2b mit Cluster-WtE für Nass-/Mischabfälle anstelle von optimierter MBA</li> <li>• in Haridwar Ausschluss von Inertmaterial (Schlick) aus dem Siedlungsabfallstrom durch optimierte Haustürsammlung, bewirkt:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung Recycling</li> <li>• Reduktion von Wegwerfplätzen</li> <li>• Minimierung Meeresverschmutzung</li> </ul> </li> </ul>

Für das Szenario 2 werden die Anstrengungen zur getrennten Erfassung von Nass-/Organikabfällen für Bhopal und Bangalore erhöht. Darüber hinaus wird dieser Abfallstrom teilweise in modernen emissionsarmen Bioabfallvergärungsanlagen behandelt. So wird nicht nur Kompost produziert, sondern auch der Energieinhalt der organischen Abfälle genutzt und Biogas erzeugt, das zur Energieerzeugung in BHKW eingesetzt wird. Für Bangalore werden zwei alternative Szenarien betrachtet. Szenario 2a, in dem die verbleibenden restlichen Nass-/Mischabfälle weiterhin in einer MBA behandelt werden. und Szenario 2b, in dem diese Fraktion stattdessen in einer WtE-Anlage verbrannt wird. Das Szenario 2 für Haridwar berücksichtigt den vergleichsweise hohen Anteil von Inertmaterial in der Abfallzusammensetzung. Dies ist die Folge von Schlick aus offenen Kanälen, der mit den eingetragenen Abfällen vermischt und herausgeholt wird. In Szenario 2 wird der Ausschluss dieses Schlammmaterials durch 0% verstreutes Wegwerfen von Abfällen angenommen. So werden nicht nur Wegwerfplätze vermieden und die Recyclingquote erhöht, sondern auch und vor allem die Meeresverschmutzung verhindert.

In allen Fällen werden die angenommenen Massenströme für die Optimierungsszenarien aus den Abfallzusammensetzungen der 3 Städte abgeleitet und die Abfalleigenschaften berücksichtigt. Die Sankey-Diagramme für die Szenarien sind in den folgenden Kapiteln für die 3 Städte dargestellt.

### 7.1.2 Bangalore

Das Status-quo-Szenario basiert auf den 2016/2017 erhobenen Daten und Informationen. Die wichtigsten Aspekte sind (siehe auch unterstrichene Passagen im Kapitel 5.1.3):

- ▶ Abfallaufkommen: 4000 t/d (oberer Wert für Siedlungsabfall aus der Literatur);
- ▶ 20% nicht gesammelte Abfälle, davon 90% deponiert, 8% offen verbrannt, 2% Eigenkompostierung;
- ▶ 80% gesammelte Abfälle, davon 25% Trockenabfall und 75% Nass-/Mischabfälle;

- ▶ DWCC: 30% nicht akzeptiert und deponiert, 70% behandelt; Output: 80% Wertstoffe, die an den Recyclingmarkt verkauft werden und 20% Sortierreste zur Deponierung;
- ▶ MBA: 10% nicht verarbeitet und deponiert, 90% behandelt; Output: 20% minderwertige EBS, 20% minderwertige Komposte, 15% stabilisierte feste Rückstände, 10% inert, 35% Verluste; Output wird grundsätzlich gelagert oder deponiert, Kompost teilweise zu einem niedrigen Preis verkauft;
- ▶ kleinskalige Biomethanisierungsanlagen sind enthalten, aber es wird kein Nutzen angerechnet;
- ▶ kleinskalige Kompostierung, die von NGOs betrieben wird, ist nicht enthalten, da dies außerhalb des Untersuchungsrahmens liegt;
- ▶ für die Abfallentsorgung auf ungeordneten Deponien werden 10% Deponiebrände angenommen.

Das Sankey-Diagramm für das Status-quo-Szenario zeigt Abbildung 20. Die Sankey-Diagramme für die Optimierungsszenarien sind in den Abbildungen 21 bis 23 dargestellt. Für Szenario 1 ist der moderate Anstieg der Nass-/getrennt erfassten Organikabfälle offensichtlich, der mit 15% der erzeugten Abfälle angenommen ist. In Szenario 2 (sowohl a als auch b) wird eine Steigerung der getrennten Erfassung von Nass-/Organikabfällen auf 40% angenommen, wobei 70% kompostiert und 30% vergoren werden. Darüber hinaus spiegeln sich die 100%ige Sammelquote und die verbesserte getrennte Erfassung von Trockenabfällen, die im Szenario 1 zu 25% der erzeugten Abfälle angenommen wird und im Szenario 2 nicht verändert ist, durch den gelben Pfeil wider. Die Verbesserungen bei der Sammlung und Trennung von Abfällen führen zu einer reduzierten Nass-/Mischabfallfraktion, die in Szenario 1 bereits auf 60% des Abfallaufkommens reduziert wird und in Szenario 2 weiter auf 35%.

Abbildung 20: Sankey-Diagramm Status-quo Bangalore

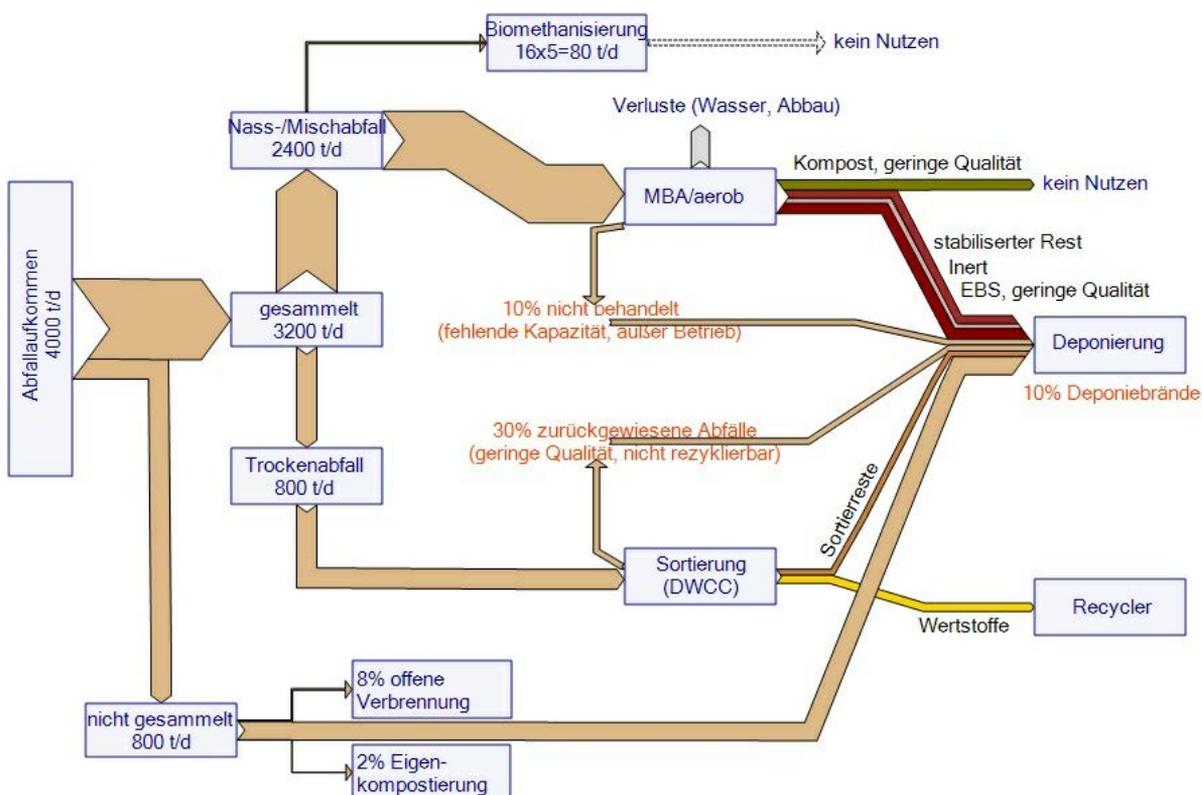


Abbildung 21: Sankey-Diagramm Szenario 1 Bangalore

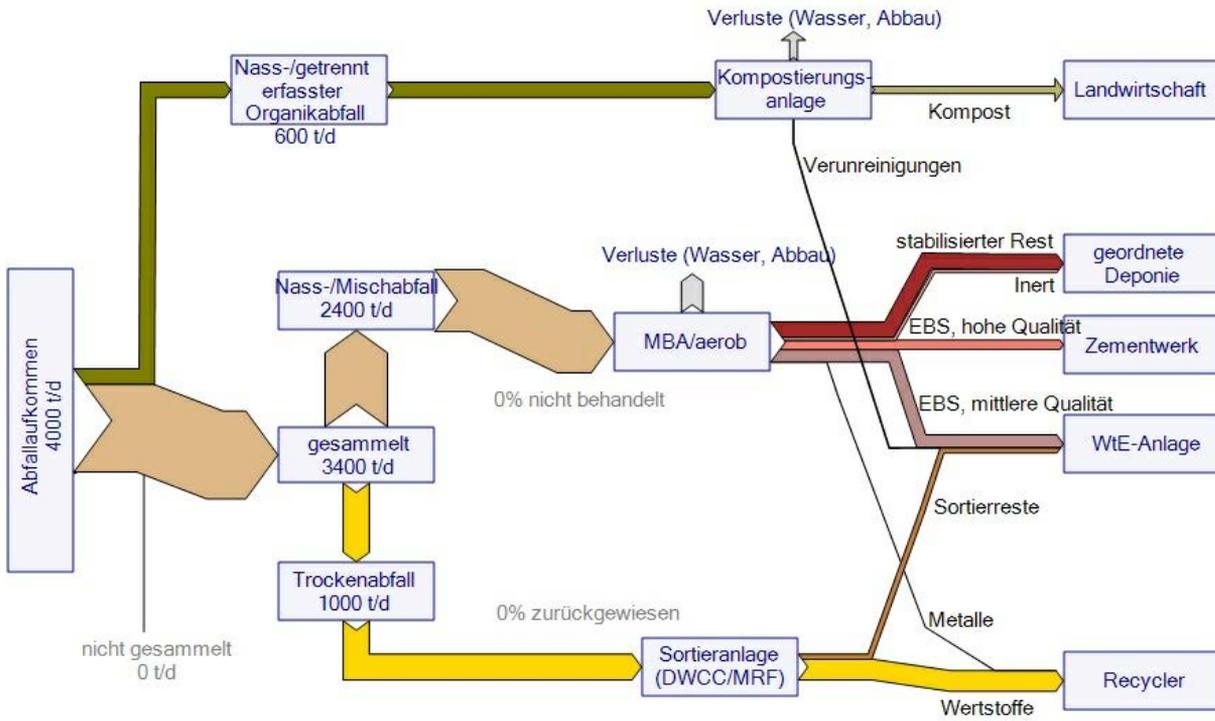


Abbildung 22: Sankey-Diagramm Szenario 2a Bangalore

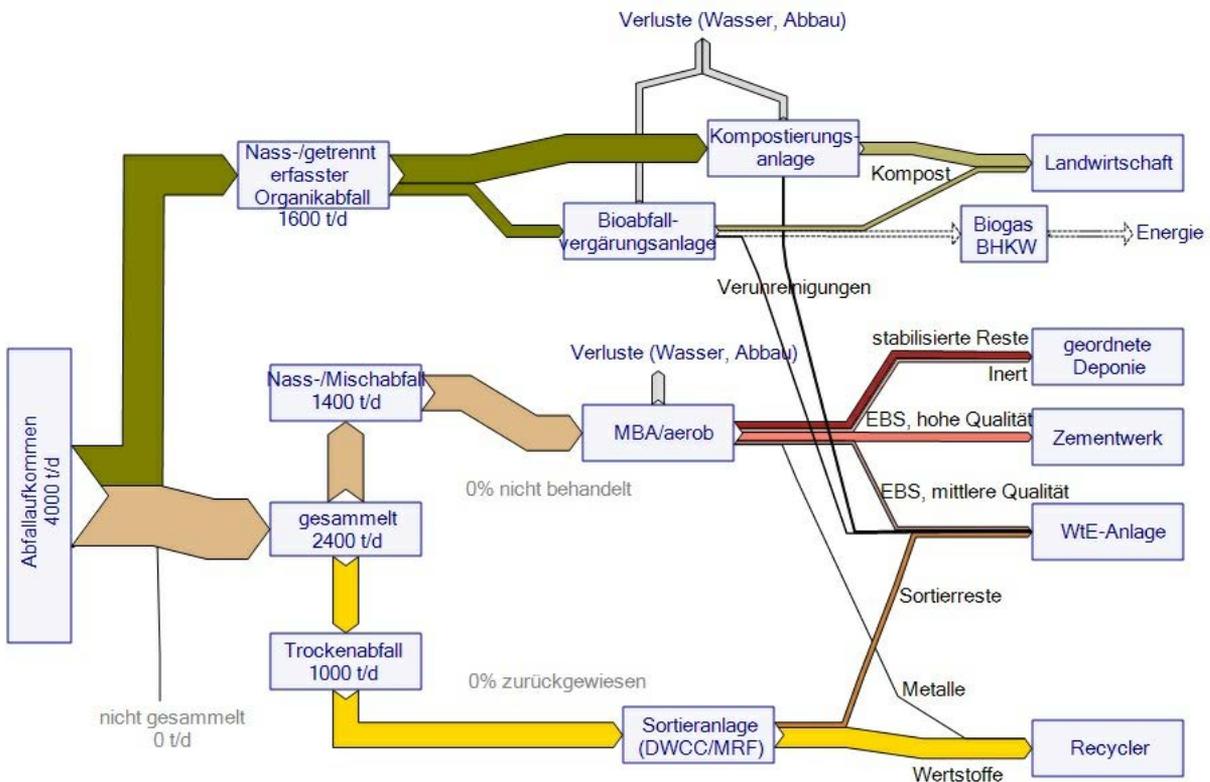
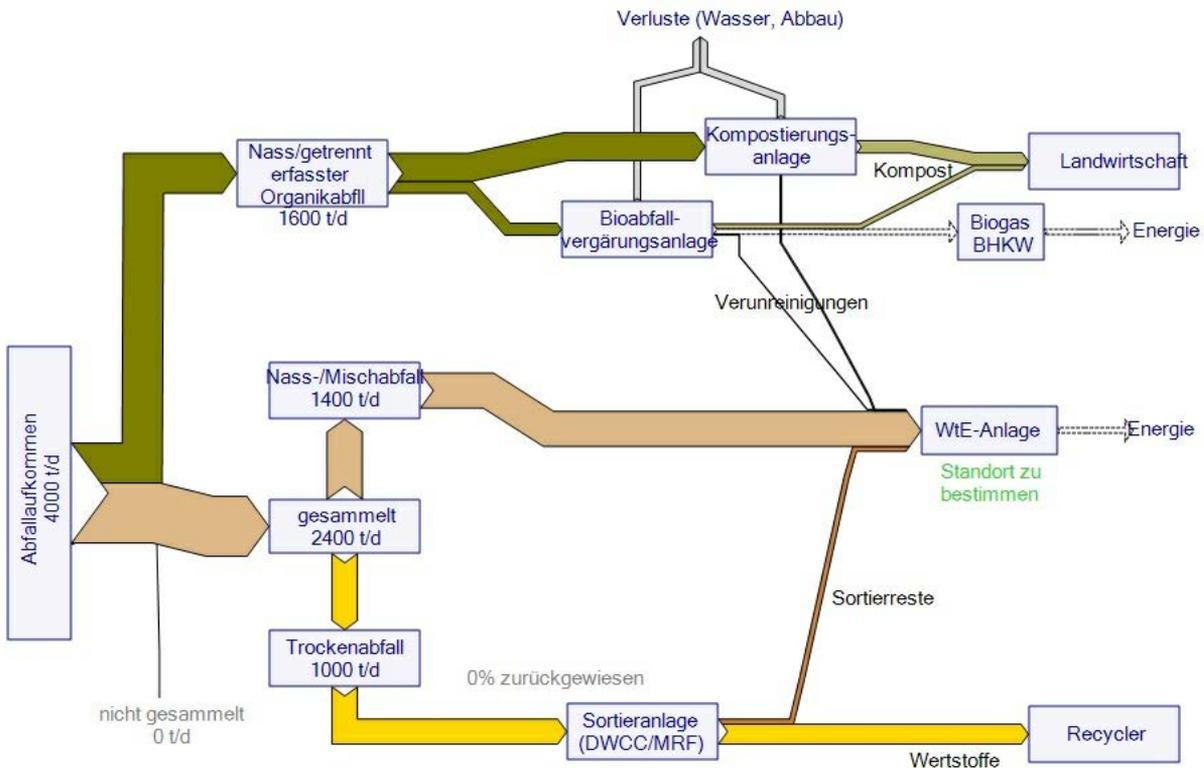


Abbildung 23: Sankey-Diagramm Szenario 2b Bangalore



Die Verbesserung des MBA-Prozesses führt zur Herstellung von verbrennungsfähigen EBS, einem stabilisierten festen Rückstand und einer inerten Fraktion. In den beiden Szenarien 1 und 2a sind die Outputverhältnisse mit 35% EBS und 30% stabilisiertem Rest und Inertmaterial gleich. Zusätzlich wird eine mechanische Trennung von 0,3% Metallen angenommen. Die verbleibende Differenz zu 100% Inputmaterial resultiert aus Verlusten durch Wasserverdampfung und Abbau von organischem Material. Der Unterschied zwischen Szenario 1 und 2a ergibt sich aus dem weiteren Anstieg von Nass-/getrennt erfasstem Organikabfall und einer umgekehrt reduzierten Nass-/Mischabfallfraktion. Abgesehen von den absoluten Werten spiegelt sich dies in der produzierten EBS-Qualität wider, die in Szenario 1 als 15% hochwertige EBS und 20% mittlere EBS-Qualität angenommen wird, und 25% hochwertige EBS und 10% mittlere EBS-Qualität in Szenario 2a aufgrund des geringen Organikanteils im verbleibenden Nass-/Mischabfall für Szenario 2.

Im Gegensatz zu Szenario 2a geht das Szenario 2b nicht von einer mechanisch-biologischen Behandlung der verbleibenden Nass-/Mischabfälle aus, sondern von einer Verbrennung in einer neu zu errichtenden WtE-Anlage. Der Standort für diese WtE-Anlage kann aufgrund der Platzknappheit in und um Bangalore schwer zu bestimmen sein, was im Sankey-Diagramm mit "Standort zu bestimmen" gekennzeichnet ist. In den THG-Berechnungen wird eine Transportentfernung von 100 km angenommen. Mit 1400 t/d und/oder > 500000 t/a ist dieser Abfallstrom groß genug, um eine neue städtische WtE-Anlage zu betreiben. Der berechnete Heizwert dieser Fraktion liegt jedoch mit ca. 7,4 MJ/kg am unteren Ende der für die Abfallverbrennung geeigneten typischen Durchschnittswerte (8-14 MJ/kg) aufgrund des noch relevanten Anteils an organischem Material (ca. 50%). Dennoch wird das Szenario 2b als Alternative berechnet, da die Erzeugung hochwertiger EBS-Fraktionen mit hohem Sortieraufwand und dem Bedarf an Mitverbrennungskapazitäten verbunden ist. Generell können die THG-Ergebnisse nur eine Orientierung über den potenziellen THG-Minderungseffekt geben, da die Berechnungen hauptsächlich auf Annahmen basieren mussten.

### 7.1.3 Bhopal

Das Status-quo-Szenario für Bhopal basiert auf den 2017 erhobenen Daten und Informationen. Die wichtigsten Aspekte sind (siehe auch unterstrichene Passagen im Kapitel 5.2.3):

- ▶ Abfallaufkommen: 800 t/d (oberer Wert für Siedlungsabfälle aus der Literatur);
- ▶ 100% gesammelte Abfälle, 100% Mischabfälle;
- ▶ 100%ige Entsorgung auf einer ungeordneten Deponie;
- ▶ informelle Aktivitäten wie Kunststoffrecycling oder kleinskalige Kompostierung und Biometanisierung, die von NGOs betrieben werden, sind nicht enthalten, da außerhalb des Untersuchungsrahmens; auch die Herstellung von Düngemitteln aus deponierten Abfällen wird nicht berücksichtigt, da dies sehr spezifisch ist und nur kleine Abfallmengen betrifft, die in der Vergangenheit erzeugt und abgelagert wurden;
- ▶ für die Entsorgung von Siedlungsabfall auf der Deponie Bhanpura werden (wie generell bei ungeordneter Deponierung) 10% Deponiebrände angenommen.

Das Sankey-Diagramm für das Status-quo-Szenario zeigt Abbildung 24. Die Sankey-Diagramme für die Optimierungsszenarien sind in Abbildung 25 und 26 dargestellt. In Szenario 1 wird davon ausgegangen, dass die getrennte Erfassung der anfallenden Abfälle für 30% Nass-/Organikabfälle, 15% Wertstoffe und 20% brennbare Abfälle für die angenommene Cluster WtE realisiert werden kann. Der Standort für diese neu zu bauende Cluster-WtE müsste bestimmt werden ("Standort zu bestimmen"). Die Transportentfernung ist in der THG-Berechnung mit 100 km angenommen. Da Transporte in den THG-Bilanzen jedoch typischerweise nur von untergeordneter Bedeutung sind, würden größere Entfernungen die Ergebnisse nicht wesentlich verändern.

Die 35% verbleibenden Nass-/Mischabfälle, die in einer MBA behandelt werden, werden zu 20% EBS mittlerer Qualität für die Mitverbrennung in einer Cluster WtE und 45% stabilisiertem Rest und Inertmaterial verarbeitet. Darüber hinaus wird die Abtrennung von 1% Metallen angenommen, so dass 34% Verluste verbleiben. Der vergleichsweise hohe Anteil an stabilisierten festen Rückständen wird aufgrund des relativ hohen Anteils an organischen Abfällen in der Abfallzusammensetzung für Bhopal berücksichtigt.

Der einzige Unterschied in Szenario 2 gegenüber Szenario 1 besteht in einer angenommenen Steigerung der Nass-/getrennt erfassten Organikabfälle auf 50% des Abfallaufkommens, von denen 70% kompostiert und 30% vergoren werden. Dadurch wird die verbleibende Nass-/Mischabfallfraktion für MBA auf 15% reduziert. Da diese Abfallfraktion einen reduzierten organischen Gehalt aufweist, ist die MBA-Ausbeute auf 30% EBS mittlerer Qualität für die Mitverbrennung im Cluster-WtE und 40% stabilisierte Reste und Inertmaterialien angepasst. Die Metallabscheidung bleibt bei 1% des Inputs, so dass 29% Verluste verbleiben.

Abbildung 24: Sankey-Diagramm Status-quo Bhopal

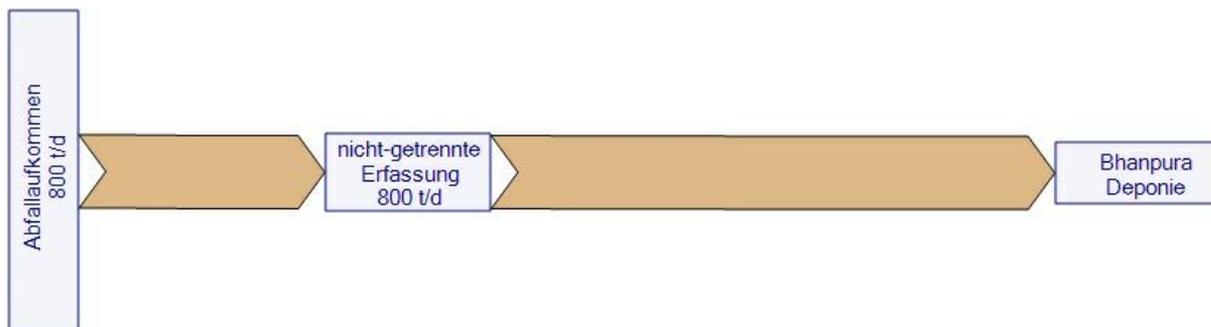


Abbildung 25: Sankey-Diagramm Szenario 1 Bhopal

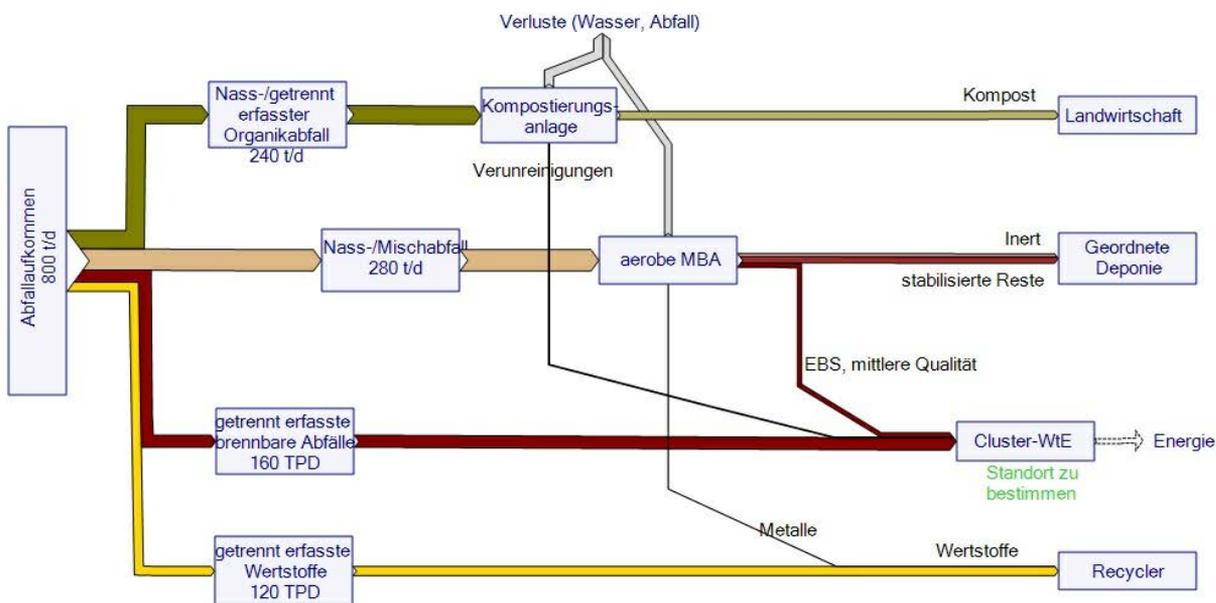
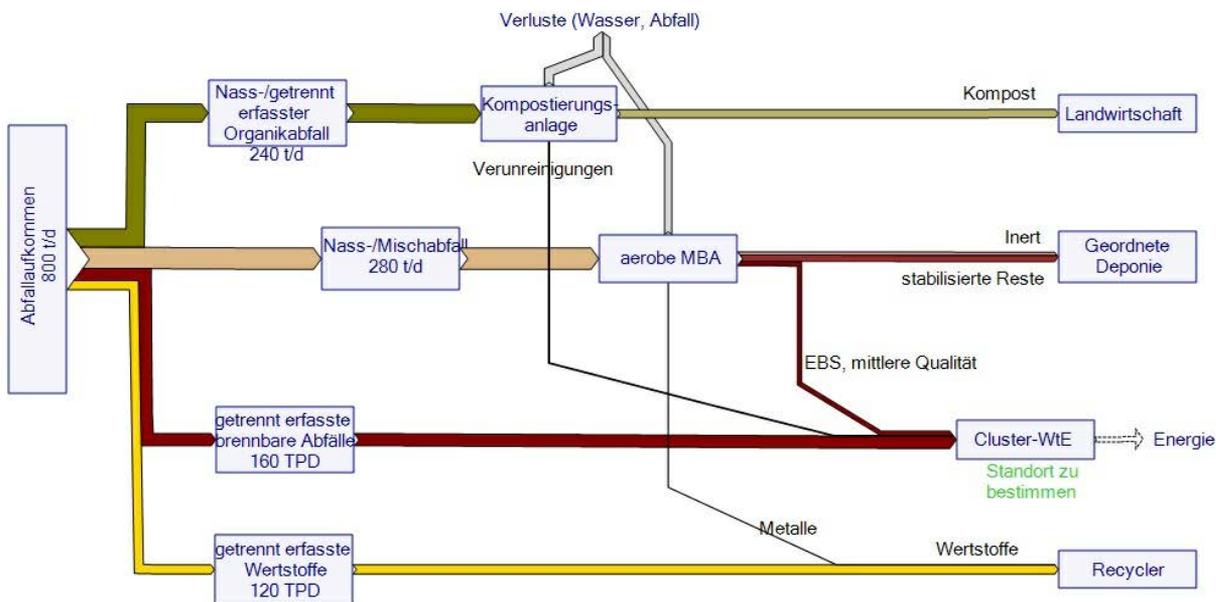


Abbildung 26: Sankey-Diagramm Szenario 2 Bhopal



### 7.1.4 Haridwar

Das Status-quo-Szenario basiert auf den 2017 erhobenen Daten und Informationen. Die wichtigsten Punkte sind (siehe auch unterstrichene Passagen im Kapitel 5.3.3):

- ▶ Abfallaufkommen: 237 t/d (beinhaltet geschätztes Aufkommen aufgrund religiöser Feierlichkeiten);
- ▶ 67 t/d nicht gesammelte Abfälle, 100% verstreut weggeworfen;
- ▶ 170 t/d gesammelte Abfälle (Sammelquote 72%), davon 110 t/d getrennt erfasst und 60 t/d nicht getrennt;
- ▶ 100%ige Entsorgung auf einer ungeordneten Deponie
- ▶ informelle Recyclingaktivitäten wie die beobachtete Wertstoffsammlung von der Deponie werden nicht berücksichtigt, da sie außerhalb des Untersuchungsrahmens liegen;

- für die Entsorgung von Siedlungsabfall auf der Deponie Sarai werden (wie generell bei ungeordneter Deponierung) 10% Deponiebrände angenommen.

Das Sankey-Diagramm für das Status-quo-Szenario zeigt Abbildung 27. Die verstreut weggeworfenen nicht gesammelten Abfälle verursachen keine Methanemissionen aufgrund aerober Bedingungen. Diese Praxis sollte jedoch unbedingt vermieden werden, da dies ernsthafte Gefahren für die menschliche Gesundheit und die Umwelt verursachen kann. Besonders in Haridwar ist das verstreute Wegwerfen ein schwerwiegendes Problem, da Abfälle in den Fluss Ganges entsorgt werden, was nicht nur das Wasser verunreinigt, sondern auch den Plastikmüll im Meer erhöht.

Die Sankey-Diagramme für die Optimierungsszenarien sind in Abbildung 28 und 29 dargestellt. In beiden Szenarien wird davon ausgegangen, dass eine 45%ige getrennte Erfassung von nassen/organischen Abfällen realisiert werden kann. In Szenario 1 wird der Anteil der getrennt erfassten Wertstoffe mit 10% angenommen, so dass 45% der restlichen Nass-/Mischabfälle für die mechanisch-biologische Behandlung verbleiben. Die Zahlen für Szenario 1 und 2 verdeutlichen auch die Annahme, dass Nass-/getrennt erfasster Organikabfall und verbleibender Nass-/Mischabfall in der im Bau befindlichen Abfallwirtschaftsanlage (Abbildung 19) im 2-Linien-Betrieb verarbeitet werden können. Die Vermischung der beiden Abfallströme muss vermieden werden, um aus dem Nass-/getrennt erfassten Organikabfall hochwertigen Kompost erzeugen zu können.

Im Szenario 2 wird davon ausgegangen, dass das verstreute Wegwerfen von Abfällen vollständig gestoppt wird, d.h. es werden keine Abfälle mehr in die offenen Kanäle eingetragen und mit Schlick vermischt. Der Schlick wird im Szenario noch berücksichtigt, obwohl er nicht mehr Teil der Siedlungsabfälle ist. Dies ist eine Anforderung der Ökobilanzmethode, dass Szenarienvergleiche nur bei konstanten Gesamtabfallmengen erlaubt sind. Allerdings trägt das inerte Schlickmaterial, für das eine Deponierung angenommen wurde, nicht zu den THG-Emissionen bei. Andererseits erlaubt der Ausschluss des Schlickmaterials aus dem Siedlungsabfall höhere Recyclingquoten, und zusammengenommen führt dies zu einer deutlich geringeren verbleibenden Nass-/Mischabfallfraktion in Szenario 2. Letztere kann auf 23% des gesamten Abfallaufkommens reduziert und die getrennt erfassten Wertstoffe auf 15% erhöht werden.

Obwohl für Haridwar keine Bioabfallvergärung angenommen wird, da die Investition in eine moderne emissionsarme Anlage für kleinere Städte möglicherweise nicht realisierbar ist, kann dies dennoch z.B. durch Mitbehandlung in Vergärungsanlagen, die z.B. Energiepflanzen und/oder landwirtschaftliche Reststoffe verarbeiten, geschehen. Um jedoch hohe Methanemissionen zu vermeiden, sollte eine solche Anlage mit einer gasdichten Gärrestlagerung ausgestattet sein.

Die Zusammenarbeit mit dem Agrarsektor kann auch bei der Mitverbrennung möglich sein. Die Sortierreste, für die in den Szenarien für Haridwar eine geordnete Deponierung angenommen ist, könnten alternativ mitverbrannt werden, z.B. in WtE-Anlagen für landwirtschaftliche Reststoffe. Obwohl dies in den Szenarien nicht berücksichtigt wird, da der Rahmen auf Siedlungsabfälle in der Verantwortung der Behörden beschränkt ist, könnte dies zu einer weiteren Erhöhung der potenziellen THG-Minderung führen. Die Kommunen könnten dies berücksichtigen und versuchen, sich über Möglichkeiten der Mitbehandlung oder der Zusammenarbeit zu informieren.

Abbildung 27: Sankey-Diagramm Status-quo Haridwar

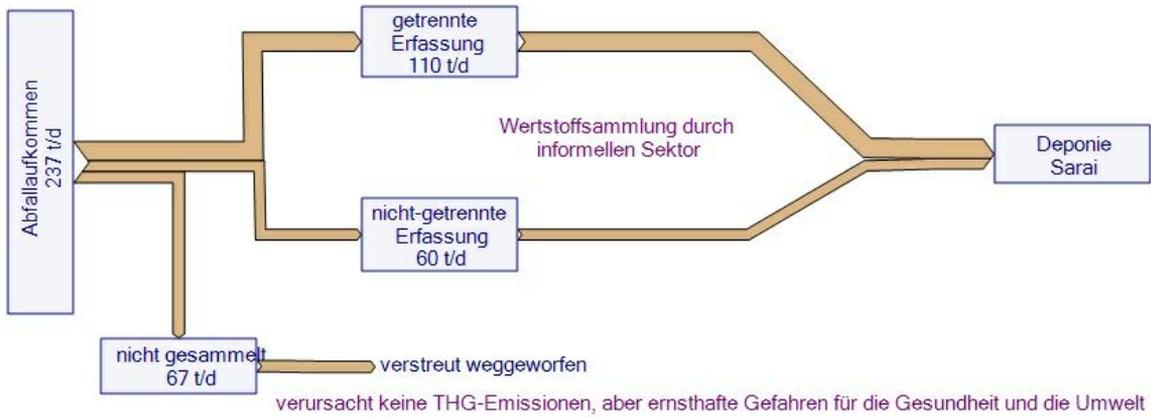


Abbildung 28: Sankey-Diagramm Szenario 1 Haridwar

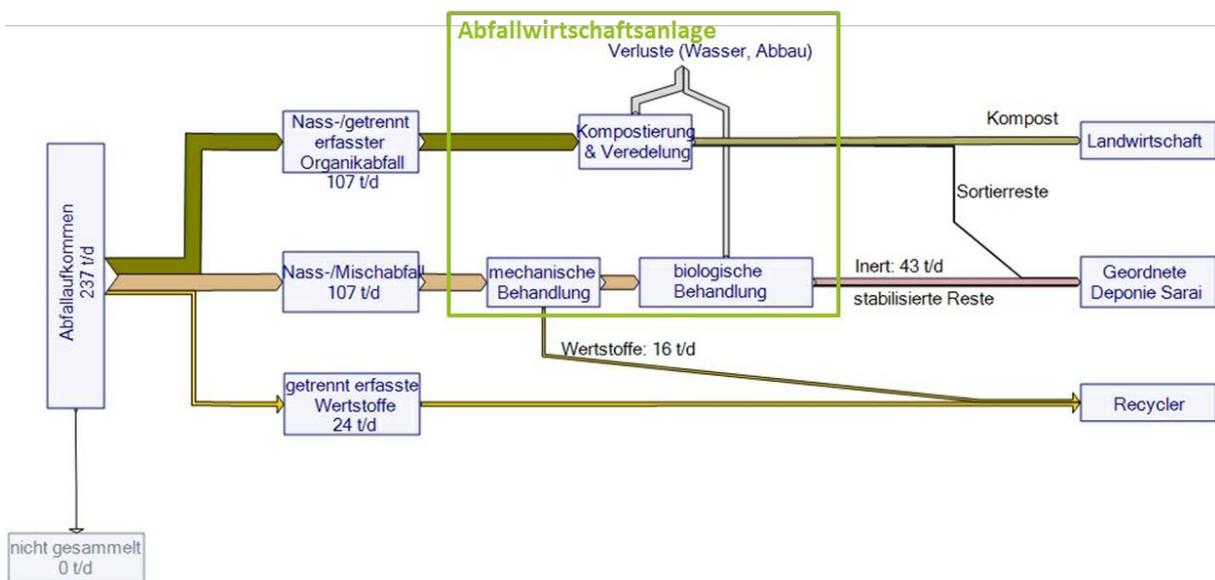
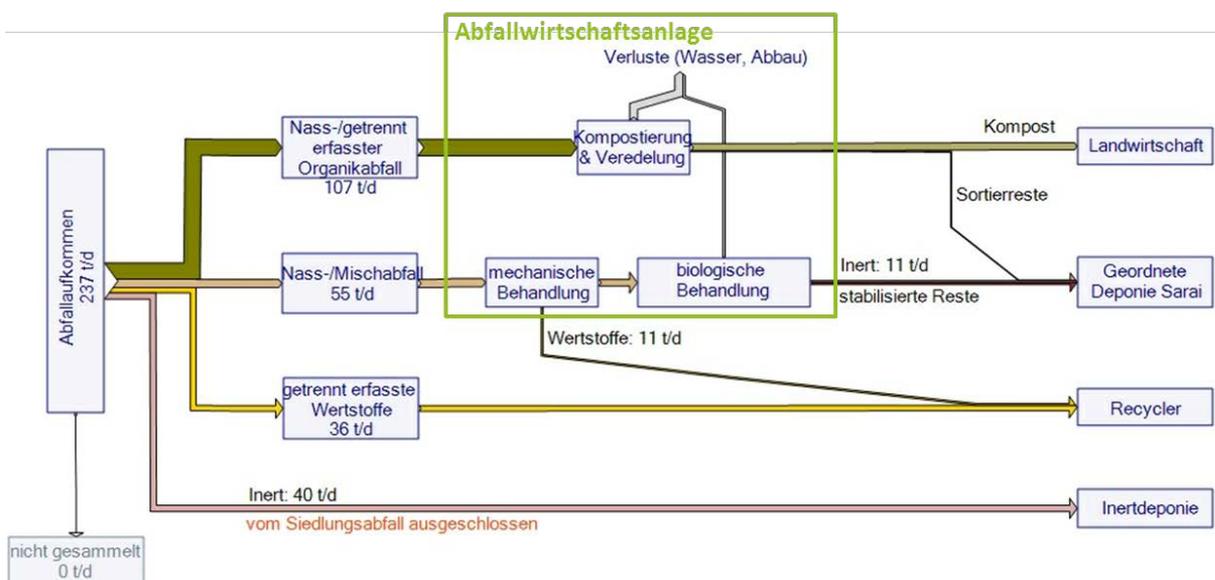


Abbildung 29: Sankey-Diagramm Szenario 2 Haridwar



## 7.2 THG-Berechnungen und Ergebnisse

Allgemeine Annahmen und relevante Parameter für die Berechnung sind in Kapitel 7.2.1 erläutert. Die THG-Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln in Form von zwei Diagrammtypen dargestellt: (1) in sogenannten sektoralen Balkendiagrammen und (2) in Balkendiagrammen mit absoluten und spezifischen Nettoergebnissen (pro Tonne Abfall und pro Kopf).

### Lesehinweise für die sektoralen Balkendiagramme:

- ▶ Die Ergebnisse werden in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>Äq) pro Jahr angegeben, die das Treibhauspotenzial der THG-Emissionen darstellen, berechnet mit den aktuellen Charakterisierungsfaktoren nach IPCC (2013) (siehe Kapitel 13.1.3);
- ▶ die Ergebnisse bestehen aus einem ersten Balken mit positiven und negativen Werten, unterteilt in Sektoren und einem zweiten Balken mit Nettoergebnissen (Differenz zwischen positiven und negativen Werten);
- ▶ positive Werte spiegeln die direkten Emissionen der Abfallwirtschaft wie Methanemissionen aus der Deponierung oder fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung wider;
- ▶ negative Werte spiegeln potenziell vermiedene Emissionen durch Energieerzeugung und Sekundärprodukte wie Kompost oder rezyklierte Materialien wider, die das Potenzial haben, die Primärerzeugung in anderen Sektoren als dem Abfallsektor zu ersetzen (weitere Erläuterungen siehe Kapitel 13.1.1).

Sowohl in den sektoralen Balkendiagrammen als auch in den Diagrammen mit absoluten und spezifischen Nettoergebnissen werden "genaue" Zahlen für die Nettoergebnisse dargestellt. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die THG-Ergebnisse auf einer Reihe von Annahmen beruhen und keineswegs genau sind. Dies gilt auch für die sektoralen Ergebnisse, die in den Tabellen im Anhang Kapitel 13.2. aufgeführt sind. Die Ergebnisse können als gute Orientierung dienen, aber solange keine zuverlässigen Eingangsdaten verfügbar sind, können sie nicht genau sein. Dies ist auch der Grund, warum gerundete Zahlen verwendet werden, um das Potenzial auf nationaler Ebene in Kapitel 8 zu diskutieren, und warum der Einfluss von Eingangsdaten in Kapitel 9 hervorgehoben wird.

### 7.2.1 Annahmen für die Berechnung

Allgemeine Annahmen und Hintergrundinformationen zur Ökobilanzmethode und für die Berechnungen verwendete Daten sind im Anhang, Kapitel 13.1. aufgeführt. Neben den Massenströmen und damit dem Verbleib der Abfälle ergeben sich die Haupteinflüsse auf die Ergebnisse aus den Substitutionsprozessen (Emissionsfaktoren für die potenziell vermiedene Primärproduktion und konventionelle Energieerzeugung) und den Eigenschaften der Abfallfraktionen wie insbesondere regenerativer und fossiler Kohlenstoffgehalt und Heizwert. Aufgrund fehlender Daten wurden diese Parameter entweder anhand der Abfallzusammensetzung berechnet oder – zum Beispiel bei den EBS-Fraktionen – geschätzt.

Der berechnete Kohlenstoffgehalt und Heizwert für das Abfallaufkommen ist in Tabelle 8 angegeben. Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Werte der einzelnen Abfallfraktionen sind im Anhang in Tabelle 13 dargestellt. Von den in Tabelle 8 angegebenen Werten ist nur der regenerative Kohlenstoffgehalt für die THG-Berechnungen in Bezug auf die Methanemissionen aus der Deponierung der generierten Abfälle im Status-quo relevant. Die Zahlen für fossilen Kohlenstoff und Heizwert werden nicht direkt verwendet, da keine direkte Verbrennung der Siedlungsabfälle stattfindet.

Die Verbrennung von Abfällen wird in den Szenarien für Bangalore und Bhopal angenommen: Verbrennung von EBS hoher oder mittlerer Qualität aus MBA, Verbrennung von getrennt erfassten brennbaren Abfällen (Bhopal) und Verbrennung von restlichen Nass-/Mischabfällen (Bangalore Szenario 2b). Die Werte für letztere errechnen sich aus der Abfallzusammensetzung des restlichen Nass-Mischabfalls. Andernfalls sind die Parameter fossiler Kohlenstoffgehalt und Heizwert unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten geschätzt. Die jeweiligen Parameter sind für generierte Siedlungsabfälle

in Bhopal vergleichsweise niedrig (siehe Tabelle 8). Daher wird geschätzt, dass auch die Fraktionen "EBS, mittlere Qualität" und "getrennt erfasste brennbare Abfälle" durch etwas niedrigere Werte gekennzeichnet sind als für Bangalore. Für Bangalore werden die jeweiligen Werte auf der Grundlage der Ergebnisse in (Weichgrebe et al. 2016) geschätzt. Die für die Berechnung verwendeten Werte sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 13: Abgeschätzte Werte für die Abfallverbrennung

Abfallanteil	Bangalore	Bhopal
EBS, hohe Qualität		
Heizwert [MJ/kg]	12,5	
Fossiler Kohlenstoff [%]	12,5	
EBS, mittlere Qualität		
Heizwert [MJ/kg]	11	9
Fossiler Kohlenstoff [%]	11	8
Getrennt erfasste brennbare Abfälle		
Heizwert [MJ/kg]		9
Fossiler Kohlenstoff [%]		8
Restnass-/Mischabfälle		
Heizwert [MJ/kg]	7,4	
Fossiler Kohlenstoff [%]	6,8	

Wesentliche THG-Emissionen entstehen, wenn organische Abfälle unter anaeroben Bedingungen abgelagert werden. Die Methanbildung aus einer Tonne Abfall – über einen Zeithorizont von 100 Jahren – hängt von Gehalt an regenerativem oder abbaubarem organischem Kohlenstoff (DOC) und den lokalen Bedingungen ab. Aufgrund des Fehlens regionaler oder nationaler Daten wird die Deponierung grundsätzlich mit Standardwerten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) berechnet, die im Anhang, Kapitel 13.1.2. aufgeführt sind.

Im Allgemeinen werden die Standardwerte für die Abbaurate (DOCf) und den Methangehalt im erzeugten Deponiegas verwendet, mit Ausnahme von stabilisierten festen Rückständen, die ein wesentlich geringeres Abbaupotenzial aufweisen. Für diesen Anteil werden der DOCf auf 10% und der Methangehalt auf 40 Vol% festgelegt, beides basierend auf Erfahrungen und Messungen in Deutschland. Der DOC der stabilisierten festen Rückstände wird mit 40% des ursprünglichen regenerativen Kohlenstoffgehalts im generierten Siedlungsabfall angenommen, da üblicherweise die aerobe biologische Behandlung über einen Zeitraum von etwa 8 Wochen mit einem Abbaugrad von 60% verbunden ist. Ein weiterer relevanter Parameter für die Methanemissionen aus der Deponierung ist der Methankorrekturfaktor (MCF). Dieser Faktor berücksichtigt den Grad der anaeroben Bedingungen in einem Deponiekörper. Für geordnete Deponien wird von einer 100%igen Methanbildung ausgegangen, und von nur 80% für tiefe und 40% für flache ungeordnete Deponien.

In allen 3 Städten sind die Deponien ungeordnet, und in Bhopal und Haridwar sind sie flach (nicht höher als 5 m). Für Bangalore ist die Situation komplexer, da verschiedene Ablagerungen und Deponien relevant sind. Grundsätzlich könnte der MCF von 0,4 (40%), der in Indiens zweiter Mitteilung an die UNFCCC (MoEF 2012) verwendet wurde, für die Berechnungen angesetzt werden. Jedoch gaben Experten bei dem Workshop in Bangalore an, dass 2 der Deponien höher als 15 m sind. Angesichts dieser Unsicherheiten wird für Bangalore der MCF für nicht kategorisierte Deponien von 0,6 verwendet.

Alle diese Annahmen sind für die THG-Ergebnisse sehr relevant. Der Einfluss verschiedener Parameter auf die verschiedenen Behandlungsmöglichkeiten wird in Kapitel 9 veranschaulicht, um zu verdeutlichen, dass Abfalldaten wichtig sind.

### 7.2.2 Bangalore

Die in Abbildung 30 und 31 dargestellten THG-Ergebnisse für Bangalore zeigen sehr deutlich ein hohes THG-Einsparpotenzial bei allen Optimierungsszenarien. Der Hauptgrund für den Minderungseffekt ist die Abkehr von der Deponierung. Während im Status quo-Szenario v.a. Methanemissionen aus der Entsorgung von nicht gesammelten, unbehandelten und deponierten Abfällen sowie der Ablagerung von minderwertigen EBS aus MBA die Nettobelastung bewirken, werden diese Emissionen in den Optimierungsszenarien vermieden. Es ergibt sich eine Umkehr der THG-Nettoergebnisse von einer Nettobelastung von ca. 500.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Status-quo-Szenario zu einer Nettoentlastung von ca. -300.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Szenario 1 bis ca. -370.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Szenario 2.

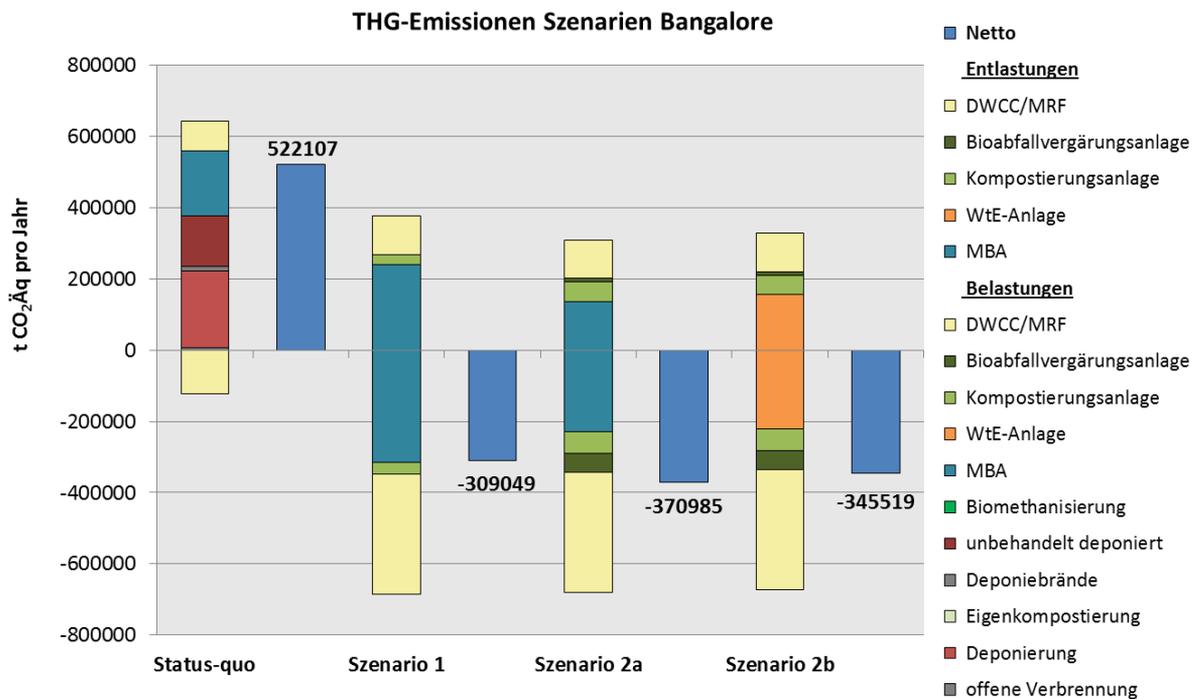
Weitere direkte THG-Emissionen ergeben sich aus der biologischen Behandlung von Nass-/Mischabfällen in der MBA. Dies gilt auch für Szenario 1 und Szenario 2a, allerdings in geringerem Maße, da weniger Abfälle über MBA behandelt werden.

Sowohl direkte als auch vermiedene THG-Emissionen entstehen durch das Recycling, das in Bangalore teilweise unter der Verantwortung der Behörden stattfindet ("DWCC/MRF"). Diese Emissionen werden auf der Grundlage harmonisierter Emissionsfaktoren berechnet und umfassen nicht nur die Sortierung (DWCC/MRF), sondern auch weitere Prozessschritte wie z.B. das Schmelzen von Metallen. Im Allgemeinen übersteigen die vermiedenen Emissionen aus dem Recycling die direkten Emissionen. Insbesondere das Recycling von Papier, Metallen und Textilien trägt zu THG-Einsparungen bei, wodurch sich die Zunahme der Nettoentlastungen für das Recycling in den Optimierungsszenarien erklärt. Der Beitrag des Recyclings zur THG-Minderung würde vermutlich noch viel höher ausfallen, wenn auch das informelle Recycling einbezogen würde.

Die Kompostierung von Nass-/getrennt erfassten Organikabfällen zeigt nur geringe Ergebnisbeiträge. Sowohl direkte als auch vermiedene Emissionen liegen in der gleichen Größenordnung. Dies darf nicht dahingehend missverstanden werden, dass Kompostierung für den Klimaschutz nicht wichtig ist. Obwohl das Nettoergebnis der Kompostierung selbst gegen Null geht, ermöglicht die Kompostierung von organischen Abfällen die Abkehr von der Deponierung und ist damit der wichtigste Treiber für die Vermeidung von Methanemissionen aus der Deponierung. Alternativ könnte dies auch durch Vergärung erreicht werden. Dies erfordert jedoch eine Behandlung in effizienten, emissionsarmen Anlagen. Die Ergebnisse in Abbildung 30 ("Bioabfallvergärungsanlage") entsprechen einer solchen Anlage, und nur dann sind die vermiedenen Emissionen deutlich höher als die direkten Emissionen.

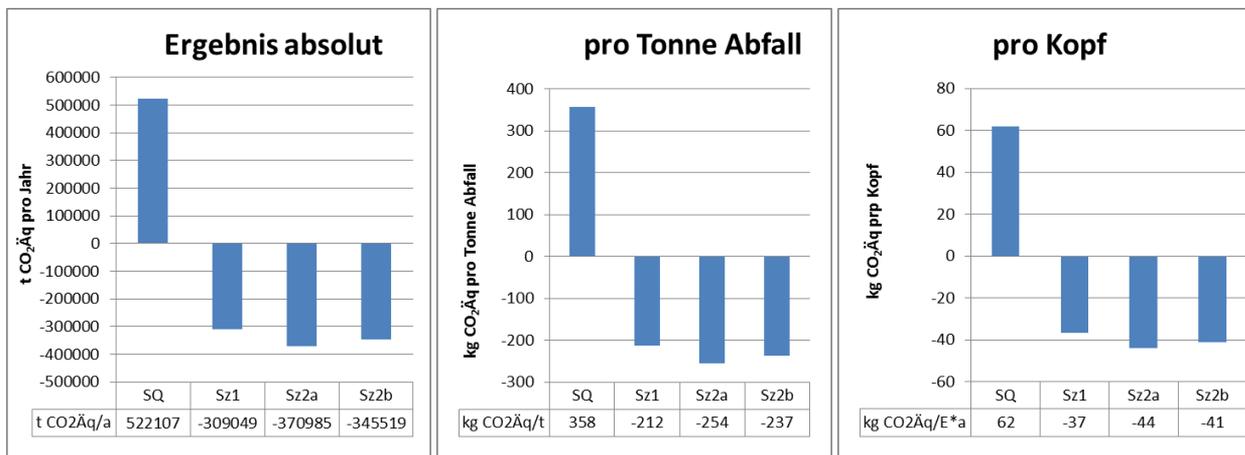
Die Ergebnisse für Szenario 2a und Szenario 2b sind sehr ähnlich. Aus Klimaschutzsicht spielt es keine große Rolle, ob die restlichen Nass-/Mischabfälle in einer MBA behandelt und EBS zur Mitverbrennung erzeugt werden, oder ob sie direkt in einer WtE-Anlage verbrannt werden. Allerdings basieren in beiden Fällen die relevanten Parameter Heizwert und fossiler Kohlenstoffgehalt auf Annahmen. In der Praxis wären Sortieranalysen obligatorisch, bevor Entscheidungen getroffen werden können.

Abbildung 30: Sektorale THG-Ergebnisse Status-quo und Optimierungsszenarien Bangalore



Die spezifischen Nettoergebnisse pro Kopf in Abbildung 31 des Status-quo-Szenarios und des Szenarios 2a werden für die Extrapolation der THG-Ergebnisse für die Städtecluster in Kapitel 8 verwendet.

Abbildung 31: THG-Nettoergebnisse in absoluten Zahlen, pro Tonne Abfall und pro Kopf – Bangalore



### 7.2.3 Bhopal

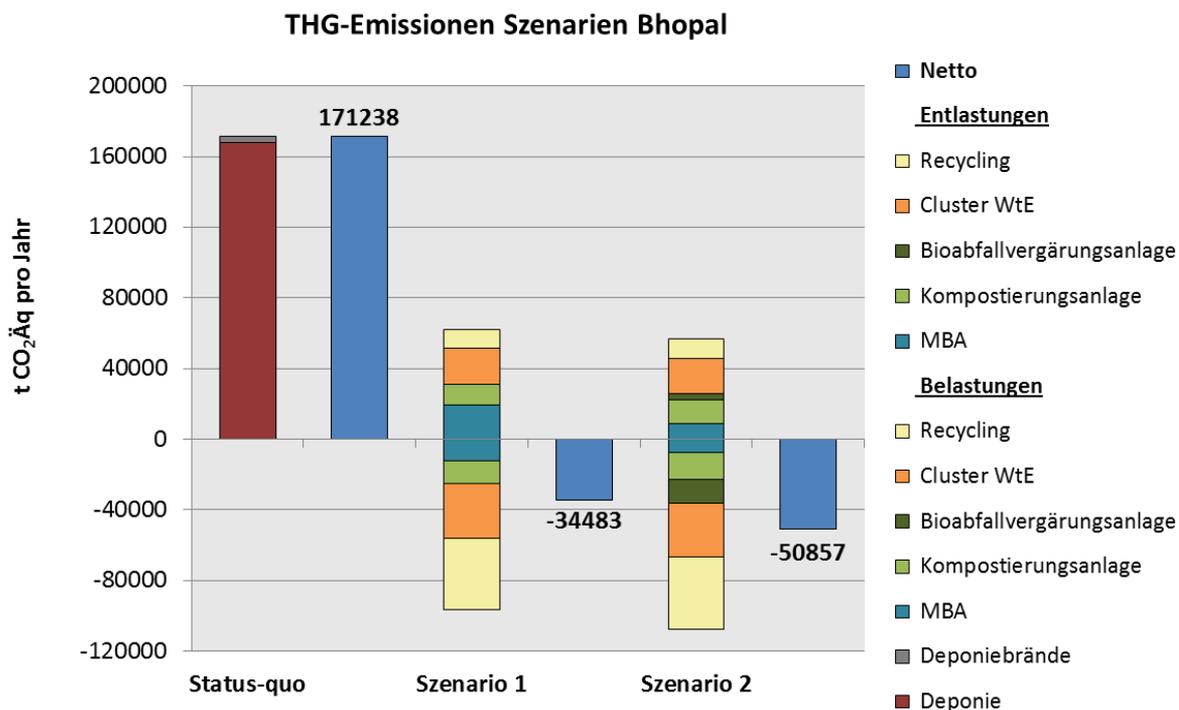
Die in Abbildung 32 und 33 dargestellten THG-Ergebnisse für Bhopal zeigen ähnliche Effekte wie für Bangalore erläutert. Durch die Abkehr von der Deponierung wird mit den Optimierungsszenarien eine erhebliche THG-Minderung erreicht. Es ergibt sich eine Umkehr der THG-Nettoergebnisse von einer Nettobelastung von ca. 170.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Status-quo-Szenario zu einer Nettoentlastung von ca. -34.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Szenario 1 und ca. -51.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Szenario 2.

Das Status-quo-Szenario für Bhopal wird durch Methanemissionen aus der Deponierung der gesammelten Siedlungsabfälle bestimmt, eine kleine Belastung ergibt sich auch aus fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Deponiebränden. Beides wird in den Optimierungsszenarien vollständig vermieden. Im Gegensatz zu Bangalore werden für Bhopal im Status-quo-Szenario keine Entlastungen erzielt, da die Siedlungsabfälle unter der Verantwortung der Behörden vollständig deponiert werden. Dies wäre gänzlich anders, wenn auch informelle Recyclingaktivitäten einbezogen würden.

Auch im Gegensatz zu Bangalore führt die Behandlung von Nass-/Mischabfällen über MBA zu Nettobelastungen. Sowohl in Szenario 1 als auch in Szenario 2 sind die direkten Emissionen höher als die vermiedenen Emissionen, obwohl der Unterschied in Szenario 2 geringer ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Abfallzusammensetzung für Bhopal durch einen höheren Anteil an Organikabfällen gekennzeichnet ist, was zu höheren absoluten THG-Emissionen aus der biologischen Behandlung führt, die nicht durch vermiedene Emissionen aus der erzeugten und mitverbrannten EBS-Fraktion mittlerer Qualität kompensiert werden können. Die THG-Emissionen aus der Mitverbrennung der EBS-Fraktion selbst ähneln der Behandlung von getrennt erfassten brennbaren Abfällen, die eine Nettoentlastung aufweisen ("Cluster WtE", direkte Emissionen geringer als vermiedene Emissionen).

Der THG-Minderungseffekt durch das Recycling in den Optimierungsszenarien ist ähnlich wie bei Bangalore. Die höhere absolute Nettoentlastung in Szenario 2 im Vergleich zu Szenario 1 erklärt sich durch die Steigerung von Nass-/getrennt erfassten Organikabfällen, die teilweise in einer effizienten, emissionsarmen Bioabfallvergärungsanlage behandelt werden.

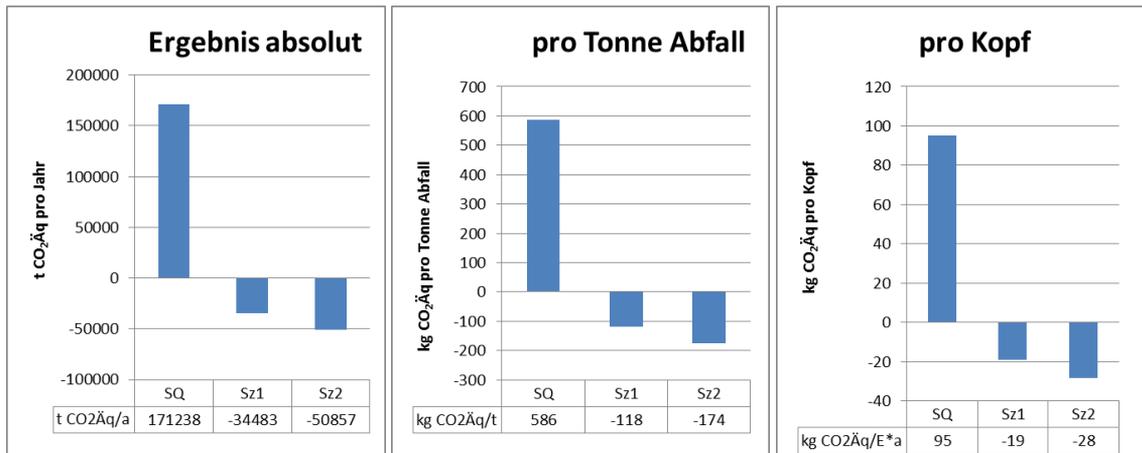
Abbildung 32: Sektorale THG-Ergebnisse Status-quo und Optimierungsszenarien Bhopal



Die spezifischen Nettoergebnisse pro Kopf in Abbildung 33 des Status-quo-Szenarios und des Szenarios 2 werden für die Extrapolation der THG-Ergebnisse für die Städtecluster in Kapitel 8 verwendet. Im Vergleich zu den spezifischen Ergebnissen für Bangalore weisen die Ergebnisse für Bhopal höhere spezifische Nettobelastungen im Status quo-Szenario und niedrigere spezifische Nettoentlastungen in den Optimierungsszenarien auf. Dies lässt sich durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Abfälle erklären. Bangalore hat mehr Wertstoffe im Abfall und deutlich weniger organische Abfälle (siehe

Tabelle 8). Dadurch unterscheiden sich die Eigenschaften der Abfälle. Der größte THG-Minderungseffekt entsteht durch die Abkehr von organischen Abfällen von der Deponierung und nicht so sehr durch die Behandlung dieses Materials (außer Bioabfallvergärungsanlage). Aus diesem Grund ist die Differenz zwischen den spezifischen Ergebnissen des Status-quo-Szenarios und des Szenarios 2 für Bhopal (-124 kg CO<sub>2</sub>Äq/E\*a) höher als für Bangalore (-106 kg CO<sub>2</sub>Äq/E\*a). Die spezifische THG-Minderung ist bei Städten, die bisher Siedlungsabfälle überwiegend deponieren, höher.

Abbildung 33: THG-Nettoergebnisse in absoluten Zahlen, pro Tonne Abfall und pro Kopf – Bhopal



## 7.2.4 Haridwar

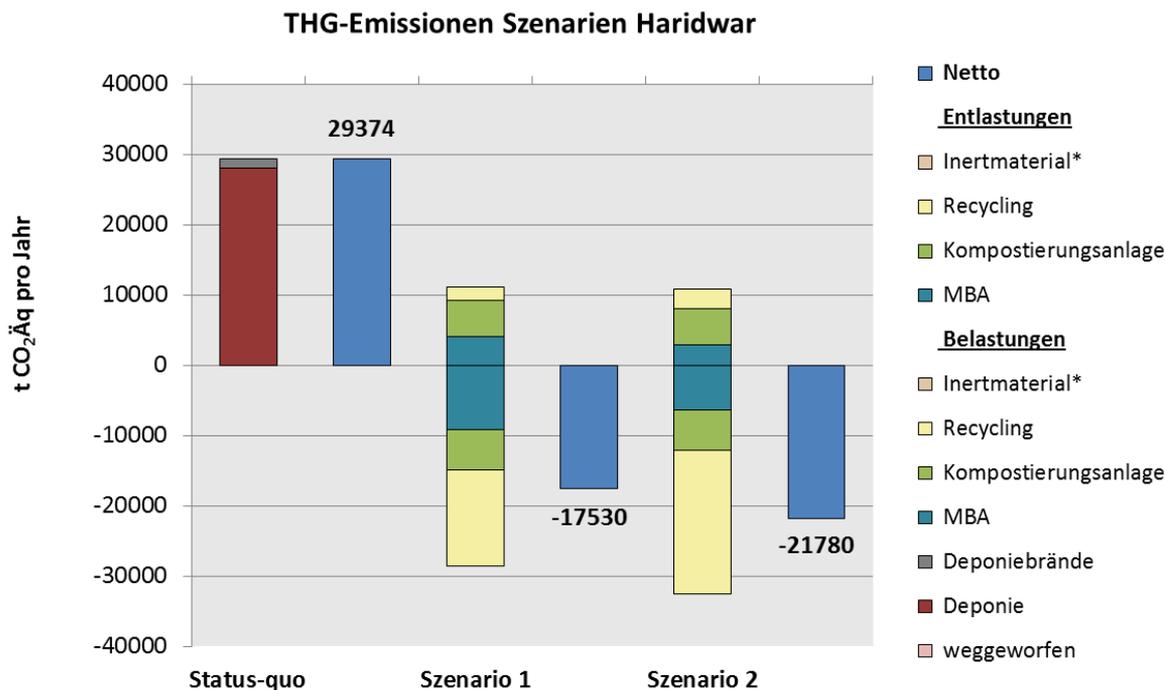
Die in Abbildung 34 und 35 dargestellten THG-Ergebnisse für Haridwar zeigen wiederum ähnliche Effekte wie bei Bangalore und Bhopal. Die Abkehr von der Deponierung führt zu einer erheblichen THG-Minderung in den Optimierungsszenarien. Es ergibt sich eine Umkehr der THG-Nettoergebnisse von einer Nettobelastung von rund 29.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Status-quo-Szenario zu einer Nettoentlastung von rund -18.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Szenario 1 und rund -22.000 Tonnen CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Szenario 2.

Wie bei Bhopal wird das Status-Quo-Szenario für Haridwar durch Methanemissionen aus der Deponierung gesammelter Siedlungsabfälle und eine kleine Belastung durch fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Deponiebränden bestimmt, die in den Optimierungsszenarien durch Abkehr von der Deponierung vollständig vermieden werden. Im Gegensatz zu Bhopal beinhaltet das Status quo-Szenario für Haridwar verstreut weggeworfene Abfälle, die aufgrund aerober Bedingungen nicht zum Klimawandel beitragen. Diese Praxis ist jedoch zu vermeiden, da sie ernsthafte Gefahren für die menschliche Gesundheit und die Umwelt mit sich bringt und zur Verschmutzung der Meere beiträgt.

Auch im Gegensatz zu Bhopal, aber wie in Bangalore, führt die mechanisch-biologische Behandlung von Nass-/Mischabfällen in den Optimierungsszenarien aufgrund der unterschiedlichen Anteile von organischen und rezyklierbaren Abfällen in der Abfallzusammensetzung zu Nettoentlastungen. Die Ergebnisse für die Kompostierung und das Recycling in den Optimierungsszenarien sind mit denen von Bangalore und Bhopal vergleichbar.

Der Unterschied zwischen Szenario 1 und Szenario 2 ergibt sich aus dem Ausschluss von Schlick von den Siedlungsabfällen. Der Schlick gilt als inert und ist nicht mit Methanemissionen aus der Deponierung verbunden, während andererseits die Qualität der getrennt erfassten Wertstoffe verbessert wird, was zu höheren absoluten Nettoentlastungen für das Recycling führt.

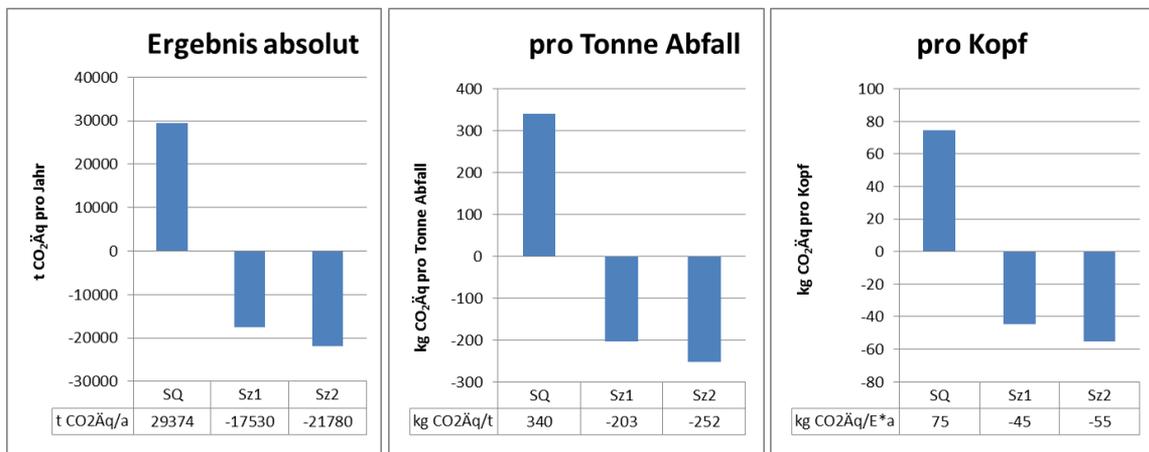
Abbildung 34: Sektorale THG-Ergebnisse Status-quo und Optimierungsszenarien Haridwar



\*Schlick, der in Szenario 2 von den Siedlungsabfällen ausgeschlossen ist, inertes Material verursacht keine THG-Emissionen bei der Deponierung

Die spezifischen Nettoergebnisse pro Kopf in Abbildung 35 des Status-quo-Szenarios und des Szenarios 2 werden für die Extrapolation der THG-Ergebnisse für die Städtecluster in Kapitel 8 verwendet. Die spezifischen Ergebnisse für Haridwar liegen zwischen denen für Bangalore und für Bhopal im Status-quo-Szenario. In den Optimierungsszenarien gilt dies auch für die spezifischen Ergebnisse pro Tonne Abfall, wobei die Werte nahe an denen für Bangalore liegen. Im Gegensatz dazu sind die spezifischen Ergebnisse pro Kopf für Haridwar die höchsten in den Optimierungsszenarien. Dies mag daran liegen, dass die fluktuierende Bevölkerung unterschätzt wird, da auch die Abfallerzeugung pro Kopf für Haridwar am höchsten ist (0,6 kg pro Kopf und Tag im Vergleich zu etwa 0,44 für Bhopal und 0,47 für Bangalore). Ungeachtet dessen hat Haridwar von der Abfallzusammensetzung her einen ähnlichen Anteil an organischen Abfällen wie Bangalore, wenn auch weniger Wertstoffe (siehe Tabelle 8). Die Besonderheit des vergleichsweise hohen Anteils an inertem Material wird mit Szenario 2 etwas modifiziert, bei dem dieser Anteil – der mit 17% angenommen wird – von den Siedlungsabfällen ausgeschlossen wird. Die Differenz zwischen den spezifischen Ergebnissen pro Kopf des Status-quo-Szenarios und des Szenarios 2 ist für Haridwar am größten (-130 kg CO<sub>2</sub>Äq/E\*a). Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass alle Ergebnisse auf Annahmen beruhen und nicht genau sind.

Abbildung 35: THG-Nettoergebnisse in absoluten Zahlen, pro Tonne Abfall und pro Kopf - Haridwar



### 7.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend zeigen die THG-Ergebnisse deutlich das signifikante THG-Minderungspotenzial, das sich aus der Abkehr von der Deponierung ergibt. Hier bieten die regulatorischen und politischen Anforderungen in Indien bereits einen höchst relevanten Synergienutzen für den Klimaschutz. Darüber hinaus wäre der THG-Minderungseffekt noch höher, wenn auch das informelle Recycling einbezogen würde.

Obwohl der Weg zu einem integrierten Abfallwirtschaftssystem noch zu gehen ist, könnte das Szenario 1 für die drei Städte als erster Schritt innerhalb eines angemessenen Zeitrahmens erreicht werden. Der Schlüssel dazu ist eine korrekte getrennte Erfassung, die vor allem in Bangalore verbessert und in Bhopal gestartet werden muss. Sortenreine Abfallfraktionen vom Abfallanfallort ermöglichen hohe Recyclingquoten und die Erzeugung von Qualitätskompost. In kleineren Städten ist die Realisierung sicherlich einfacher, da weniger anonym, aber auch in Groß- und Megacities zumindest in weniger dicht bebauten Gebieten möglich. Die getrennte Erfassung erfordert keine hohen Investitionen in Infrastruktur, sondern ausreichende Container und geeignete Transporteinrichtungen. Die Hauptinvestition muss in die Beratung und Bildung der Bürger und auch der Abfallsammler fließen.

Der nächste wichtige Aspekt ist die richtige Behandlung der getrennten Abfälle. Dies kann in Haridwar wie vorgeschlagen über die im Bau befindliche Abfallwirtschaftsanlage in einem Zwei-Linien-Betrieb erfolgen, wobei die Vermischung der beiden Abfallströme strikt zu verhindern ist. In Bangalore kann dies mit den bestehenden MBA-Anlagen realisiert werden. Einige von diesen können zur ausschließlichen Verarbeitung von Nass-/getrennt erfassten Organikabfällen umgewidmet werden. Dies erfolgte in der Vergangenheit in der KCDC-Anlage und könnte in einigen Anlagen wiederum erfolgen, während der restlichen Anlagen weiterhin die verbleibenden Nass-/Mischabfälle verarbeiten. Für Bhopal werden neue Anlagen benötigt.

Das Szenario 2 für die drei Städte ist schwieriger zu realisieren, da sie eine weitere Steigerung von Nass-/getrennt erfassten Organikabfällen für Bhopal und Bangalore in Betracht ziehen und für Haridwar die strikte Vermeidung von verstreutem Wegwerfen. Zusätzlich werden effiziente, emissionsarme Bioabfallvergärungsanlagen angenommen, die nicht nur geeignetes Inputmaterial, sondern auch höhere Investitionen erfordern. Letztere werden voraussichtlich nicht durch den Verkauf von Biogas und Kompost abgedeckt. Ein solches Konzept benötigt andere Finanzierungsquellen wie z.B. Abfallgebühren.

Dennoch sind die beiden Szenarien 1 und 2 realisierbar. Beide bieten bereits eine signifikante THG-Minderung, obwohl es sich nicht um ideale Szenarien handelt. Die Größenordnung der erreichbaren

THG-Minderung durch Abkehr von der Deponierung ist recht robust, auch wenn die Szenarien im Wesentlichen auf Annahmen beruhen.

Voraussetzung für die Implementierung funktionaler Abfallwirtschaftssysteme ist die Kenntnis der Abfalleigenschaften, da diese über mögliche Behandlungswege entscheiden und die Kenntnis der Abfallmengen, da diese über die erforderlichen Kapazitäten entscheiden. Dies erfordert repräsentative Sortieranalysen, wie sie z.B. im "SWM Manual 2016" vorgeschlagen werden (siehe Kapitel 4.2). Darüber hinaus sollten auch die Abfallmengen von Massenabfallerzeugern berücksichtigt werden, da diese Abfälle auch in den kommunalen Abfallstrom gelangen. Darüber hinaus sollten Pilotversuche durchgeführt werden, bevor über Investitionen in Behandlungsanlagen entschieden wird.

Die Abfalleigenschaften bestimmen auch die THG-Ergebnisse. So spiegeln beispielsweise die Ergebnisse für Bhopal den hohen Anteil an Organikabfällen in der Abfallzusammensetzung wider, die zu Nettobelastungen für die in MBA behandelten restlichen Nass-/Mischabfälle führt. Wenn die Annahmen über die Abfallzusammensetzung zutreffen, sollte Bhopal große Anstrengungen auf die getrennte Erfassung von nassen/organischen Abfällen und die Kompostierung legen. Obwohl bei der Kompostierung auch Methan- und Lachgasemissionen entstehen, können diese Emissionen durch gute fachliche Praxis minimiert werden, die keine geschlossenen Hightech-Anlagen benötigt, sondern in mehreren mittelgroßen offenen Anlagen erfolgen könnte. Am wichtigsten ist es, ein angemessenes Oberflächen-Volumen-Verhältnis wie bei Dreiecksmieten, das richtige Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis, eine ausreichende Belüftung und ausreichend Wasser einzuhalten. Ein weiteres Beispiel ist der Ansatz verschiedener Konzepte für Bangalore in Szenario 2a und 2b. Sind die Annahmen über die Abfallbeschaffenheit wahr, spielt es aus Klimaschutzsicht keine Rolle, für welches der beiden Konzepte sich eine Stadt entscheidet.

Generell sollten die Kommunen auch nach einer möglichen Zusammenarbeit mit anderen Städten suchen, um z.B. ein Cluster-WtE-Konzept zu realisieren oder nach einer möglichen Zusammenarbeit mit anderen Sektoren wie der Mitverbrennung in Zementwerken oder vielleicht auch der Mitverbrennung in WtE-Anlagen für landwirtschaftliche Reststoffe. Für die Mitbehandlung von Siedlungsabfällen in anderen Sektoren muss jedoch immer zuerst geprüft werden, ob diese den Umweltanforderungen entspricht.

## 8 Hochrechnung der THG-Ergebnisse für Städtecluster

Einer der Gründe für die Abdeckung von 3 verschiedenen Stadtgrößen in dieser Studie war die Berücksichtigung der großen Unterschiede in Indien, die mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen für die Abfallwirtschaft verbunden sind. Ein weiterer Grund ist die Analyse der potenziellen THG-Minderungsbeiträge, die durch Verbesserungen der Abfallwirtschaft in Mega- und Großstädten, mittleren und kleinen Städten zum gesamten nationalen Minderungspotenzial des Abfallsektors erreicht werden können, und auf diese Weise Entscheidungsfindungen in größerem Maßstab zu unterstützen.

Die 3 definierten Stadtcluster sind:

- Groß-/Megastädte: 3-8 Millionen Einwohner      vertreten durch Bangalore
- mittlere Städte: 1-3 Millionen Einwohner      vertreten durch Bhopal
- kleinere Städte: 0,1-1 Millionen Einwohner      vertreten durch Haridwar

Laut Michaelowa et al. (2015), die CPCB zitieren, generieren insbesondere Großstädte oder Bundesstaaten mit hohem Urbanisierungsgrad relevante Anteile an der gesamten Abfallerzeugung in Indien. Beispielsweise generieren Maharashtra, Uttar Pradesh, Tamil Nadu und Andhra Pradesh – die Staaten mit hohem Urbanisierungsgrad – zusammen über 50% des gesamten Abfallaufkommens im Land. Und auf Stadtebene gibt es 53 Städte mit mehr als einer Million Einwohnern (einschließlich Umland), die

mehr als 40% der gesamten Abfallmenge in Indien im Jahr 2011 erzeugten. Darüber hinaus ist aufgrund einer weiteren Zunahme der Urbanisierung durch Bevölkerungswachstum und Zuwanderung in die Städte zu erwarten, dass dieser Effekt in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen wird.

Dies erklärt, warum der Schwerpunkt von Entscheidungsträgern bei der Verbesserung des Abfallmanagements und der THG-Minderung als Synergienutzen in der Regel auf Groß-/Megastädten und/oder Städten über 1 Million Einwohner liegt. Kleinere Städte profitieren selten von Subventionen und Förderprogrammen. Eine dieser Ausnahmen ist Haridwar aufgrund seiner religiösen und spirituellen Bedeutung (siehe Kapitel 4.3).

Als Pilgerziel am Fluss Ganges ist Haridwars Abfallsektor in zweierlei Hinsicht besonders: (1) Abfälle werden nicht nur von den Bewohnern, sondern auch von der fluktuierenden Bevölkerung erzeugt, die auf durchschnittlich 165.000 Menschen pro Tag geschätzt wird (CPCB 2016); (2) die Abfallzusammensetzung hat einen vergleichsweise hohen Anteil an Inertmaterial (24%), von dem angenommen wird, dass es aus dem offenen Kanalsystem von Haridwar stammt, aus dem weggeworfene Abfälle vermischt mit Schlick wieder herausgeholt werden. Darüber hinaus ist Haridwar eine streng vegetarische Stadt. Daher ist Haridwar vielleicht nicht typisch für Städte mit 0,1 bis 1 Million Einwohnern. Aber auch in anderen Städten sind offene Kanalsysteme recht häufig, und der Vegetarieranteil in Indien ist mit rund 40% der höchste weltweit. Letztendlich kann Haridwar als Proxy verwendet werden, wenn man bedenkt, dass die Extrapolation der THG-Ergebnisse für die drei Städtecluster nicht genau sein soll und aufgrund der bestehenden Datenlücken und der damit verbundenen notwendigen Annahmen auch nicht genau sein kann.

Für Hochrechnungszwecke wurden die Bevölkerungsdaten des Census of India 2011 verwendet. Gemäß (ORGI 2018a) betrug die Gesamtbevölkerungszahl Indiens 1.210.569.573 im Jahr 2011 bei einer städtischen Bevölkerung von 377.106.125 (31%). Informationen über die Städte<sup>8</sup> wurden aus ORGI (2018b) abgeleitet, aus Tabelle A-4 "Städte und Ballungsräume nach Bevölkerungsgrößenklassen". Die Klasse I (100.000 und mehr) umfasst 298 städtische Ballungsräume und 170 Städte mit einer Bevölkerung von 264.745.519 im Jahr 2011 (70% der gesamten städtischen Bevölkerung). Die für die drei Städtecluster analysierten Daten sind in Tabelle 12 dargestellt. Für die Hochrechnung wird die Bevölkerung der Städte verwendet, da sich die Daten über die 3 Städte Bangalore, Bhopal und Haridwar ebenfalls auf die Stadtebene beziehen und nicht auf die Ballungsräume. Die Bevölkerung der 424 kleineren Städte (0,1-1 Mio.) ist nicht leicht verfügbar und wird auf 80% der Bevölkerung der Städte und Ballungsräume geschätzt, da der Unterschied mit der Stadtgröße abnimmt (siehe Tabelle 12).

Die für die Extrapolation verwendeten THG-Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt. Das THG-Minderungspotenzial wird aus den Ergebnissen für das Status-quo-Szenario und das Szenario 2 (Bangalore 2a) der 3 Städte entnommen. Die Ergebnisse pro Kopf für Haridwar beziehen sich auf die Bevölkerung einschließlich der fluktuierenden Bevölkerung, die sich in Summe auf ca. 394.000 Menschen beläuft, woraus sich eine Pro-Kopf-Abfallerzeugung von 0,6 kg/E\*d für Haridwar ergibt. Im Vergleich dazu liegt die Abfallerzeugung pro Kopf für Bhopal bei 0,44 und für Bangalore bei 0,47 kg/E\*d. Der höhere Wert für Haridwar ist teilweise plausibel, da kleinere Städte in der Regel eine geringere Bevölkerungsdichte haben, in der typischerweise mehr Abfall pro Kopf entsteht, aber kann teilweise auch auf die besondere Situation der Pilgerstadt zurückzuführen sein. Bhopal und Haridwar weisen ein höheres Minderungspotenzial pro Kopf auf als Bangalore. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die beiden Städte ihre Abfälle im Status-quo im Wesentlichen deponieren, während in Bangalore Siedlungsabfall bereits teilweise behandelt wird.

---

<sup>8</sup> "Städte mit 100.000 Einwohner und mehr" (ORGI 2018c).

Tabelle 14: Bevölkerungs- und THG-Ergebnisse der ausgewählten Städte

Stadt		Bangalore	Bhopal	Haridwar
Bevölkerung laut Census of India 2011 + fluktuierende Bevölkerung Haridwar	Stadt	8.425.970	1.798.218	228.832 +165.000
Abfallaufkommen	t/a	1.460.000	292.000	86.505
Status-quo THG-Nettoergebnis pro Kopf	kg CO <sub>2</sub> Äq/E*a	62	95	75
Szenario 2(a) THG-Nettoergebnis pro Kopf	kg CO <sub>2</sub> Äq/E*a	-44	-28	-55
THG-Minderungspotenzial pro Kopf	kg CO <sub>2</sub> Äq/E*a	-106	-124	-130

Quellen: (ORGI 2015), Berechnungen ifeu

Tabelle 15: THG-Minderungspotenzial Städtecluster, Klasse I (100.000 und mehr)

Einwohner, Cluster	absolut	über 3 Millionen	1-3 Millionen	0,1-1 Millionen
Anzahl der Städte & Ballungsräume	468	10	34	424
Bevölkerung der Städte & Ballungsräume	264.745.519	92.706.519	66.874.696	105.164.304
Bevölkerung Städte <sup>1</sup>		61.100.000	49.400.000	84.100.000 <sup>2</sup>
Anteil in %		66%	74%	80% <sup>2</sup>
THG-Minderungspotenzial <sup>1</sup> [t CO <sub>2</sub> Äq/a]	-23.500.000	-6.500.000	-6.100.000	-10.900.000
Anteil in %		28%	26%	47%

1. Gerundete Werte werden verwendet, um den Eindruck von Genauigkeit zu vermeiden.

2. konservativ geschätzter Bevölkerungsanteil kleinerer Städte

Quellen: (ORGI 2018c), Berechnungen ifeu

Die Ergebnisse in Tabelle 12 zeigen, dass das extrapolierte THG-Minderungspotenzial der 3 Städtecluster für die 10 größeren Städte und die 34 mittelgroßen Städte nahezu gleich ist. Beide tragen zu etwa einem Viertel zum gesamten extrapolierten Minderungspotenzial bei. Die 424 kleineren Städte tragen zu 47% zum extrapolierten THG-Minderungspotenzial bei. Auch falls dieser Beitrag aufgrund der besonderen Situation für Haridwar überschätzt wird, zeigen die Ergebnisse, dass die Summe der kleineren Städte ein relevanter Faktor für die THG-Minderung durch Abfallwirtschaft ist.

## 9 Abfalldaten – Zuverlässigkeit der THG-Ergebnisse

Die für die 3 Städte berechneten THG-Ergebnisse mussten auf Annahmen beruhen. Obwohl die Größenordnung für die THG-Minderung durch Abkehr von der Deponierung robust ist, werden die THG-Ergebnisse als zu ungenau und unverbindlich angesehen, um z.B. von Finanzierungsinstitutionen wie der NAMA-Fazilität oder für NDCs akzeptiert zu werden (siehe Kapitel 10). Bereits für das Status-quo-

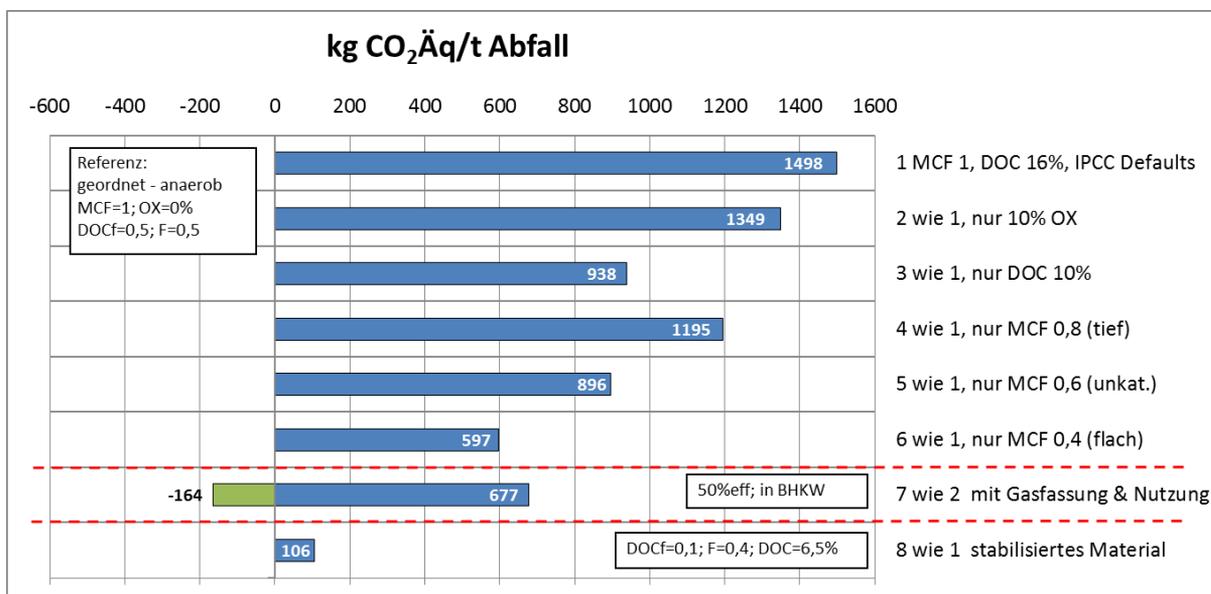
Szenario sind die möglichen Schwankungen in Abhängigkeit der Eingangsdaten hoch. Dies wird im Folgenden mit spezifischen THG-Ergebnissen für die wichtigsten Behandlungsoptionen verdeutlicht:

1. Abfalldeponierung
2. Verbrennung
3. Kompostierung & Vergärung für nass-/getrennt erfasste Organikabfälle
4. Mechanisch-biologische Behandlung von Nass-/Mischabfällen
5. Kunststoffrecycling in Abhängigkeit der Qualität

Die dargestellten Zahlen zeigen direkte Emissionen (positive Werte, Balken rechts) und vermiedene Emissionen (negative Werte, Balken links).

1. Die wichtigsten THG-Emissionen aus der **Deponierung** sind Methanemissionen, die durch den anaeroben Abbau organischer Materialien wie Grün-/Gartenabfälle, Lebensmittel-/Küchenabfälle, Papier und Pappe, Holz und Textilien, Gummi, Leder, Windeln biogenen Ursprungs (z.B. Baumwolle oder von Tieren gewonnen) entstehen. Der Grad der Methanbildung ist hauptsächlich abhängig vom Gehalt an regenerativem bzw. abbaubarem organischem Kohlenstoff (DOC), der Abbaurrate (DOCf), die wiederum von der Art der organischen Verbindungen abhängt (Kohlenhydrate, Proteine, Fett, Hemicellulose, Cellulose, Lignin) und dem Grad der anaeroben Bedingungen in der Ablagerung (berücksichtigt durch den Methankorrekturfaktor). Darüber hinaus wird das letztendlich emittierte Methan durch ein Gasfassungssystem, eine Deponiegasbehandlung und die Managementpraxis hinsichtlich einer möglichen Oxidation von Methan bestimmt.

Abbildung 36: Varianten Deponierung



Um Länder zu unterstützen, die keine nationalen Daten haben, hat das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Richtlinien für nationale THG-Inventare mit Standardwerten („Defaults“) erstellt (IPCC 2006). Bereits die Wahl dieser Standardwerte kann jedoch das Ergebnis erheblich verändern. In Abbildung 36 sind die spezifischen Ergebnisse für die wichtigsten Varianten für die Deponierung dargestellt. Im Fall 1, der Referenz, sind die Standardwerte für eine geordnete - anaerobe Deponie mit 100% Methanbildung (MCF=1), keiner Oxidation (OX=0%), Abbaugrad DOCf=0,5 und einem Methan-gehalt (F) von 0,5 hinterlegt. Der DOC ist auf 16% eingestellt, was in etwa dem Wert für Bangalore entspricht (siehe Tabelle 8). Fall 2 zeigt das Ergebnis einer gut geführten Deponie mit Oxidationsschicht (OX=10%). Fall 3 ist identisch mit Fall 1, jedoch mit einem niedrigeren DOC von 10%. Die Fälle 4 bis 6 zeigen Varianten des Falles 1 für verschiedene anaerobe Bedingungen, mit Fall 4 einer hohen Deponie

mit 80% Methanbildung, Fall 6 einer flachen Deponie (< 5 m) mit 40% Methanbildung und Fall 5 dem Durchschnitt mit 60% Methanbildung für nicht kategorisierte Deponien. Bereits diese Beispiele zeigen die hohe Variation der spezifischen Ergebnisse, die sich mit der gesamt deponierten Abfallmenge multiplizieren würde. Insbesondere wenn der DOC und die Bedingungen der Deponie (MCF) nicht bekannt sind oder falsch eingeschätzt werden, variieren die spezifischen Ergebnisse bis zu Faktor 3.

Fall 7 entspricht der gut geführten Deponie von Fall 2 zusätzlich mit Gasfassungssystem. Die maximale Gasfassungseffizienz über den 100-Jahreshorizont ist mit 50% berechnet sowie Nutzung des Deponiegases im BHKW. Die erzeugte Wärme und Strom sind als Gutschrift angerechnet (elektrischer Nettowirkungsgrad 37,5% und Nettowärmewirkungsgrad 43%). Die Ergebnisse zeigen, dass weiterhin relevante THG-Emissionen auftreten.

Fall 8 stellt die Entsorgung von stabilisierten festen Rückständen aus MBA dar („MBA-Rest“). In diesem Fall ist der DOC auf 40% des ursprünglichen DOC geschätzt (6,4% von 16%; eine ordnungsgemäße Kompostierung über ca. 2 Monate führt in der Regel zu 60% Abbau der Organik). Der DOCf ist deutlich niedriger (10%) und der Methangehalt etwas niedriger (40%). Beide Zahlen basieren auf Erfahrungen und Messungen in Deutschland. Obwohl selbst in diesem Fall noch Methanemissionen anfallen, sind sie doch viel geringer als bei der Entsorgung unbehandelter organischer Abfälle, weshalb diese Praxis für Szenario 1 als erste leicht zu erreichende Option zur THG-Minderung gewählt wurde. Bessere Möglichkeiten zur THG-Minderung bestehen jedoch darin, die getrennte Erfassung und Verwertung zu steigern. Im Gegensatz dazu ist die „flache Deponierung“ wie "verstreutes Wegwerfen" keine Option zur THG-Minderung. Dies würde mehr Fläche beanspruchen und negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt würden weiterhin bestehen bleiben.

2. Die wichtigsten direkten THG-Emissionen aus der **Verbrennung** sind fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die Oxidation von fossilem Kohlenstoff entstehen. Daher ist der fossile Kohlenstoffgehalt im Abfall ein sehr relevanter Parameter. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Energieerzeugung. Daraus ergibt sich das Potenzial zur Emissionsvermeidung durch die Substitution konventionell erzeugter Energie. Die entscheidenden Parameter sind Heizwert, Energieeffizienz und der potenziell substituierte Primärprozess.

In Abbildung 37 sind spezifische Ergebnisse für die wichtigsten Varianten dargestellt. Fall 1, die Referenz, stellt eine MVA mit durchschnittlicher Energieeffizienz solcher Anlagen in Deutschland/Europa dar, mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von 12% und einem thermischen Wirkungsgrad von 30%. Der fossile Kohlenstoffgehalt der verbrannten Abfälle ist auf 7% eingestellt und der Heizwert auf 7,5 MJ/kg (1791 kcal/kg), beides Werte, die in etwa den Werten für Bangalore entsprechen (siehe Tabelle 8). Substitutionsprozess ist die konventionelle Energieerzeugung für Indien mit einem Emissionsfaktor für die Stromerzeugung von 928 g CO<sub>2</sub>Äq/kWh und einem Emissionsfaktor für die Wärmeerzeugung von 334 g CO<sub>2</sub>Äq/kWh.

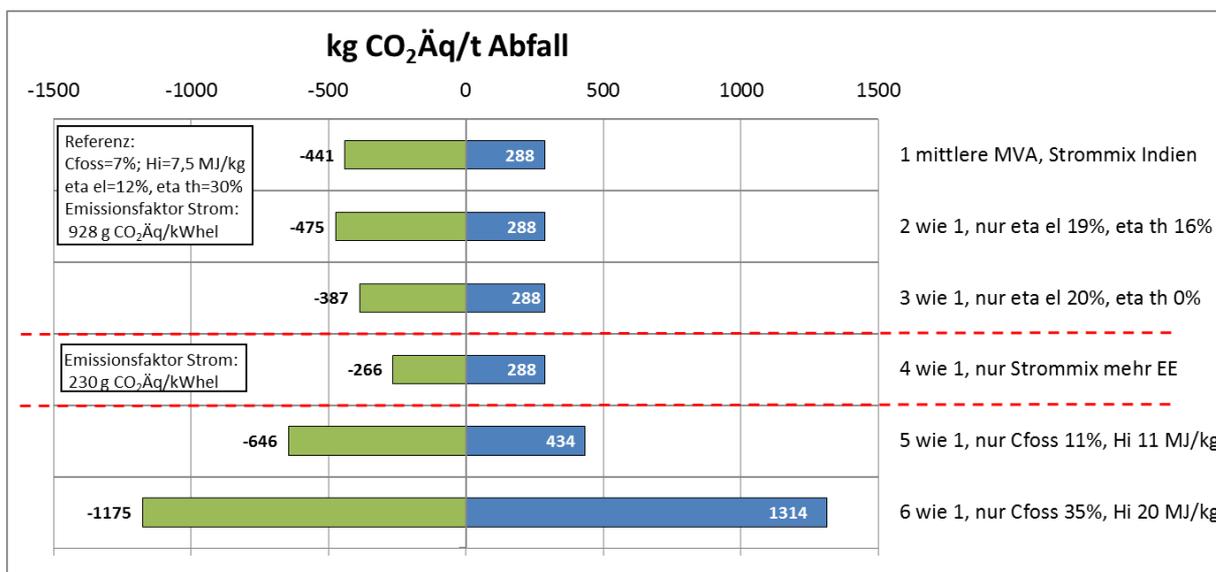
In den Fällen 2 bis 4 ist der betrachtete Abfall derselbe wie in Fall 1 (direkte Emissionen unverändert), aber die Wirkungsgrade und der Substitutionsprozess sind verändert. Fall 2 zeigt eine Variante mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von 19% und einem thermischen Wirkungsgrad von 16%, und Fall 3 eine Variante mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von 20% und einem thermischen Wirkungsgrad von 0%<sup>9</sup>. Diese Varianten zeigen, dass die kombinierte Wärme- und Stromerzeugung aus Klimaschutzsicht in der Regel zu bevorzugen ist, wobei das günstigste Verhältnis vom jeweils substitu-

<sup>9</sup> Eine MVA erzeugt Strom über eine Dampfturbine. Wird nur Strom produziert, liegt der maximale Wirkungsgrad aus thermodynamischen Gründen üblicherweise bei etwa 20% (etwas höhere Werte sind möglich durch zusätzliche technische Einrichtungen wie Überhitzer). Je höher der elektrische Wirkungsgrad desto geringer das verbleibende Potenzial zur Wärmeauskopplung. Der Grad der Wärmeerzeugung hängt üblicherweise von Vermarktungsmöglichkeiten ab.

ierten Strom- und Wärmenetz abhängt. Fall 4 zeigt eine Variante mit höheren Anteilen an Erneuerbaren Energien (EE) im Strommix, d.h. konventioneller Strom wird in größerem Umfang aus nicht-fossilen Brennstoffen erzeugt, wie z.B. in Kanada mit einem Emissionsfaktor für die Stromerzeugung von 230 g CO<sub>2</sub>Äq/kWh. In diesem Fall sind die vermiedenen Emissionen deutlich geringer und damit auch der THG-Minderungseffekt aus der Abfallverbrennung.

Die Fälle 5 und 6 zeigen Varianten der Abfalleigenschaften. Im Fall 5 sind der fossile Kohlenstoffgehalt auf 11% und der Heizwert auf 11 MJ/kg (2627 kcal/kg) festgelegt, was den angenommenen Werten für EBS mittlerer Qualität aus MBA für Bangalore entspricht (siehe Tabelle 10). In Ländern mit hohen fossilen Brennstoffanteilen für die Stromerzeugung wie Indien (hoher Anteil an Kohlestrom) führen diese Kenndaten zu einer höheren THG-Minderung, da die vermiedenen Emissionen die direkten Emissionen überwiegen (Nettoergebnis im Fall 5 ist -212 kg CO<sub>2</sub>Äq/t Abfall im Vergleich zu -153 im Fall 1). Im Fall 6 sind der fossile Kohlenstoffgehalt auf 35% und der Heizwert auf 20 MJ/kg (4777 kcal/kg) eingestellt. Diese Eigenschaften sind typisch für gemischte Kunststoffabfälle, und in diesem Fall ist das Verhältnis zwischen fossilem Kohlenstoffgehalt und Heizwert ungünstig, die direkten Emissionen überwiegen die vermiedenen Emissionen (Nettoergebnis +139 kg CO<sub>2</sub>Äq/t Abfall).

Abbildung 37: Varianten Abfallverbrennung



Die Ergebnisse zeigen, dass es sehr wichtig ist, die Abfälle zu kennen, die zur Verbrennung bestimmt sind. Insbesondere bei der Verbrennung (fossiler) Kunststoffabfälle kann es zu Klimabelastungen kommen. Darüber hinaus ist das Energiesystem von Bedeutung. Wenn bereits ein Stromnetz mit höheren EE-Anteilen gegeben ist, könnte es besser sein, mehr Wärme zu erzeugen, je nachdem, welche konventionellen Brennstoffe zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. In jedem Fall ist bei der Verbrennung von Abfällen eine ordentliche Rauchgasreinigung zwingend erforderlich, um die Belange der menschlichen Gesundheit zu berücksichtigen. Die Verbrennung muss den Emissionsstandards der SWM Rules 2016 entsprechen (siehe Kapitel 4.2).

3. Die THG-Emissionen für die **Kompostierung und Vergärung von nass/getrennt erfassten Organikabfällen** sind gekennzeichnet durch direkte Methan- (CH<sub>4</sub>) und Lachgas- (N<sub>2</sub>O) Emissionen aus der biologischen Behandlung und vermiedene Emissionen aus der Substitution von z.B. Mineraldünger, Torf oder Rindenhumus je nach Anwendung. Bei der Vergärung wird zusätzlich konventionell erzeugte Energie ersetzt.

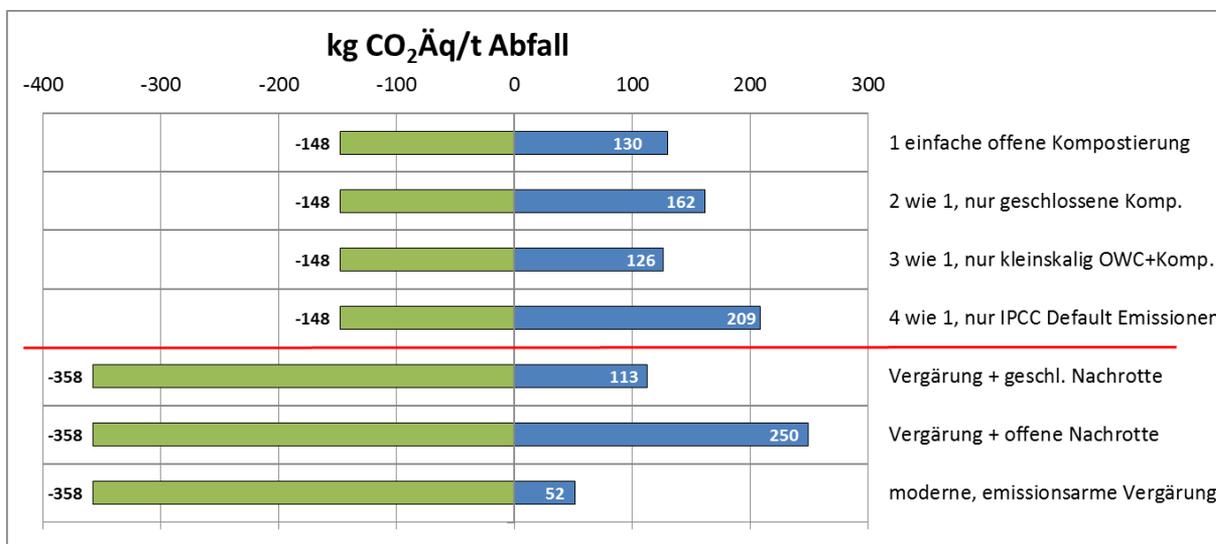
Abbildung 38 zeigt 4 Varianten für die Kompostierung und 3 Varianten für die Vergärung. In jedem dieser Fälle sind die Substitutionsprozesse gleich und ist eine durchschnittliche Kompostanwendung

in Landwirtschaft, Gartenbau und Landschaftsbau angesetzt, und für die Vergärung die gleiche Methan-erzeugung ( $60 \text{ m}^3/\text{t}$  Abfall minus 1,5% Verluste) und Nutzung im BHKW mit 30% elektrischem Net-towirkungsgrad und 32% Nettowärmenutzung<sup>10</sup>.

In den Fällen 1 bis 4 ergeben sich die Unterschiede aus unterschiedlichen direkten Emissionen ( $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ ) und dem Energiebedarf, die je nach Kompostierungssystem variieren. Fall 1 spiegelt eine durchschnittliche einfache offene Kompostierung wider. Fall 2 eine geschlossene automatisierte Kompostierung. Fall 3 eine kleinskalige Kompostierung mit Schnellkomposter (OWC) plus Kompostierung, und bei Fall 4 werden die Standard-Emissionsfaktoren von IPCC für die Kompostierung verwendet. Letztere sind die höchsten, was zu den höchsten direkten THG-Emissionen führt. Die für die Fälle 1 bis 3 verwendeten Emissionsfaktoren stammen aus einer Studie des Umweltbundesamtes (Cuhls et al. 2015) und basieren auf Feldmessungen in Deutschland. Für die Fälle 1 und 3 werden die gleichen Faktoren verwendet, für den Fall 2 sind die Faktoren etwas höher. Der Hauptunterschied zwischen diesen 3 Varianten ergibt sich aus dem Energiebedarf. Das geschlossene automatisierte System hat den höchsten Energiebedarf, das kleinskalige OWC plus Kompostierung den niedrigsten (Wert geschätzt).

Diese Ergebnisse veranschaulichen die Erkenntnisse in Cuhls et al. (2015), dass die direkten THG-Emissionen der Kompostierung nicht so sehr von High-Tech-Lösungen abhängen, sondern vielmehr von guter fachlicher Praxis. Am wichtigsten ist es, ein korrektes Oberflächen-Volumen-Verhältnis wie bei Dreiecksmieten, das richtige Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis, eine ausreichende Belüftung und ausreichend Wasser einzuhalten. Die gute fachliche Praxis für die Kompostierung mit niedrigen THG-Emissionen wird in einer Handreichung der Bundesgütegemeinschaft Kompost beschrieben (BGK 2010). Es wäre hilfreich, über entsprechende englische Leitlinien zu verfügen, um die Betreiber bei der Identifizierung der wichtigsten Aspekte für den Betrieb mit geringen THG-Emissionen zu unterstützen.

Abbildung 38: Varianten biologische Behandlung – Kompostierung und Vergärung



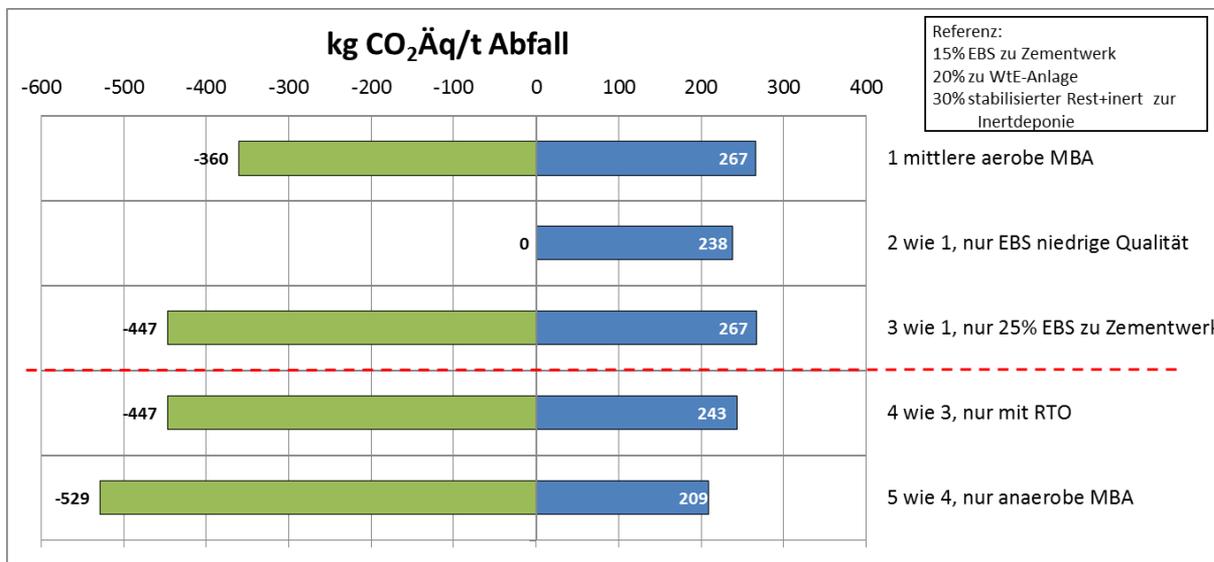
Die 3 Varianten für die Vergärung zeigen einen wesentlich höheren Einfluss der Nachrotte in Abhängigkeit der Technologie. Die offene Nachrotte des Gärrests ist mit deutlich höheren THG-Emissionen verbunden als die geschlossene Nachrotte mit Abluftfassung, saurem Wäscher und Biofilter. Die Emissionsfaktoren stammen wiederum aus Cuhls et al. (2015). Die dargestellten Ergebnisse einer modernen, emissionsarmen Vergärungsanlage entsprechen geschlossenen Anlagen mit gasdichter Lagerung

<sup>10</sup> "netto" bedeutet in diesem Fall, dass der Energiebedarf der Vergärungsanlage abgezogen ist.

für Gärreste und – besonders wichtig – einem sogenannten Aerobisierungsschritt, bei dem der Gärrest über eine geschlossene Belüftung von anaeroben auf aerobe Bedingungen umgestellt wird.

4. Die THG-Emissionen für die **mechanisch-biologische Behandlung (MBA) von Nass-/Mischabfällen** werden hauptsächlich durch die Betriebsführung und die Qualität der Produkte bestimmt. Fall 1, die Referenz, entspricht der für Bangalore in Szenario 1 berechneten MBA. Fall 2 dem Status-quo-Szenario und Fall 3 der MBA in Szenario 2. Im Fall 1 wird, basierend auf der gegebenen Abfallzusammensetzung, von einer ordentlichen Trennung von 15% EBS hoher Qualität für die Mitverbrennung im Zementwerk, 20% EBS mittlerer Qualität für die Mitverbrennung in einer WtE-Anlage und 30% stabilisiertem Rest und Inertmaterial für die Deponierung ausgegangen. Im Fall 2 führt, wie im Status-quo-Szenario für Bangalore, ungute betriebliche Praxis zu einer geringen Qualität der EBS, die deponiert werden müssen. Daher werden keine Gutschriften erzielt und die direkten Emissionen aus der Entsorgung sind nur geringfügig niedriger als bei der Verbrennung der EBS-Fraktion. Im Fall 3, wiederum basierend auf der gegebenen Abfallzusammensetzung, wird von einem höheren Aufwand für die Abtrennung und Aufbereitung der EBS-Fraktion ausgegangen, mit dem Erfolg von 25% EBS hoher Qualität zur Mitverbrennung im Zementwerk, 10% EBS mittlerer Qualität zur Mitverbrennung in einer WtE-Anlage und wiederum 30% stabilisiertem Rest und Inertmaterial zur Deponierung. Dies führt zu etwas höheren Gutschriften, da durch die Mitverbrennung im Zementwerk heizwertäquivalent Kohle ersetzt wird, was zu höheren THG-Einsparungen führt als die Substitution konventionell erzeugter Energie durch Mitverbrennung in WtE-Anlagen. Fall 4 entspricht Fall 3 mit dem einzigen Unterschied, dass eine geschlossene biologische Behandlung mit Abluftfassung und Behandlung über regenerative thermische Oxidation (RTO) angenommen wird, wodurch die direkten Emissionen aus der biologischen Behandlung reduziert werden.

Abbildung 39: Varianten mechanisch-biologischer Behandlungsanlagen (MBAs)



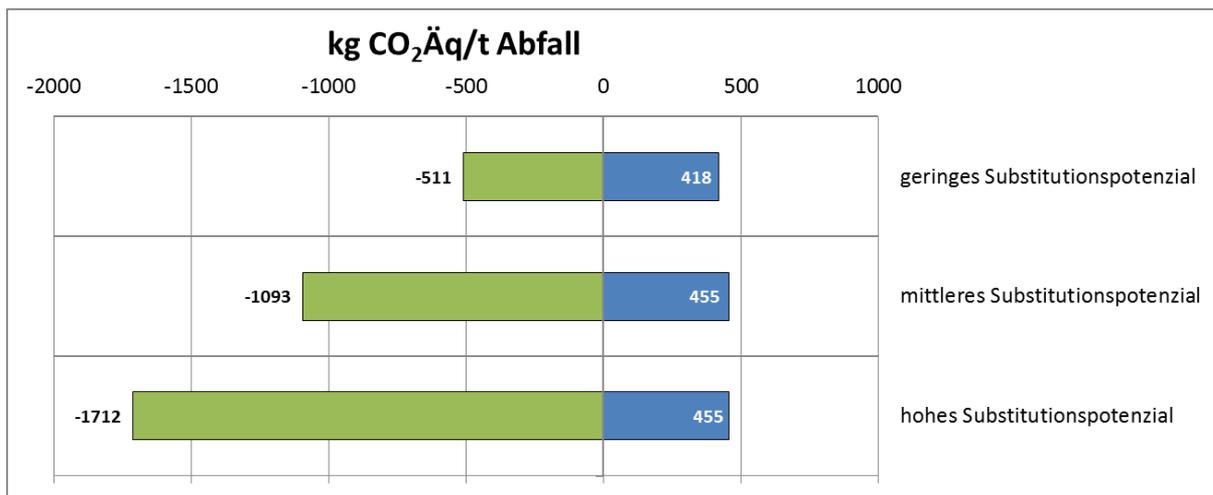
Fall 5 entspricht Fall 4, jedoch wird eine anaerobe biologische Behandlung der abgetrennten organischen Fraktion angenommen. Durch die Biogasenerzeugung entfallen die THG-Emissionen aus dem Energiebedarf (durch Biogasnutzung abgedeckt) und die Gutschriften sind höher durch überschüssige Energie aus Biogas, wodurch konventionell erzeugte Energie ersetzt wird.

Die dargestellten spezifischen THG-Ergebnisse beziehen sich auf die Massenbilanz für Bangalore basierend auf der gegebenen Abfallzusammensetzung. Aus den Ergebnissen für Bhopal wurde erkannt, dass unterschiedliche Abfallzusammensetzungen mit einem deutlich höheren Anteil an organischen Abfällen zu Nettobelastungen für die Behandlung von Nass-/Mischabfällen über MBA führen, da nur

eine kleinere EBS-Fraktion abgetrennt werden kann und die Entlastung für die Mitverbrennung dieser Fraktion die THG-Emissionen aus der biologischen Behandlung nicht kompensieren kann.

5. Die THG-Emissionen aus dem **Kunststoffrecycling** variieren je nach Qualität der gesammelten und verarbeiteten Kunststoffabfälle. Abbildung 40 veranschaulicht die THG-Ergebnisse für das Recycling von Kunststoffabfällen niedriger, mittlerer und hoher Qualität, die unterschiedliche Substitutionspotenziale aufweisen. Die niedrige Qualität besteht bei gemischten Kunststoffabfällen, die in der Regel nicht geeignet sind, Primärkunststoffe zu ersetzen. Der erzeugte Sekundärrohstoff wird im Allgemeinen für grobe, dickwandige Produkte wie Palisaden oder Bänke verwendet und kann nur teilweise primäres Polyethylen und sonst Holz oder Beton ersetzen. Die Kunststoffabfälle mittlerer und hoher Qualität bestehen nach wie vor aus Mischkunststoffen, aber auch aus abgetrennten reinen Kunststoffarten wie PE und PET. Die Kunststoffabfälle hoher Qualität bestehen aus Materialien, die nach Masse 100% Primärmaterial ersetzen können, die Kunststoffabfälle mittlerer Qualität aus Material, das nach Masse 70% Primärmaterial ersetzen kann (Substitutionsfaktor).

Abbildung 40: Varianten Kunststoffrecycling



Für Indien wird in den THG-Berechnungen von minderwertigen Kunststoffabfällen mit geringem Substitutionspotenzial ausgegangen. was bedeutet, dass für das Kunststoffrecycling noch ein hohes Potenzial für eine weitere Erhöhung der THG-Minderung besteht.

## 10 Zusammenhang der Ökobilanzmethode und Anforderungen (MRV) für NAMAs oder NDCs

Die Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft dient der Entscheidungshilfe. Die Randbedingungen und methodischen Übereinkünfte (Kapitel 13.1) ermöglichen die Bewertung verschiedener Entsorgungsoptionen für eine bestimmte Abfallmenge. Entscheidend ist, dass alle Emissionen im Zusammenhang mit der Abfallwirtschaft berücksichtigt werden. Alle direkten Emissionen einer bestimmten Abfallmenge sind berücksichtigt, auch wenn diese Emissionen in der Zukunft liegen, wie bei Methanemissionen aus der Deponierung, und alle potenziell vermiedenen Emissionen sind berücksichtigt, wodurch die Leistungen der Abfallwirtschaft wie Recycling oder Energierückgewinnung gezeigt werden. Die Ökobilanzmethode ermöglicht es daher, Auswirkungen verschiedener abfallwirtschaftlicher Entscheidungen für eine bestimmte Abfallmenge zu modellieren und zu vergleichen, unabhängig davon, wann die Emissionen auftreten.

Überwachung, Berichterstattung und Verifizierung (MRV) wird typischerweise eingesetzt, um Minderungsmaßnahmen zu verfolgen. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls erfolgt die Überwachung und Be-

richterstattung jährlich oder alle zwei Jahre anhand der Nationalen Inventarberichte (NIR) der Anhang I-Länder<sup>11</sup> oder den Zweijährigen Aktualisierungsberichten (Biennial Update Reports, BURs) der Nicht-Anhang I-Länder, die Teil der Nationalen Kommunikationen sind. MRV Systeme sollen die gemeinsamen internationalen Berichterstattungsanforderungen der UNFCCC erfüllen, um Emissionen und Emissionsreduktionen im Hinblick auf das Minderungsziel verfolgen zu können (GIZ 2013). Nationale Inventarberichte beinhalten Nationale THG-Inventare, die den Richtlinien des IPCC entsprechen (IPCC 2006). Dasselbe gilt für BURs mit dem Unterschied, dass Nicht-Anhang I-Länder die Anforderungen erfüllen müssen, soweit es ihre Kapazitäten zulassen (UNFCCC 2003). Die IPCC-Richtlinien unterscheiden Emissionen aus den Bereichen Energie, Industrie, Landwirtschaft, Landnutzung/-nutzungsänderung und Forstwirtschaft sowie Abfall.

Im Gegensatz zur Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft ist der Abfallsektor im THG-Inventar auf nicht-energetische Emissionen beschränkt und umfasst im Wesentlichen die Deponierung, die biologische Behandlung (Kompostierung, Vergärung ohne Biogasnutzung), die offene Verbrennung und Verbrennung ohne Energieerzeugung sowie die mechanisch-biologische Behandlung. Die ausgewiesenen Emissionen aus der Deponierung sind Emissionen im Berichtsjahr, die sich aus den in früheren Jahren abgelagerten Abfallmengen ergeben. Die Verbrennung mit Energieerzeugung und Biogasnutzung wird im Energiesektor ausgewiesen und das Recycling ist indirekt im Industriesektor enthalten. Die Anrechnung von THG-Emissionen, die durch die Abfallwirtschaft in anderen Sektoren eingespart werden können, ist keine Option, um Doppelbilanzierung zu vermeiden.

**Im Vergleich der Ökobilanzmethode und dem THG-Inventar zeigt sich also, dass zwei Aspekte grundlegende Gegensätze sind: (1) Deponierung von Abfällen und (2) Berücksichtigung potenziell vermiedener Emissionen.**

MRV ist auch für NAMAs<sup>12</sup> bzw. NDCs<sup>13</sup> erforderlich, obwohl es vorerst keine harmonisierte oder vereinbarte Methode gibt, wie MRV in diesem Zusammenhang implementiert werden soll. Die Empfehlung für NAMAs ist, Vorab-Schätzungen vorzunehmen, die auf der Anwendung international anerkannter Methoden basieren sollten, wie beispielsweise CDM-Methoden, die Emissionsreduktionen quantifizieren und Doppelzählungen vermeiden (GIZ 2016). Dies bezieht sich auf die Berichtsanforderungen für THG-Inventare.

Allerdings ist es bei Abfall-NAMAs oder NDCs für den Abfallsektor für Entscheidungsträger sehr schwierig, verschiedene Strategien der Abfallwirtschaft auf der Grundlage des THG-Inventars zu beurteilen. Die darin berechneten und gemeldeten Emissionen umfassen nicht alle relevanten Folgen, die sich aus verschiedenen abfallwirtschaftlichen Optionen ergeben. Dies ist nur mit der Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft möglich.

Daher wird empfohlen, beide Verfahren für das MRV im Abfallsektor zu verwenden. Beide sind wichtig, die Ökobilanzmethode, um alle Auswirkungen zu erfassen, die mit künftigen abfallwirtschaftlichen

<sup>11</sup> Anhang I-Länder sind Länder, die das Kyoto-Protokoll von 1997 ratifiziert haben. Die meisten sind Industrieländer. Nicht-Anhang I-Länder sind Länder, die dem Protokoll beigetreten oder es gegenüber UNFCCC ratifiziert haben, aber nicht in Anhang I des Übereinkommens stehen. Die Mehrheit sind Entwicklungs- und Schwellenländer mit geringem Einkommen. Nicht-Anhang I-Länder haben keine verbindlichen Verpflichtungen zur Reduzierung ihrer Emissionen im Rahmen des Kyoto-Protokolls.

<sup>12</sup> Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) sind freiwillige Maßnahmen zur Reduzierung von THG-Emissionen in Entwicklungsländern. Nach der Kopenhagener Vereinbarung von 2009 und den Cancun-Abkommen von 2010 haben sich die Entwicklungsländer darauf geeinigt, NAMAs mit Unterstützung der Industrieländer umzusetzen. NAMAs sind wichtige Instrumente und Bausteine für die Umsetzung von NDCs.

<sup>13</sup> Nationally Determined Contributions (NDCs) sind Teil des Pariser Abkommens von 2015 und formalisieren Intended National Determined Contributions (INDC), die zuvor von allen Ländern vorbereitet wurden. Das Pariser Abkommen verpflichtet jede Vertragspartei, aufeinanderfolgende NDCs (alle 5 Jahre), die sie erreichen will, vorzubereiten, zu kommunizieren und aufrechtzuerhalten.

Optionen verbunden sind und das THG-Inventar, um den gesamtwirtschaftlichen Fortschritt gegenüber UNFCCC ohne Doppelzählungen zu berichten. **Die beiden Methoden – Ökobilanzmethode und THG-Inventar – können nicht zu einer einzigen Methode zusammengeführt werden, um beide Aspekte zu erfüllen. Im Gegenteil, es wird empfohlen, eine Schnittstelle zwischen den beiden Methoden zu entwickeln und zu verwenden.**

Daher sollten die THG-Emissionen aus der Abfallwirtschaft unterschieden werden in:

1. Emissionen aus der Deponierung
2. direkte und vermiedene Emissionen aus dem Recycling
3. andere direkte Emissionen
4. andere vermiedene Emissionen

Die einfachste Verknüpfung kann für Punkt 3 vorgenommen werden. "Andere direkte Emissionen" sind hier direkte THG-Emissionen aus der Kompostierung, Vergärung mit Biogasnutzung, offenen Verbrennung und Verbrennung mit und ohne Energieerzeugung und die mechanisch-biologische Behandlung. Diese Emissionen sind in den Ökobilanzergebnissen und im THG-Inventar gleich. Es würde nur eine Formatvorlage mit den passenden Verknüpfungen benötigt.

Direkte Emissionen aus dem Recycling sind in obiger Auflistung separat aufgeführt, da sie im THG-Inventar nicht adressiert werden. Sie könnten jedoch addiert werden, da keine Doppelbilanzierung stattfindet. Normalerweise werden sie nicht im THG-Inventar erfasst, da Recycling nicht als relevante Emissionskategorie identifiziert ist.

Schwierigkeiten für eine Schnittstelle ergeben sich für die beiden gegensätzlichen Aspekte "Emissionen aus der Deponierung" und "vermiedene Emissionen".

Vermiedene Emissionen können nicht direkt mit dem THG-Inventar verknüpft werden, da sie potenziell vermieden werden und das technische Substitutionspotenzial, nicht das Marktpotenzial widerspiegeln (siehe Kapitel 13.1). Darüber hinaus können in der Regel Im- und Exporte von Waren oder Abfallstoffen aufgrund von Datendefiziten nicht richtig eingeordnet werden. Vermiedene Emissionen aus der Primärproduktion importierter Güter spiegeln sich nicht im Nationalen Inventar wider, sondern im Inventar des Produktionslandes. Für die vermiedenen Emissionen aus den Ökobilanzergebnissen wird empfohlen, eine eigene Berichtsvorlage zu erstellen, in dem die Ergebnisse nur zu Informationszwecken dokumentiert werden. Diese Vorlage sollte auch Informationen über die Berechnungsgrundlage und die relevantesten verwendeten Eingangsparameter bzw. Emissionsfaktoren enthalten, inklusive Quellenangabe und Kurzbeschreibung.

Emissionen aus der Deponierung können nicht zwischen Ökobilanzergebnissen und THG-Inventar verknüpft werden, da die Berechnungsgrundlage völlig unterschiedlich ist. Dennoch ist eine Verknüpfung in Bezug auf die zur Berechnung verwendeten Eingangsparameter wie DOC, DOCf, etc. möglich. Darüber hinaus könnten die Ökobilanzergebnisse auch in einer Zeitreihe bereitgestellt werden. Dies ist normalerweise nicht wichtig, da alle zukünftigen Emissionen über den 100-Jahreszeithorizont der deponierten Abfallmenge zugeschrieben werden und normalerweise ist es nicht relevant, zu welchem Zeitpunkt diese Emissionen auftreten. Eine Zeitreihe kann jedoch bei der Entscheidung über zwischenzeitliche Maßnahmen hilfreich sein. Beispielsweise könnte es für Entscheidungsträger wichtig sein, zu beurteilen, bis wann spätestens eine derzeit angenommene Deponierung geändert oder modifiziert werden sollte, um bestimmte Ziele zu erreichen. Eine Zeitreihe kann einfach mit dem k-Faktor nach IPCC berechnet werden (Zerfallsrate konstant in  $a^{-1}$  für verschiedene Klimazonen und Abfallfraktionen). Kumuliert über den Zeithorizont entsprechen die Ergebnisse den Ökobilanzergebnissen.

Der empfohlene Ansatz lässt sich leicht umsetzen. Im Vergleich dazu ist der viel wichtigere Faktor für MRV und ebenso Ökobilanzen die Datenqualität. Die gesammelten Daten, die verwendeten Daten und

die Berechnungsergebnisse sollten zuverlässig sein, und deshalb ist ein offener und transparenter Zugang zu Informationen erforderlich. Darüber hinaus sollten die Daten korrekt und vollständig sein. Datenunsicherheiten und/oder Datenlücken müssen transparent berichtet werden. Die Datenqualität ist ein entscheidender Aspekt, nicht nur, um die THG-Minderung eines Landes richtig beurteilen zu können, sondern insbesondere für S+E-Länder auch im Hinblick auf den Zugang zu Klimafinanzierungen und die Teilnahme an Marktmechanismen, um den Gebern die Minderung von Emissionen und Auswirkungen aufzuzeigen, das Vertrauen zwischen den Parteien zu stärken und die Berichtspflichten gegenüber UNFCCC zu erfüllen.

Die THG-Ergebnisse für die drei in dieser Studie vorgestellten Städte sind nicht akkurat, aufgrund der unzureichenden Qualität der Datenbasis. Obwohl die Größenordnung für die THG-Minderung durch Abkehr von der Deponierung robust ist, würden solche THG-Ergebnisse nicht für eine Finanzierung akzeptiert werden. Um Zugang zu Klimafinanzierungen zu erhalten, ist die Verbesserung der Erhebung und Zusammenstellung von Daten nicht nur für Indien und indische Städte, sondern auch für die meisten S+E-Länder ein Muss.

## 11 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### 11.1 Aus den THG-Ergebnissen und Beobachtungen

Die Zunahme des Abfallaufkommens und die Veränderung der Abfallzusammensetzung infolge des Bevölkerungswachstums und der schnellen Änderung des Lebensstils stellen Indien und indische Städte vor Schwierigkeiten bei der Einführung eines integrierten Abfallmanagementsystems. Die herausfordernde Situation wurde in den 3 ausgewählten Städten offensichtlich durch die sehr schwierige Datenlage und die Ist-Situation der Abfallbehandlung.

Daten sind grundsätzlich verfügbar, wie z.B. in Bhopal, wo die erfassten und zur Deponie Bhanpura verbrachten Abfälle gewogen werden, oder in Bangalore, wo MBAs mit einer Wiegebrücke ausgestattet sind und die DWCCs die angelieferten Trockenabfälle wiegen. Letztere erfassen die Daten jedoch manchmal nur in handschriftlicher Form, und im Allgemeinen sind Daten nicht auf zentraler Ebene verfügbar. Darüber hinaus fallen Daten zu Siedlungsabfällen, die vom informellen Sektor verarbeitet werden, oder Daten von Massenabfallerzeugern – Appartements und Hochhäuser, Hotels, Kantinen, etc. – nicht in den Aufgabenbereich der Behörden. Dies ist bedauerlich, da anzunehmen ist, dass Abfälle von Massenabfallerzeugern einen signifikanten Anteil an den gesamten Siedlungsabfällen ausmachen. Obwohl sie von der Privatwirtschaft gesammelt und größtenteils behandelt werden, landen relevante Mengen an nicht verwertbaren oder nicht marktfähigen Abfällen von Massenabfallerzeugern wieder in kommunalen Abfallbehandlungs- und Entsorgungseinrichtungen. Da keine Aufzeichnungen über Abfälle aus diesen oder anderen Quellen vorliegen, wird die ordentliche Planung von Abfallwirtschaftsanlagen behindert und Möglichkeiten zur allgemeinen Verbesserung von Abfallwirtschaftssystemen gehen verloren. Die Einbeziehung der Abfälle von Massenabfallerzeugern in die THG-Bilanz würde möglicherweise auch das Netto-THG-Einsparpotenzial erhöhen.

Der informelle Sektor in Indien ist ein Haupttreiber für Recyclingaktivitäten. Das informelle Recycling hat eine lange Tradition und ist gut organisiert und marktorientiert. Die Einbeziehung dieser Aktivitäten in die THG-Bilanz würde das Potenzial für Netto-THG-Einsparungen erheblich erhöhen. Darüber hinaus sollte die Integration in das Abfallwirtschaftssystem berücksichtigt werden, um zur Verbesserung der teilweise ungesunden Arbeitsbedingungen und zur Schaffung nachhaltiger Lebensgrundlagen für die Menschen beizutragen, die als Müllsammler arbeiten.

Die Siedlungsabfallbehandlung in den drei Städten ist gekennzeichnet durch relevante Mengen an nicht erfassten Abfällen wie in Bangalore und Haridwar und durch gesammelte Abfälle, die unbehandelt und oft unkontrolliert deponiert werden, wie in Bhopal und Haridwar. Bangalore zielt darauf ab, gesammelte Abfälle über DWCCs, MBAs und auch kleine Biomethanisierungsanlagen zu behandeln.

Viele dieser Anlagen waren jedoch zum Zeitpunkt der Datenerhebung 2016/2017 außer Betrieb und/oder nicht ordnungsgemäß in Betrieb. Gründe für den Stillstand der MBAs waren zum einen Blockaden von protestierenden Bürgern, Stromabschaltung aufgrund unbezahlter Rechnungen oder ein EBS-Lagerbrand. Andererseits verstopften die angelieferten Nass-/Mischabfälle, die aus langem, seilartigem Textilmaterial bestehen, regelmäßig die Trommelsiebe und verhinderten eine ordentliche Trennung von EBS und organischer Abfallfraktion, was zu qualitativ minderwertigen Produkten führte, die nicht bzw. kaum marktfähig waren.

Neben Datenlücken und technischen Problemen stellen Verwaltungskapazitäten, hohe Personalfluktuation sowie der Mangel an Mitteln und Systemen zur Kostendeckung erhebliche Herausforderungen für die Planung, organisatorische Umsetzung und Kontrolle der kommunalen Abfallwirtschaft in indischen Städten dar.

Aber in vielerlei Hinsicht ist Indien auf einem guten Weg. Wichtige nationale und regionale Programme unterstützen die kommunalen Körperschaften teilweise finanziell. Die überarbeiteten SWM Rules 2016 schreiben eine ordnungsgemäße Abfallwirtschaft vor, und das MSWM Manual 2016 unterstützt die Behörden bei der Entwicklung von kommunalen Abfallwirtschaftsplänen. Die vielen Initiativen auf der Basisebene, die von NGOs bis hin zu anderen privaten oder freiwilligen Aktivitäten reichen, können und sollten in die Abfallwirtschaftsplanung integriert werden. Um den Klimaschutz zu adressieren, gehen die indischen Regeln und Verordnungen bereits den wichtigsten Aspekt an. Insbesondere die obligatorische Abkehr von der Deponierung, die in den Optimierungsszenarien berücksichtigt ist, hat die größten Auswirkungen auf den Klimawandel.

Abfalldaten und Überwachung sind von großer Bedeutung, nicht nur, um zuverlässige THG-Ergebnisse zu ermöglichen, sondern auch um die Mengen und Abfalleigenschaften zu kennen und integrierte Abfallwirtschaftssysteme zu planen. Die Situation bei Daten und Informationen, wie sie 2016/2017 angefallen wurde, verhindert eine Genauigkeit der in dieser Studie berechneten THG-Ergebnisse. Der Status quo und die Szenarien mussten auf verschiedenen Annahmen beruhen, weshalb die THG-Ergebnisse nicht als ein genaues Abbild der Realität in den drei indischen Städten angesehen werden sollten und daher nicht verbindlich sind. Dennoch ist die Größenordnung für die THG-Minderung durch Abkehr von der Deponierung robust. Darüber hinaus zeigen die THG-Szenarien die Möglichkeiten des Klimaschutzes durch integrierte Abfallwirtschaft auf. Um dies zu erreichen, müssen jedoch einige große Hindernisse angegangen werden:

1. Für Kommunen ist es unerlässlich, das gesamte Abfallaufkommen zu kennen, einschließlich der anfallenden Abfälle von Massenabfallerzeugern, um ausreichende Behandlungskapazitäten zu planen. Sie müssen ein umfassendes Datenerfassungs- und Überwachungssystem für Siedlungsabfall aufbauen. Die Daten zur Abfallsammlung sollten digital erfasst und an ein Zentralregister gemeldet werden. Dies könnte von der Erfassung und Zusammenstellung von Wiegedaten auf Betriebsebene über Daten von NGOs und der Privatwirtschaft bis hin zur Einbeziehung von Daten reichen, die durch webbasierte Anwendungen für den privaten bzw. informellen Sektor wie z.B. mit der App "I got garbage" erhoben werden. Die Abfallsammler nutzen die App, um die gesammelte Menge zu melden.
2. Die Abfallzusammensetzung, die Abfalleigenschaften, sind maßgeblich für die Entscheidung über geeignete Behandlungsmöglichkeiten. Zum Beispiel zeigen die Ergebnisse für Bhopal, dass Städte mit einem hohen Anteil an organischen Abfällen große Anstrengungen für die getrennte Erfassung von nassen/organischen Abfällen und einer guten professionellen Kompostierung (oder einer modernen anaeroben Vergärung) unternehmen sollten, um hochwertigen Kompost zu erhalten. Darüber hinaus dürfte die Behandlung von Nass-/Mischabfällen, die nach der getrennten Erfassung verbleiben, in einer MBA zu weiteren Netto-THG-Belastungen führen. Repräsentative Probenahme und Analysen gemäß dem MSWM Manual 2016 sind Voraussetzung für die Planung und Umsetzung des Abfallwirtschaftssystems.

3. Darüber hinaus wird dringend empfohlen, vor der Implementierung einer Abfallbehandlungsanlage Pilotversuche mit gesammelten Siedlungsabfällen durchzuführen, um Ausfälle zu vermeiden, wie sie bei den MBAs in Bangalore beobachtet wurden. Die Kenntnis der Abfälle hilft, geeignete Trennschritte zu planen und Qualitätsprodukte zu erzeugen.
4. Insbesondere die Produktion von Qualitätskompost benötigt keine High-Tech-Anlagen, sondern eine getrennte Erfassung von nassen/organischen Abfällen und einen guten professionellen Betrieb. Dass dies möglich ist, wurde in der KCDC-Anlage in Bangalore lange Zeit bewiesen, bevor ein Wechsel im Abfallwirtschaftssystem in Bangalore diese auf die Behandlung von Nass-/Mischabfällen umstellte. Gute fachliche Praxis der Kompostierung mit niedrigen THG-Emissionen wird z.B. in einer Handreichung beschrieben (BGK 2010). Es wäre hilfreich, über entsprechende englischsprachige Leitlinien zu verfügen, um die Betreiber bei der Identifizierung der wichtigsten Aspekte für einen Betrieb mit geringen THG-Emissionen zu unterstützen.
5. Ein weiterer Aspekt, der vor allem für Bangalore von Bedeutung ist, sind die relevanten Siedlungsabfallmengen, die unkontrolliert auf Deponien und/oder Steinbrüchen landen und erhebliche Probleme verursachen, wie z.B. den brennenden Bellandur-See im Februar 2017. Abgesehen von der Notwendigkeit, die Abfallsammlung zu verbessern, müssen diese Standorte ermittelt, gesichert und weiteres Dumping verhindert werden. Dies kann entweder durch Kartierung durch Task Forces geschehen oder die Fernerkundung kann eine Möglichkeit sein.
6. Für die zukünftige Optimierung wird die getrennte Erfassung, wie sie in den Szenarien 1 und 2 vorgeschlagen wird, als Schlüssel zu sortenreinen Abfallfraktionen gesehen, die Qualitätsprodukte und hohe Recyclingquoten ermöglichen. Obwohl technische Sortierlösungen eine Alternative für Trockenabfälle sein können, sollten zumindest organische Abfälle getrennt erfasst und nicht mit anderen Restabfällen vermischt werden, da dies die organische Fraktion irreversibel verunreinigen würde. Die Realisierung der getrennten Erfassung ist in kleineren Städten sicherlich einfacher, aber auch in Groß-/Megastädten zumindest in den weniger dicht bebauten oder einkommensstärkeren Gebieten möglich. Die getrennte Erfassung erfordert keine hohen Investitionen in Infrastruktur, sondern ausreichende Container und geeignete Transporteinrichtungen. Die Hauptinvestitionen müssen in die persönliche Beratung der Bürger und berufliche Bildung der Abfallsammler fließen. Anreize für die Bürger, die Abfälle zu trennen, sollten berücksichtigt werden.
7. Im Allgemeinen wird für die zukünftige Optimierung eine schrittweise Einführung von Entsorgungsoptionen empfohlen, wie die Szenarien 1 und 2 zeigen. In Haridwar könnte die neu errichtete Abfallwirtschaftsanlage für einen streng getrennten 2-Linien-Betrieb von getrennt erfassten nassen/organischen Abfällen und restlichen Nass-/Mischabfällen genutzt werden. In Bangalore könnten einige der bestehenden MBAs ausschließlich für die Verarbeitung von Nass-/getrennt erfassten Organikabfällen verwendet werden, wie dies in der KCDC-Anlage früher der Fall war, während die verbleibenden MBAs weiterhin die restlichen Nass/Mischabfälle verarbeiten. Für Bhopal sind neue Anlagen notwendig.

Obwohl Szenario 2 nicht darauf abzielt, das maximal mögliche Minderungspotenzial zu erreichen, zeigen sowohl Szenario 1 als auch 2 beträchtliche THG-Minderungen. Beide Szenarien werden als realisierbar und vergleichsweise einfach und kostengünstig zu implementieren angesehen. Die für Szenario 2 vorgeschlagenen modernen Vergärungsanlagen oder die Anwendung der WtE-Technologie erfordern jedoch höhere Investitionen, die wahrscheinlich nicht durch Einnahmen aus dem Verkauf von Biogas und Kompost bzw. der erzeugten Energie gedeckt werden. Andere Finanzierungsquellen wie kostendeckende Abfallgebühren sollten als unvermeidlich angesehen werden. Das Gebührenniveau sollte sozial gerecht sein und könnte durch günstige Energietarife, Herstellerverantwortung und/oder zusätzliche Mittel aus Produktgebühren und durch Förderprogramme auf nationaler und/oder staatlicher Ebene unterstützt und gesenkt werden.

8. Darüber hinaus wird zumindest für mittlere und große Städte eine Abfallverbrennung nach der getrennten Erfassung und Abfallbehandlung als notwendig erachtet. Dies ist auch eine Option für EBS-Fractionen, die nicht für die Mitverbrennung in Zementwerken verwendet werden können oder für Sortierreste und Verunreinigungen aus der Vorbehandlung von Abfällen. Der in Indien anfallende Siedlungsabfall ist aufgrund eines niedrigen Heizwertes üblicherweise nicht für die Verbrennung geeignet. Auch hier gilt es, geeignete Fraktionen durch Analyse zu identifizieren und den zu verbrennenden Abfall für die Betriebsparameter der Anlage anzupassen.

Cluster WtE und/oder Mitverbrennung in WtE-Anlagen für landwirtschaftliche Reststoffe sind Optionen für kleinere Abfallströme, da WtE-Anlagen einen minimalen Durchsatz an geeignetem Material benötigen, um wirtschaftlich rentabel zu sein. Dies kann für die verbleibende Nass-/Mischabfallfraktion für Bangalore gegeben sein, wie in Szenario 2b gezeigt. Sollten jedoch die Annahmen zu den Abfalleigenschaften zutreffen, spielt es aus Klimaschutzsicht keine Rolle, welches der beiden Konzepte – Szenario 2a mit MBA und Qualitäts-EBS zur Mitverbrennung im Zementwerk oder Szenario 2b mit WtE-Anlage – eine Stadt wählt.

9. Generell sollten Kommunen Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit anderen Städten oder anderen Wirtschaftssektoren prüfen, um z.B. Cluster-WtE-Konzepte, die Mitverbrennung im Zementwerk, die Mitverbrennung in WtE-Anlagen für landwirtschaftliche Reststoffe oder die Mitbehandlung von organischen Abfällen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu realisieren. Diese Zusammenarbeit erfordert jedoch stabile, längerfristige Verbindlichkeiten für alle Seiten auf der Grundlage klarer Verträge. In jedem Fall ist bei der Abfallverbrennung eine ordentliche Rauchgasreinigung zwingend erforderlich, um die Belange der menschlichen Gesundheit zu berücksichtigen. Der Betrieb der Verbrennungsanlage muss den Emissionsstandards der SWM Rules 2016 entsprechen, und auch für die Mitbehandlung von Abfällen im industriellen oder landwirtschaftlichen Bereich muss immer zuerst geprüft werden, ob dies den Umwelanforderungen entspricht.
10. Die Leiter von kommunalen Kooperationen, Städten und Staaten müssen davon überzeugt werden, den Entwicklungsplänen für den Abfallsektor mehr Gewicht zu verleihen und ausreichende Ressourcen für die Verbesserung der Abfallwirtschaft bereitzustellen. Es besteht nach wie vor Bedarf an mehr und anderen Formen der Finanzierung. Es sind finanzielle Mittel erforderlich und können bis zu einem gewissen Grad bereitgestellt werden, indem die Anforderung der SWM Rules 2016 bezüglich Nutzungsentgelte für die Abfallentsorgung umgesetzt wird. Zusätzlich sollten klimaschutzbezogene Finanzierungen für die Entwicklung geeigneter und klimafreundlicher integrierter Abfallwirtschaftssysteme und -infrastrukturen in Betracht gezogen werden.

## 11.2 Aus den Hochrechnungen für Städtecluster

Die Extrapolation der THG-Ergebnisse für Städtecluster zeigt, dass der potenzielle Beitrag von kleineren Städten zur nationalen THG-Minderung relevant ist und nicht vernachlässigt werden sollte.

In Groß-/Megastädten umgesetzte Großprojekte haben durchaus ein erhebliches Klimaschutzpotenzial. International sowie im Bereich Klimaschutz und Finanzen erhalten Megastädte Aufmerksamkeit und haben Möglichkeiten zur Unterstützung ihrer Großprojekte, da die benötigten Volumina den Anforderungen von Banken und Finanziers entsprechen. Große und mittlere Städte können den Vorteil einer zentralen Verwaltung, eines hohen Bevölkerungsanteils und mehr Kapazität für die Planung und Durchführung technischer und finanziell realisierbarer Projekte haben als kleinere Städte.

In kleineren Städten könnten jedoch die Möglichkeiten für eine intakte getrennte Erfassung höher sein, was die Voraussetzung für eine effiziente Behandlung von Wertstoffen und organischen Abfällen ist. Es könnte relativ einfach sein, die lokale Bevölkerung zu motivieren, den Nutzen für die Beteiligten zu kommunizieren und Nutzungsentgelte für bessere Dienstleistungen zu erheben. Die in Städten dieser Größenordnung angewandten Technologien wie die Kompostierung könnten schneller umzuset-

zen sowie einfacher zu betreiben sein und der erzeugte Qualitätskompost könnte über regionale Absatzmärkte in der Region und den umliegenden ländlichen Gemeinden besser zu vermarkten sein. Darüber hinaus könnten sie Einkommens- und/oder Beschäftigungsmöglichkeiten als Synergienutzen schaffen. Kapazitätsaufbau ist notwendig, erfordert aber nicht das Maß an hochspezialisierten Ingenieurskenntnissen, wie es eine große Verbrennungsanlage oder eine moderne Vergärungsanlage erfordern würden. Wenn also kleinere Städte Zugang zu Programmen erhalten würden, die standardisierte technische Lösungen, Kapazitätsaufbau und finanzielle Unterstützung bieten und sie in Lage versetzen, abfallwirtschaftliche Lösungen in ihrem Maßstab umzusetzen, könnten sie beträchtlich zu den nationalen Klimaschutzbemühungen beitragen.

Neben der Adressierung von Mega- und mittelgroßen Städten könnte daher von Entscheidungsträgern erwogen werden, die Unterstützung für kleinere Städte im Abfallsektor zu erweitern. Ein solches Programm sollte Schulungen zu Abfallprobenahme und Abfallanalyse in den kleineren Städten umfassen oder z.B. die Entwicklung standardisierter Kleinanlagen für die biologische Behandlung unterstützen. Ein idealer Effekt wäre, wenn sich die Unternehmen auf solche "kleinskaligen Lösungen" wie z.B. die Kompostierung spezialisieren würden, da der Skaleneffekt anderen Städten zugutekäme. Diese Projekte könnten auf regionaler oder nationaler Ebene gebündelt werden, so dass sich Finanzierungsinstitutionen und Klimafonds beteiligen können, da der Finanzierungsumfang groß genug ist. Durch die Neuverteilung der Mittel könnten kleinere Städte in der Lage sein, einige der ersten Herausforderungen bei der Entwicklung ihrer Abfallwirtschaftssysteme zu bewältigen.

## 12 Quellenangaben

- BBMP (2016a): City Statistics. <http://bbmp.gov.in/documents/10180/512162/City+Statistics+New+Microsoft+Office+Word+Document.pdf/148f685d-58cd-402c-9c5c-bccb344eda2d>. Access 10.03.2016
- BBMP (2016b): Solid Waste Management Overview. Retrieved from: <http://bbmp.gov.in/solid-waste-management>. <http://bbmp.gov.in/documents/10180/512162/Overview.pdf>. Access Nov. 2016.
- BDA (2005): Draft Master Plan - 2015. Bangalore Development Authority (BDA). 2005. <http://www.bdabangalore.org/brochure.pdf>. Access 12.08.2016.
- BGK (2010): Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase. Bundesgütegemeinschaft Kompost (Hg). 1. Auflage November 2010. [https://www.kompost.de/uploads/media/6.4\\_1\\_Kompostierungsanlagen\\_geringe\\_Emission\\_internet.pdf](https://www.kompost.de/uploads/media/6.4_1_Kompostierungsanlagen_geringe_Emission_internet.pdf). Last access 05.04.2018.
- BMC website (2017): Bhopal Municipal Corporation. <http://www.bhopalmunicipal.com/>. Access 22.06.2017.
- BMC (2006): Bhopal Municipal Corporation: Bhopal City Development Plan - JNNURM. Bhopal: Bhopal Municipal Corporation. [http://www.mpurban.gov.in/Pdf/CDP/Bhopal%20CDP\\_Final%20.pdf](http://www.mpurban.gov.in/Pdf/CDP/Bhopal%20CDP_Final%20.pdf). Access 07.03.2017.
- CDIA (2015): Cities Development Initiative for Asia: Pre-Feasibility Study – Bhopal Solid Waste Management – Executive Summary. [http://www.cdia.asia/wp-content/uploads/2015/12/IND\\_Bhopal\\_ES.pdf](http://www.cdia.asia/wp-content/uploads/2015/12/IND_Bhopal_ES.pdf). Access 07.03.2017.
- CPCB (2016): Central Pollution Control Board: Inspection Report on Solid Waste Management at Haridwar and Integrated SW Management Facility (under construction) at Sarai. Haridwar. [http://www.cpcb.nic.in/Report\\_on\\_Haridwar.pdf](http://www.cpcb.nic.in/Report_on_Haridwar.pdf). Access 20.02.2017.
- CPCB (2011): Central Pollution Control Board: Status Report on Municipal Solid Waste Management 2010-11.
- Cuhls, C., Mähl, B., Clemens, J. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 39/2015. Dessau-Roßlau. April 2015.
- Dasgupta, T. (2016): Proposal for Infrastructure development of Adampur Landfill Site at Bhopal in MP. Published in International Journal of Advances in Engineering & Technology. <http://www.ijaet.org/media/8130-IJAET0830233-v8-iss6-pp958-964.pdf>. Access 22.06.2017.
- Dehoust, G., Schüler, D., Vogt, R., Giegrich, J. (2010): Climate Protection Potentials in the Waste Management Sector. Examples: Municipal Solid Waste and Waste Wood. UBA-Texte 61/2010. Project No. (FKZ) 3708 31 302. <https://www.umweltbundes->

[amt.de/publikationen/climate-protection-potential-in-waste-management](http://amt.de/publikationen/climate-protection-potential-in-waste-management). Last access 05.04.2018. (Deutsche Version: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft. Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. UBA-Texte06/2010. FKZ 3708 31 302. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzpotenziale-abfallwirtschaft>).

Gaur, A., Chourey, S., Madathil, D., & Nair, A. N. (2014): Quality analysis of drinking water in Bhopal city. Published in International Journal of Research in Engineering and Technology.

GHK (2007): GHK International UK: City Development Plan: Haridwar – Revised – Under Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission (JNNURM). On behalf of the Urban Development Department of the Government of Uttarakhand. [http://nagarnigamharidwar.com/CDP\\_HARIDWAR.PDF](http://nagarnigamharidwar.com/CDP_HARIDWAR.PDF). Access 20.02.2017.

Giegrich, J., Vogt, R. (2009): Strategy Proposals for Optimizing German Development Cooperation Contributions to GHG Mitigation in the Waste Management Sector. On behalf of GIZ. ifeu Heidelberg.

GIZ (2013): MRV Tool: How To Set up National MRV Systems. <https://www.transparency-partnership.net/documents-tools/mrv-tool-how-set-national-mrv-systems>. Access 23.05.2018.

GIZ (2016) NAMA Tool: Steps for moving a NAMA from Idea towards Implementation. Updated draft version August 2016. <https://www.transparency-partnership.net/documents-tools/nama-tool-steps-moving-nama-idea-towards-implementation>. Access 23.05.2018.

HMC (2016 & 2017): Haridwar Municipal Corporation. Personal conversations with a HMC SWM official (Mr. Mayank Singhal), a HMC landfill engineer, and a KRL site operator and area supervisor. November 2016 and January 2017.

IGSD (2013): Primer on Short-Lived Climate Pollutants. Institute for Governance & Sustainable Development.

IPCC (2013) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report: Climate Change 2013 ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5. Chapter 2: Waste Generation. Composition and Management data. and Chapter 3: Solid Waste Disposal.

IPCC (1995): Intergovernmental Panel on Climate Change „Climate Change 1995 - The Science of Climate Change“ Houghton, J. T. (Hg). Cambridge University Press. Cambridge.

Jain, S., Sharma, M.P. (2011): Power generation from MSW of Haridwar city: A feasibility study. Published in Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Joshi, R., Ahmend, S. (2016): Status and challenges of municipal solid waste management in India: A review. Cogent Environmental Science (2016). 2:1139434. <http://home.iitk.ac.in/~anubha/H13.pdf>. Access 23.05.2018.

Katiyar, R.B., Suresh, S., Sharma, A.K. (2013): Characterisation Of Municipal Solid Waste Generated By The City Of Bhopal. India. Published in Volume 5 Number 2 of International Journal of ChemTec Research. <http://www.sphinxsai.com/2013/conf/PDFS%20ICGSEE%202013/CT=11%28623-628%29ICGSEE.pdf>. Access 03.03.2017.

Khare, P. (2017): Face-to-face interviews with person in charge on the dump site and of the organic manure unit at Bhanpur Khandi. February/March/April 2017. Bhopal.

KSPCB (2014): Municipal Solid Waste Annual Report 2013-14 of Karnataka State Pollution Control Board. <http://kspcb.gov.in/MSW%20Annual%20Report%20%202013-14%20.pdf>. Access 14.11.2016.

Kumar, S., Smith, S.R., Fowler, G., Velis, C., Kumar, J., Arya, S., Rena, Kumar, R., Cheeseman, C. (2017): Challenges and opportunities associated with waste management in India. Royal Society Open Science. <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/4/3/160764>. Access 23.05.2018.

Kumar, S., Bhattacharyya, J.K., Vaidya, A.N., Chakrabarti, T., Devotta, S., Akolkar, A.B. (2009): Assessment of the status of municipal solid waste management in metro cities, state capitals, class I cities, and class II towns in India: An insight. In: Waste Management 29 (2009) 883–895

MapsofIndia (2015): Per Capita Income of India 1999 – 2013. <http://www.mapsofindia.com/maps/india/percapitaincome.htm>. Access 15.10.2015.

- Michaelowa, A., Friedmann, V. (2017): Documentation of IFAT 2016 Side Event Climate-friendly Waste Management through NAMAs in Emerging Economies and Developing Countries. Project No. 70448. UBA-Dokumentationen 02/2017. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/documentation-of-ifat-2016-side-event-climate>. Last access 05.04.2018.
- Michaelowa, A., Feige, S., Honegger, M., Henzler, M., Janssen, J., Kabisch, S., Sanghal, A. Sharma, S., Pravinjith, KP, Kumari, A. (2015): Feasibility Study for a Waste NAMA in India. Berlin, adelphi.
- MoEF (2016): Ministry of Environment, forest and climate change notification New Delhi, the 8<sup>th</sup> April, 2016. solid Waste Management Rules, 2016. <http://kspcb.kar.nic.in/SWM-Rules-2016.pdf>. Last access 23.05.2018.
- MoEF (2015): Ministry of Environment, Forest and Climate Change: Environmental Clearance for Development of Integrated Municipal Solid Waste Management facility for Haridwar Cluster of Raipur Road, Village Sarai, Haridwar, Uttarakhand. <http://forestsclearance.nic.in/writereaddata/FormA/ClearanceLetter/9111129121314Ecletter.pdf>. Last access 23.05.2018.
- MoEF (2012): India Second National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of Environment & Forests, Government of India.
- MoEF (2000): The Municipal Solid Wastes (Management and Handling) Rules, 2000. Ministry of Environment & Forests, Notification. New Dehli.
- Monni, S., Pipatti, R., Lehtilla, A., Savolainen, I. and Syri, S. (2006): Global climate change mitigation scenarios for solid waste management. Technical Research Centre of Finland. VTT Publications, Espoo.
- MoUD (2016): Ministry of Urban Development: Swachh Bharat Mission – City Sanitation Plan – Hardwar. Accessible via “States/Cities” -> “City Level Information” -> “Swachh City Plan” -> “Hardwar” on <http://www.swachhbharaturban.in>. Last updated on 05.12.2016. Access 21.04.2017.
- MoUD/CPHEEO (2016): Municipal Solid Waste Management Manual. Part II: The Manual. Constituted by the Government of India Ministry of Urban Development (MoUD) and the Central Public Health and Environmental Engineering Organisation (CPHEEO). In collaboration with german cooperation and giz.
- MoUD/CPHEEO (2000): Manual on Municipal Solid Waste Management. Constituted by the Government of India Ministry of Urban Development (MoUD) and the Central Public Health and Environmental Engineering Organisation (CPHEEO).
- Nagar Nigam Haridwar (2017): Organization Structure. <http://nagarnigamharidwar.com/Organization%20Structure.php>. Access 20.04.2017.
- Nagar Nigam Haridwar (2015): Environmental Clearance of Integrated Municipal Solid Waste Management Facility at Sarai Village, Haridwar. Presented to MoEFCC on 07.01.2015
- Nagrath, R. (2016): Haridwar to get Solid Waste Management Plant by June. Published in The Pioneer. <http://www.dailypioneer.com/STATE-EDITIONS/dehradun/haridwar-to-get-solid-waste-management-plant-by-june.html>. Access 21.03.2017.
- Peel MC, Finlayson BL & McMahon TA (2007): Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1633-1644. <http://people.eng.unimelb.edu.au/mpeel/koppen.html>; GoogleEarth layer, detailed info version. Access 04.04.2017.
- ORGI (2018a): Office of the Registrar General & Census Commissioner, India. India Profile. [http://www.dataforall.org/dashboard/censusinfoindia\\_pca/files/profiles/profiles/PDF/IND\\_India.pdf](http://www.dataforall.org/dashboard/censusinfoindia_pca/files/profiles/profiles/PDF/IND_India.pdf). Last access 19.04.2018.
- ORGI (2018b): Office of the Registrar General & Census Commissioner, India. Class - I Population of 100,000 and Above. <http://www.censusindia.gov.in/2011census/PCA/A4.html>. Access 05.04.2018.
- ORGI (2018c): Office of the Registrar General & Census Commissioner, India. MetaData. <http://www.censusindia.gov.in/Meta-Data/data/metadate.html>. Access 05.04.2018.
- ORGI (2015): Office of the Registrar General & Census Commissioner. 2011 Census Data. <http://www.censusindia.gov.in/2011-Common/CensusData2011.html>. Access 27.11.2015.
- Parilla, J., Leal, J., Berube, A. and Ran, T. (2015): Global Metro monitor 2014. An uncertain Recovery. [http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Reports/2015/01/22-global-metro-monitor/bmpp\\_GMM\\_final.pdf?la=en](http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Reports/2015/01/22-global-metro-monitor/bmpp_GMM_final.pdf?la=en). Access 20.11.2015.

- Ramachandra, T.V. and Bachamanda, S. (2007): Environmental audit of Municipal Solid Waste Management. *Int. J. Environmental Technology and Management*, Vol. 7, Nos. 3/4, pp.369–391. Retrieved from [http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/paper/ijetm/TVR24\\_P9\\_IJEM%207\(3-4\)%20Paper%2009.pdf](http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/paper/ijetm/TVR24_P9_IJEM%207(3-4)%20Paper%2009.pdf). Access 14.11.2016.
- Sharholly, M., Ahmad, K., Mahmood, G. (Department of Civil Engineering, Jamia Millia Islamia (Central University), India), Trivedi, R. C. (Central Pollution Control Board, CPCB) (2008): Municipal solid waste management in Indian cities – A review. In: *Science Direct, Waste Management*, 28, 459–467.
- Sharma, R. (2016): Face-to-face interview with Health Officer, Ward 15 and Deputy Chief Health Officer Bhopal city in November 2016. Bhopal.
- Sharma, V., Saini, P., Gangwar, R.S., Joshi, B. D. (2010): Assessment of municipal solid waste generation and its management in the holy city of Haridwar, Uttarakhand State, India. Published in *Waste Management*.
- Smart Cities Projects (2015): India Smart City Profile – Bhopal. [http://smartcities.gov.in/upload/uploadfiles/files/MadhyaPradesh\\_Bhopal.pdf](http://smartcities.gov.in/upload/uploadfiles/files/MadhyaPradesh_Bhopal.pdf). Access 22.06.2017.
- Syamala Devi, K., Swamy, A. V.V.S., Krishna, R. H. (2014) Studies on the Solid Waste Collection by Rag Pickers at Greater Hyderabad Municipal Corporation, India. *Int. Res. J. Environment Sci.* Vol 3(1), 13-22.
- TERI (2015): Concept Paper on Power Generation from Municipal Solid Waste. Prepared for Karnataka Electricity Regulatory Commission Bangalore. The Energy and Resource Institute (TERI). [http://www.karnataka.gov.in/kerc/Reports/Solid%20Waste\\_Management\\_report\\_20.11.15.pdf](http://www.karnataka.gov.in/kerc/Reports/Solid%20Waste_Management_report_20.11.15.pdf). Access 28.11.2016.
- Tiwari, H., Ms. Rupali (2017): Face-to-face / telephone interviews with with an Additional Commissioner of BMC and a Research Assistant of BMC (which is employed by KPMG). February/March 2017. Bhopal.
- Trivedi, A. (2016): Plastic ban along Ganges in Uttarakhand remains on paper. Published in *Hindustan Times*. <http://www.hindustantimes.com/india-news/plastic-ban-along-ganges-in-uttarakhand-remains-on-paper/story-1BFM7UpMzRZsfTsi8ehbJP.html>. Access 21.04.2017.
- UBA (2011): Climate relevance of the waste management sector. Background. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/climate-relevance-of-waste-management-sector>. Last access 05.04.2018 (German Version: Klimarelevanz der Abfallwirtschaft. Hintergrundpapier. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimarelevanz-abfallwirtschaft>).
- UMC (2015): Urban Solid Waste Management in Indian Cities - Compendium of Good Practices. Urban Management Consulting (UMC) in association with Centre for Environment Education (CEE) on behalf of National Institute of Urban Affairs (NIUA). New Delhi, India. [https://pearl.niua.org/sites/default/files/books/GP-IN3\\_SWM.pdf](https://pearl.niua.org/sites/default/files/books/GP-IN3_SWM.pdf). Access 09.08.2016.
- UNFCCC (2003): Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention. Decision 17/CP.8 in: Report of the conference of the parties on its eighth session, held at New Delhi. FCCC/CP/2002/7/Add.2. <https://unfccc.int/resource/docs/cop8/07a02.pdf>. Access 04.08.2018
- Urban Development Directorate (2015): Draft Urban Municipal Waste Management Action Plan for State of Uttarakhand. Dehradun, Uttarakhand. <http://re.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/draft%20urban%20municipal%20waste%20management%20of%20Uttarakhand.pdf>. Access 21.02.2017.
- vetmed (2015) Institute for veterinary public health Uni Vienna. World Maps of Köppen-Geiger Climate Classification. <http://koepen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Access 15.10.2015.
- Vogt, R., Derreza-Greeven, C., Giegrich, J., Dehoust, G., Möck, A., Merz, C. (2015): The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector. Illustration of the potential for mitigation of greenhouse gas emissions from the waste sector in OECD countries and selected emerging economies; Utilisation of the findings in waste technology transfer. UBA-Texte 56/2015, Project No. (FKZ) 3711 33 311. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/the-climate-change-mitigation-potential-of-the>. Last access 05.04.2018. (German Version: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft - Darstellung der Potenziale zur Verringerung der Treibhausgasemissionen aus dem Abfallsektor in den OECD Staaten und ausgewählten Schwellenländern; Nutzung der Erkenntnisse im Abfalltechniktransfer. UBA-Texte 46/2015, <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/klimaschutzpotenziale-der-abfallwirtschaft>).
- Weichgrebe et al. (2016): Weichgrebe, D., Mondal, M.M., Vidyaranya, V., Speier, C., Zacharias, M., Murali, S., Peter, N., Urs, V., Bhaskar, U., Joseph, S., Mundkur, V. and Sivaram, R.: Municipal Solid Waste (MSW) Management Study for West-Zone Bangalore,

India; available at: [http://www.elcita.in/wp-content/uploads/2016/09/ISAH\\_Combined-Report\\_Bangalore\\_20160720.pdf](http://www.elcita.in/wp-content/uploads/2016/09/ISAH_Combined-Report_Bangalore_20160720.pdf). Access 10.08.2016.

World Bank (2013): Data Collection Tool for Urban Solid Waste Management Version 1.0. <http://siteresources.worldbank.org/INTUSWM/Resources/463617-1202332338898/Data-Collection-Tool-for-Urban-Waste-Management-Version-1.xlsm>. User Manual – Data Collection Tool for Urban Solid Waste Management Version 1.0, July 2013. <http://siteresources.worldbank.org/INTUSWM/Resources/463617-1202332338898/User-Manual-Data-Collection-Tool-for-SWM.pdf>. Last access 05.04.2018.

WWF (2012): Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51 (11), 933–938.

## 13 Anhang

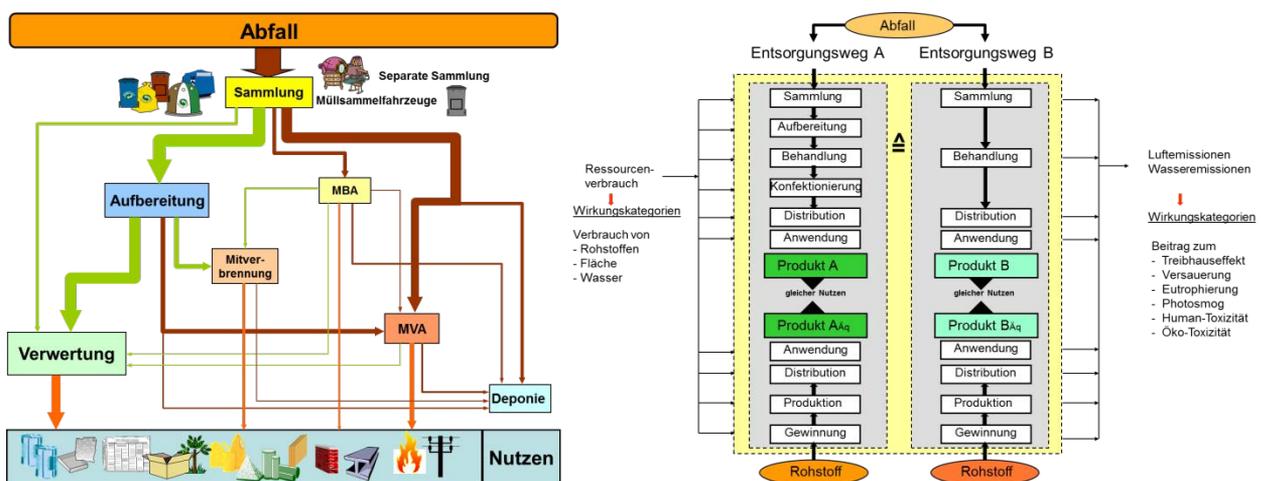
### 13.1 Anhang I: Ökobilanzen der Abfallwirtschaft

Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine Methodik, die darauf abzielt, die mit einem Produkt, einer Dienstleistung oder einem System verbundenen Umweltauswirkungen aus einem ganzheitlichen Blickwinkel zu identifizieren, der alle bekannten potenziellen Umweltauswirkungen umfasst und das Produkt, die Dienstleistung oder das System von der "Wiege bis zur Bahre" verfolgt. Der Lebenszyklus umfasst alle bekannten Prozesse in den Phasen der Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung und Entsorgung. Die Ökobilanzmethode ist in der ISO 14040/44 standardisiert. Die Ökobilanz der Abfallwirtschaft basiert auf dieser Norm mit einigen Anpassungen.

#### 13.1.1 Systemgrenzen und Systemvergleiche

Die Ökobilanzmethode der Abfallwirtschaft konzentriert sich auf den Abfallsektor. Alle Entsorgungsaktivitäten – sowohl direkte Emissionen als auch potenziell vermiedene Emissionen durch Substitution von Primärprodukten und Energie – sind enthalten. Alle Emissionen aus der Abfallbehandlung beziehen sich auf die betrachtete Abfallmenge (z.B. Deponierung 100 Jahre Zeithorizont). Die Ergebnisse stellen Minderungspotenziale dar, die Politik, Behörden und Industrie Entscheidungshilfen bieten.

Abbildung 41: links: Flussdiagramm eines Abfallwirtschaftssystems; rechts: Systemgrenzen und Vergleichsregeln in der Ökobilanz visualisiert



Zur Beurteilung des Abfallsektors beginnen die Grenzen des "Cradle-to-Grave"-Systems mit dem Abfallanfall ("Vorleben" ausgeschlossen) und enden mit dem Endzweck der Abfallbehandlung (Sekundärprodukt, Energie und Entsorgung). Die Nutzen vergleichener Systeme (Status quo und Optimierungsszenarien) müssen gleich sein (Abbildung 41). Typischerweise wird dies durch Gutschriften für Nebennutzen wie Sekundärprodukte und erzeugte Energie realisiert. Diese Gutschriften werden als negative Werte berechnet und stellen Minderungspotenziale dar, da nicht nachgewiesen werden kann, dass die angenommene Substitution von Primärprodukten oder Energie tatsächlich stattfindet. Im Allgemeinen soll in Ökobilanzen der wahrscheinlichste Substitutionsprozess verwendet werden. Dennoch soll beispielsweise im Falle des Recyclings das technische Substitutionspotenzial und nicht das Marktpotenzial berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass eine 100%ige Substitution durch Sekundärprodukte gutgeschrieben wird, da sonst mehr Recycling – und damit ein geringeres Marktpotenzial zur Substitution von Primärprodukten – zu einer geringeren THG-Minderung führen würde.

### 13.1.2 Sonstige methodische Übereinkünfte und verwendete Daten

Im Folgenden werden relevante methodische Vereinbarungen aufgelistet und kurz erläutert. Umfassende Beschreibungen finden sich in früheren Studien (Dehoust et al. 2010, Vogt et al. 2015).

- Die Anrechnung der erzeugten Energie erfolgt nach dem Durchschnittsansatz (Netzstrom); in früheren Studien wurde der Marginalansatz verwendet, der davon ausgeht, dass "zusätzlich" erzeugte Energie aus Abfall in der Regel fossile Brennstoffe ersetzt. Insbesondere für Vergleiche mit mittel- oder langfristigen Optimierungsszenarien neigt der Marginalansatz jedoch dazu, das THG-Einsparpotenzial unter Berücksichtigung der Klimaschutzziele und der Energieverwendung zu überschätzen. Die in dieser Studie gleichermaßen verwendeten Emissionsfaktoren für Energiebedarf und -gutschriften sind:
  - o Emissionsfaktor für die Stromerzeugung in Indien: 928 g CO<sub>2</sub>Äq/kWh,
  - o Emissionsfaktor für die Wärmeerzeugung: 334 g CO<sub>2</sub>Äq/kWh.
- In Optimierungsszenarien werden keine Änderungen an den Emissionsfaktoren für die Energieversorgung vorgenommen, weder für den Bedarf noch für die Gutschriften, um sicherzustellen, dass Unterschiede im Vergleich zum Status quo durch Veränderungen in der Abfallwirtschaft und nicht im Energiesektor verursacht werden.
- Mögliche Kohlenstoffsinken (C-Senke) werden in den THG-Szenarien für die drei Städte nicht berücksichtigt. In der Regel wird die C-Senke – sofern sie quantifizierbar ist – nur in Sensitivitätsanalysen betrachtet oder aufgrund erheblicher Unsicherheiten bezüglich der Langzeitspeicherung von biogenem Kohlenstoff nur zur Information berichtet. In dieser Studie sind die Daten für die 3 Städte selbst mit hohen Unsicherheiten behaftet. Daher wird die C-Senke nicht thematisiert.
- Das Recycling wird anhand der harmonisierten Emissionsfaktoren aus Vogt et al. (2015) berechnet, da keine nationalen oder regionalen Daten vorliegen.
- Kompostierung und Vergärung werden mit Emissionsfaktoren berechnet, die aus Messungen in Deutschland abgeleitet wurden.
- Ebenfalls aufgrund fehlender regionaler oder nationaler Daten wird die Deponierung mit den Standardwerten nach IPCC berechnet (IPCC 2006):
  - o DOCf = 50% (Durchschnittswert für alle Abfälle, die teilweise Lignin enthalten können)
  - o Methangehalt = 50 Vol%
  - o Methankorrekturfaktor (MCF):
 

geordnete Deponien – anaerob	= 1
ungeordnete Deponien – tief (> 5 m) und/oder hoher Wasserstand	= 0,8
ungeordnete Deponien – flach (< 5 m)	= 0,4
nicht kategorisierte Deponien	= 0,6
  - o Oxidationsfaktor (OX):
 

Standardwert	= 0%
Abgedeckt (z.B. Boden, Kompost), gut geführte Deponie <sup>14</sup>	= 10%
  - o Gasfassungseffizienz:

<sup>14</sup> Der Standardwert für OX ist 0% gemäß IPCC; der Wert von 10% ist für abgedeckte, gut geordnete Deponien gerechtfertigt.

Standardwert = 0%, wenn keine Daten vorhanden sind

Standardwert = 20%, falls basierend auf dem installierten Gasfassungssystem geschätzt

- Der fossile und regenerative Kohlenstoffgehalt sowie der Heizwert der anfallenden Abfälle werden anhand der Abfallzusammensetzung berechnet; die verwendeten Standardkennndaten sind in Tabelle 13 dargestellt. Die Werte für Organikabfälle, Papier, Kunststoffe und Textilien sind aus den Analyseergebnissen in (Weichgrebe et al. 2016) für die Westzone in Bangalore abgeleitet und wurden für alle 3 Städte verwendet, da für Indien keine weiteren Daten verfügbar sind. Der Wert für "sonstige" stammt aus (Dehoust et al. 2010) für Deutschland und die EU. Glas, Inert und Metalle enthalten weder Kohlenstoff noch tragen sie zur Energieerzeugung bei.

Tabelle 16: Standardkennndaten für Abfallfraktionen

	Gesamt C % Masse	Anteil regenerativ C % Gesamt C	Heizwert kJ/kg
Organikabfälle	21	100	4779
Papier	25	100	9123
Kunststoffe	50	0	23525
Textilien	31	56	14066
Glas	0	0	0
Inert	0	0	0
Metall	0	0	0
Sonstige	21	53	7800

### 13.1.3 Wirkungsabschätzung des Treibhauseffekts (Global Warming Potential, GWP)

Die Auswirkungen auf den Klimawandel (Treibhauseffekt, globale Erwärmung) durch verschiedene Klimagase werden hauptsächlich mit der vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) entwickelten Aggregationsmethode bewertet. Das IPCC liefert Indikatoren – die Global Warming Potentials (GWPs) – für Klimagase für die Zeithorizonte 20, 100 und 500 Jahre. In dieser Studie werden die GWPs für den 100-Jahres Zeithorizont verwendet (GWP100). Der 100-Jahres-Zeithorizont ist der ungefähren Lebensdauer von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre am nächsten und stellt damit am besten die Gesamtwirkung von CO<sub>2</sub> dar, das nach IGSD (2013) für 55-60% des anthropogenen Strahlungsantriebs verantwortlich ist. Darüber hinaus werden GWP100-Faktoren zur Berechnung der Nationalen THG-Inventare nach dem Kyoto-Protokoll verwendet. Tabelle 14 zeigt die aktuellen GWP100-Faktoren des 5. IPCC Bewertungsberichts (IPCC 2013), die in dieser Studie verwendet werden. Zum Vergleich sind auch die GWP100-Faktoren nach IPCC (1995) dargestellt, die zuerst für die nationale Berichterstattung im Rahmen des Kyoto-Protokolls verwendet wurden.

Tabelle 17: Treibhauseffekt der wichtigsten Treibhausgase für den 100-Jahres-Zeithorizont

Treibhausgas	CO <sub>2</sub> -Äquivalenzwert (GWP100) [kg CO <sub>2</sub> Äq/kg]	
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ), fossil	1	1
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ), regenerativ	0	0
Methan (CH <sub>4</sub> ), fossil	30	21
Methan (CH <sub>4</sub> ), regenerative	28	18,25*

Treibhausgas	CO <sub>2</sub> -Äquivalenzwert (GWP100) [kg CO <sub>2</sub> Äq/kg]	
	Distickstoffmonoxid (Lachgas) (N <sub>2</sub> O)	265
Quelle:	(IPCC 2013)	(IPCC 1995)

\* Ohne das stöchiometrisch berechnete GWP von fossilem CO<sub>2</sub> nach Umwandlung von Methan in der Atmosphäre

Die Kohlendioxid- und Methanemissionen werden nach ihrer Herkunft unterschieden. Regeneratives Methan (aus der Umwandlung organischer Stoffe) hat ein geringeres GWP als Methan aus fossilen Quellen, da regeneratives Kohlendioxid - das durch Oxidation in der Atmosphäre im Laufe der Zeit aus dem Methan entsteht - als klimaneutral behandelt wird.

### 13.2 Anhang II: Tabellen mit sektoralen THG-Ergebnissen

Tabelle 18: Sektorale THG-Ergebnisse für Bangalore in Tonnen CO<sub>2</sub>Äq/a

Sektoren	Status-quo	Szenario 1	Szenario 2a	Szenario 2b
<b>Belastungen</b>				
offene Verbrennung	5852			
Deponierung	216889			
Eigenkompostierung	590			
Deponiebrände	10899			
unbehandelt deponiert	142183			
Biomethanisierung	350			
MBA	182411	239974	137124	
WtE-Anlage				155707
Kompostierungsanlage		28759	53683	53683
Bioabfallvergärungsanlage			10743	10743
DWCC/MRF	84993	107802	107802	107802
<b>Entlastungen</b>				
MBA		-315463	-228335	
WtE-Anlage				-221452
Kompostierungsanlage		-32330	-60348	-60348
Bioabfallvergärungsanlage			-53862	-53862
DWCC/MRF	-122059	-337792	-337792	-337792
<b>Netto</b>	<b>522107</b>	<b>-309049</b>	<b>-370985</b>	<b>-345519</b>

Tabelle 19: Sektorale THG-Ergebnisse für Bopal in Tonnen CO<sub>2</sub>Äq/a

Sektoren	Status-quo	Szenario 1	Szenario 2
<b>Belastungen</b>			

Sektoren	Status-quo	Szenario 1	Szenario 2
Deponie	167988		
Deponiebrände	3250		
MBA		19481	8727
Kompostierungsanlage		11504	13421
Bioabfallvergärungsanlage			3474
Cluster WtE		20306	20306
Recycling		10798	10798
<b>Entlastungen</b>			
MBA		-12119	-7510
Kompostierungsanlage		-12932	-15087
Bioabfallvergärungsanlage			-13465
Cluster WtE		-30878	-30878
Recycling		-40643	-40643
<b>Netto</b>	<b>171238</b>	<b>-34483</b>	<b>-50857</b>

 Tabelle 20: Sektorale THG-Ergebnisse für Haridwar in Tonnen CO<sub>2</sub>eq/a

Sektoren	Status-quo	Szenario 1	Szenario 2
<b>Belastungen</b>			
weggeworfen			
Deponie	28090		
Deponiebrände	1283		
MBA		4091	2878
Kompostierungsanlage		5125	8125
Recycling		1845	2767
Inertmaterial*			0
<b>Entlastungen</b>			
MBA		-9206	-6345
Kompostierungsanlage		-5747	-5747
Recycling		-13638	-20458
Inertmaterial*			0
<b>Netto</b>	<b>29374</b>	<b>-17530</b>	<b>-21780</b>

\* Schlick, der in Szenario 2 von den Siedlungsabfällen ausgeschlossen wird, ist inertes Material, das keine THG-Emissionen bei der Deponierung verursacht.

### 13.3 Anhang IV: Begriffe und Definitionen

Tabelle 21: Auszug aus dem etablierten Excel-Glossar

deutsch	Abkürzung für Tabellen o.ä.	english	abbreviation for e.g. tables	Synonym	
Vergärung, anaerobe Verfahren	AV	anaerobic digestion	AD	biomethanation	anaerobic treatment of source separated / segregated organic waste
Asche	Asche	ash	ash		inerts from fuel combustion for cooking/heating
Biogasanlage	BGA	biogas plant	BGP	anaerobic digestion plant	
Mülltonne	Tonne	waste bin	Bin	garbage can, dust bin	used for curbside collection; collect system; collection from households; volume in Germany between 60-240 liters
Biologische Behandlung	Bio.beh	biological treatment	BioT		aerobic and anaerobic biological treatment
Bringsystem	BS	bring system	BS		inhabitants bring their waste to containers, bring banks, bottle banks (see waste container)
Offene Verbrennung	O.Verbr	open burning	BURN open	(landfill fires)	burning of waste in backyards, doorsteps, streets, on landfill sites
Bau- und Abbruchabfälle	B&A-Abf	Construction & Demolition Waste	C&DW		
Blockheizkraftwerk	BHKW	combined heat and power plant	CHP		stationary combustion engine generating electricity and heat from gaseous or liquid fuels
Mitverbrennung/ Mitverbrennungsanlage	Mitverbr.	co-incineration/-incinerator	Co-inc.	(co-processing)	incineration of waste in industrial facilities (cement kilns, power plants) as fuel substitute
Informelle Abfallsammler/-sammlung	Samml (inf)	informal sector waste collection	COLL (inf)	door-to-door / doorstep waste collectors, wastepickers, scavengers, rag pickers	informal sector persons/institution collecting waste
Informelle Abfallsammler/-sammlung: Container/Straße	Samml (inf)-Cont	informal sector waste collection: container/street	COLL (inf)-Cont		informal sector stakeholder(s) which pick waste fractions from containers or streets

deutsch	Abkürzung für Tabellen o.ä.	english	abbreviation for e.g. tables	Synonym	
Informelle Abfallsammler/-sammlung: Haustür	Samml (inf)-Tür	informal sector waste collection: door-to-door	COLL (inf)-DtD		informal sector stakeholder(s) which collect waste fractions source segregated from households
Informelle Abfallsammler/-sammlung: Deponie	Samml (inf)-Dep	informal sector waste collection: landfill site	COLL (inf)-Lf		informal sector stakeholder(s) which pick waste fractions from landfill sites
Sammelsystem	SammlSys	collection system	COLL-Sys		type of collection: informal-formal; collect-bring system; bins-containers-others; motorized-manually
Müllfahrzeug	Samml-Fhzg	Collection vehicle	COLL-Veh	garbage truck	
Wurmkompostierung	Komp (Wurm)	Vermiculture, Vermicomposting	COMP (verm)		composting of source segregated organic waste with special worms; produces high quality compost suitable as fertilizer/humus
Biologische Behandlung der Organik aus Mischmüll	Komp-Mischm	Composting of mixed waste	COMP-mix		aerobic treatment of organics from mixed waste
Bio-/Grünabfall-Kompostierung	Komp-Bioabf	Composting of segregated organics	COMP-segr		Only for separately collected/source-segregated waste, aerobic biological treatment
Abfallcontainer	Cont	waste container	Cont		used for bring system; standing in the streets/on public places; volume in Germany typically 5-10 cbm
Öffentliche Verrichtung der Notdurft	DEF	open defecation	DEF		defecation in open areas because/where (public) restrooms are missing
Beseitigungswege	Bes.wege	disposal methods	D-M		waste treatment without substitution benefit; landfill and incineration without energy recovery
abbaubarer organischer Kohlenstoffgehalt	DOC	degradable organic carbon	DOC		share of carbon in waste that is biologically degradable (IPCC)
Abbaurrate des DOC	DOCf	decomposed degradable organic carbon	DOCf		fraction of DOC which decomposes (IPCC)

Tabelle 22: Definition Siedlungsabfall

Definition	Deutschland (EU)
	<u>Diese Studie</u>
<b>Siedlungsabfall</b>	Haushaltsabfälle:
	Papier
	Glas (und Keramik und Porzellan)
	Kunststoff
	Metall
	Grün/Gartenabfall (Holz, Sträucher, Gras, Pflanzen)
	Küchen- und Kantinenabfall (Bioabfall)
	Textilien
	Gummi und Leder
	Sperrmüll (Wohnungseinrichtung: Möbel, Matratzen, Holzobjekte, Teppich/Bodenbeläge, Fahrradteile)
	Asche (von Brennstoffen für Kochen/Heizen)
	Inertmaterial (z.B. Schmutz, Staub, ...)
	Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle:
	Küchen- und Kantinenabfall (Essensreste)
	Parkabfälle
	Marktabfälle (Fleisch-, Fischmarkt, Obst-, Gemüsemarkt)
	Straßenkehrsicht
	Schlachtabfälle
	Tierkadaver
	Fäkalien (fest; von Straßen, öffentlichen Plätzen)
<u>nicht betrachtet</u>	<u>nicht betrachtet</u>
<b>Gefährliche/Problemabfälle</b>	Batterien, Akkus
	Leuchtstoffröhren

Definition	Deutschland (EU)
	Lösemittel
	Säuren
	Basen
	Fotochemikalien
	Pestizide
	Farben, Druckfarben, Klebstoffe
<b>andere Siedlungsabfälle</b>	Biomedizinische Abfälle
	Elektro- und Elektronikabfälle
	Altfahrzeuge
	Klärschlamm
<b>Bau- und Abbruchabfälle</b>	<i>inert (Beton, Schutt, usw.)</i>
<b>Produktionsabfälle</b>	<i>In den meisten Entwicklungsländern sind Industrieabfälle Teil des Siedlungsabfallstroms</i>
	<i>deswegen ist es schwierig, getrennte Daten zu erhalten</i>

### 13.4 Anhang V: Datenerhebungstool

Tabelle 23: Datenerhebungstool (englisch) – Blatt ‘Abfalldaten’

City Name										
<i>n/a = not applicable</i>	<b>Governing areas:</b>	1	2	3	4	5	6	7	...	<b>total</b>
	<b>Code</b>	TPD								
<b>waste generated</b>	W/gen									
<b>District information</b>										
population										
housing typology										
<b>collection</b>										

City Name										
Collection frequency										
Collection coverage										
Average distance to site	in km									
Collection fee	specify: per ton, ...									
Method used for fee collection										
<u>Type of collection</u>										
collection system	COLL-Sys									
Collection vehicle	COLL-Veh									
<u>Waste collected</u>		TPD								
informal sector waste collection	COLL (inf)									
informal sector waste collection: container/street	COLL (inf)-Cont									
informal sector waste collection: door-to-door	COLL (inf)-DtD									
informal sector waste collection: landfill site	COLL (inf)-Lf									
segregated waste collected	W/segr									
segregated waste collected (informal)	W/segr (inf)									
segregated organic waste composted	W/segr-comp									
segregated organic waste anaerobically digested	W/segr-AD									
<u>Provide information source</u>										
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>										
<b>pre-treatment</b>		TPD								
Pre-treatment for transport, recycling	PRETr									
sorting	SORT									
sorting by hand	SORT (hand)									
mechanical treatment	MT									
<u>Provide information source</u>										

City Name										
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>										
<b>non-treated (privately treated) waste</b>		TPD								
open burning	BURN open									
(organic) waste eaten by animals	W/animal									
segregated waste fed to animals	W/feed									
waste scattering/scattered	W/scat									
<u>Provide information source</u>										
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>										
<b>disposed of waste</b>	<b>D-M</b>	TPD								
mechanical-biological stabilization	MBS									
mechanical-physical stabilization	MPS									
mechanical-biological treatment	MBT									
open MBT	MBT (open)									
landfilling	Landf.									
unmanaged landfill, unmanaged disposal site	LF-unmgd.									
managed landfill	LF-mgd.									
sanitary landfill	SLF									
<u>Provide information source</u>										
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>										
<b>treated/managed waste</b>	<b>T-M</b>	TPD								
anaerobic digestion	AD									
anaerobic MBT	MBT (anaerob)									
biological treatment	BioT									
dry fermentation	FERM (dry)									
wet fermentation	FERM (wet)									

City Name										
Composting of mixed waste	COMP-mix									
Composting of segregated organics	COMP-segr									
Vermiculture, Vemicomposting	COMP (verm)									
Recovery	RECOV									
Recycling/Recycler	RECY									
informal sector recycling/recycler	RECY (inf)									
co-incineration/-incinerator	Co-inc.									
waste to energy	WtE									
<u>Provide information source</u>										
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>										
<b>MSW composition</b>		TPD								
<b>Specify source of sample (waste generated/uncollected/collected/ at landfill/to incineration)</b>										
household waste	W/HH									
mixed waste	W/mix									
Bio-degradable waste	W/bio-degr.									
paper, cardboard										
organic waste	W/org									
Garden/green waste	W/gr									
Kitchen/Canteen Waste (households)	W/K+C_HH									
Recyclables										
glass (and pottery and china)										
plastics										
mixed plastics										
polyethylen	PE									

City Name										
polypropylen	PP									
polystyrene	PS									
polyethylene terephthalate	PET									
polyvinylchloride	PVC									
metal										
ferrous metals										
non-ferrous metals										
aluminium										
copper										
others										
textiles										
rubber and leather										
bulky waste (home furnishings: furniture, mattresses, woody objects, carpets/floorings, bicycleparts)										
Others										
nappies (diapers)										
ash	ash									
inerts (e.g. dirt, dust, ...)										
household and similar waste	W/HH+S									
Kitchen/Canteen Waste (commerce)	W/K+C_HH+S									
Garden and Park waste	W/G+P									
market waste (meat, fish markets, fruit, vegetable markets)										
street sweepings										
waste from slaughter houses										
animal carcasses										

City Name									
fecal matter (solid; from streets, public areas)									
<b>SHARE OF PROBLEMATIC WASTE</b>									
<u>Provide information source</u>									
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>									
<b>Waste characteristics</b>	<b>unit</b>								
<i>Specify source of sample (waste generated/uncollected/collected/ at landfill/to incineration)</i>									
water content ("moisture")	% wet waste								
dry matter content	% wet waste								
degradable organic carbon (DOC)	% wet waste								
total carbon content	% wet waste								
fossil carbon content	% wet waste								
decomposed degradable organic carbon (DOCf)	% DOC								
lower heating value (LHV)	MJ/kg wet waste								
<u>Provide information source</u>									
<u>How and when was the data collected/obtained?</u>									

Tabelle 24: Datenerhebungstool (englisch) – Blatt ‘Deponie’

City Name	<i>n/a = not applicable</i>						
Landfill	Code	unit	A	B	C	...	total
Name							
Facility location - address							
Type of landfill							
unmanaged landfill, unmanaged disposal site	LF-unmgd.						
Landfill		unit	A	B	C	...	total

City Name	<i>n/a = not applicable</i>						
managed landfill	LF-mgd.						
sanitary landfill	SLF						
Current status							
starting year of waste disposal							
closed since							
Who operates the landfill?							
Capital cost (at construction)		INR					
Nominal tipping/gate fee		INR/t					
Has landfill contracted its carbon credits? Any CDM projects?							
Design capacity of the landfill		m <sup>3</sup>					
Volume of waste in place		m <sup>3</sup>					
Tonnage of waste in place		tons					
Area covered landfill		acre					
Average height of landfill body		m					
Remaining area for waste disposal		m <sup>2</sup>					
Current quantity of waste recieved		TPD					
How is the waste quantified at the landfill?							
Waste accepted for disposal							
MSW		TPD					
Hazardous waste		TPD					
Incineration Ash		TPD					
Construction debris		TPD					
other		TPD					

City Name	<i>n/a = not applicable</i>						
Approximate quantity of waste lost by landfill fire		% current waste quantity recieved					
How often is the cover applied to open waste							
Approximate surface area of the working face		m <sup>2</sup>					
<u>Electricity demand</u>		kWh/t waste treated					
Fuel demand		kWh/t waste treated					
Type of fuel							
<u>Landfill gas</u>							
Is flue gas monitored properly?							
Any gas vented passively to the atmosphere?							
Is there a landfill gas collection system installed?							
Starting year of gas recovery after commencing the landfill							
Closing year of gas recovery after commencing the landfill							
LFG collection rate		m <sup>3</sup> /hr					
Efficiency of gas collection		%					
Methane content of collected gas		% by volume					
<u>Treatment of collected landfill gas</u>							
flare		m <sup>3</sup> /hr					
<u>Energy generation</u>							
Quantity of electricity generated		kWh/a					
Efficiency of electricity recovery		%					
Percentage of electricity use for onsite operation activities		%					

City Name	<i>n/a = not applicable</i>						
Quantity of heat generated		kWh/a					
Efficiency of heat recovery		%					
Value of energy generated (If resold)		Use appropriate unit					
Other (i.e. boiler, heater, pipeline injection)							
Potential/viable LFG utilization options or interests - are any industries nearby?							
<u>Informal activities</u>							
Number of waste pickers (total, females, children)							
Waste pickers organisations							
Do waste pickers have legal access to the landfills and dumps?							
Are waste pickers required to use health and safety equipment, such as gloves and respiratory masks?							
<u>Removal of recyclables (paper, metals, plastics, ...)</u>							
<i>insert type</i>		TPD					
<i>insert type</i>		TPD					
...		TPD					
Price per tonne of recyclables							
<i>insert type</i>		INR					
<i>insert type</i>		INR					
...		INR					
<u>Provide information source</u>							