

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Studie

Verwertung von biogenen Fraktionen aus Siedlungsabfällen in der VR China

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio



German RETech Partnership
Recycling & Waste Management
Made in Germany

Impressum

Durchführung der Studie:

Universität Rostock

Tongji Universität

RETech

Autoren:

Universität Rostock

Prof. Dr. mont. Michael Nelles

Dr. habil Abdallah Nassour

Dr.-Ing. Ayman El Naas

Dipl.-Ing. Astrid Lemke

Dr. Gert Morscheck

Dr. Andrea Schüch

Hauptverantwortlich für Kapitel 1, 2.1, 6-8

Tongji Universität

Prof. Dr. Pinjing He

Prof. Dr. Fan Lü

Prof. Dr. Liming Shao

Prof. Dr. Hua Zhang

Hauptverantwortlich für Kapitel 2.2, 3-5

Rostock, Januar 2017

Diese Studie wurde mit Mitteln aus dem Förderprogramm „Exportinitiative Umwelttechnologien“ des Bundesministeriums für Umwelt, Natur, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autorinnen und Autoren.

ISBN 978-3-86009-452-5

Inhaltsangabe

1.	Veranlassung, Ziel und Geltungsbereich der Studie	1
2.	Entwicklung, Stand und Perspektiven der Kreislaufwirtschaft	2
2.1	Deutschland	2
2.2	China	7
3.	Rechtliche Rahmenbedingungen zum Umgang mit Abfallfraktionen aus der getrennten und gemischten Sammlung von biogenen Fraktionen in der VR China	14
4.	Organisation, Zuständigkeit und Finanzierung der Abfallwirtschaft in der VR China	18
4.1	Organisation und Zuständigkeiten	18
4.2	Finanzierung	22
5.	Stand der Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung der biogenen Abfälle in der VR China	24
5.1	Siedlungsabfallmengen	24
5.2	Siedlungsabfallzusammensetzung	26
5.3	Sammlung und Transport von gemischten Siedlungsabfällen	28
5.4	Behandlung und Beseitigung gemischt gesammelter Siedlungsabfälle	29
5.4.1	Städte	29
5.4.2	Landkreise	32
5.4.3	Dörfer und Kleinstädte	33
5.5	Kosten, Einnahmen und geplante Investitionen	35
5.6	Siedlungsabfallbehandlungspläne	37
5.7	Restaurantabfälle (RW)	40
6.	Stand der Technik zur Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung der biogenen Abfälle	42
6.1	Getrenntsammlung, Aufbereitung, Behandlung und Verwertung	43
6.1.1	Rechtliche Grundlagen und Bedeutung für Ressourcen- und Klimaschutz	43
6.1.2	Erfassungs-, Sammlungs- und Transportsysteme	44
6.1.3	Verfahren und Technologien	46
6.1.4	Betrieb der Anlagen	55
6.1.5	Ausgewählte Referenzanlagen	60

6.2	Sammlung, Aufbereitung, Behandlung und Verwertung von nicht getrennt gesammeltem biogenem Abfall	65
6.2.1	Rechtliche Grundlagen und Bedeutung für Ressourcen und Klimaschutz	65
6.2.2	Prozesse und Technologien	67
6.2.3	Betrieb der Anlagen	70
6.2.4	Ausgewählte Referenzanlagen	73
7.	Lösungsansätze zur Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung der biogenen Abfälle in China	78
7.1	Biogene Abfälle aus der getrennten Sammlung	82
7.1.1	Gesetze, Regulierungen, Verwaltung und Kontrolle	82
7.1.2	Erfassung, Sammlung und Transport	83
7.1.3	Mechanische Aufbereitung	86
7.1.4	Biologische Verfahren	88
7.1.5	Verwertung und Entsorgung der Output-Ströme Kompost und Gärrest	92
7.1.6	Empfehlungen	94
7.2	Biogene Abfälle aus der gemischten Sammlung	95
7.2.1	Gesetze, Regulierungen, Verwaltung und Kontrolle	95
7.2.2	Mechanisch-Biologische Behandlung	96
7.2.3	Verwertung und Entsorgung der Output-Ströme	98
7.2.4	Empfehlungen	100
8.	Zusammenfassung	103
9.	Literatur	107
10.	Anhang	111

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Zusammenfassende Darstellung der gesetzlichen (links) und technischen (rechts) Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland entlang der Zeitachse	3
Abb. 2.2: Zusammenfassende Darstellung der gesetzlichen (links) und technischen (rechts) Entwicklung der Abfallwirtschaft in China entlang der Zeitachse	10
Abb. 4.1: Verschiedene für das Abfallmanagement verantwortliche Ministerien der VR China.....	18
Abb. 4.2: Organisatorische Struktur des chinesischen Abfallmanagements [Mewes, 2011].....	22
Abb. 5.1: Masse der Siedlungsabfälle in China – Städtischer Raum.....	24
Abb. 5.2: Masse der Siedlungsabfälle in China – Landkreise	25
Abb. 5.3: Erzeugungsdichte der Siedlungsabfälle in chinesischen Gemeinden [He et al., 2014].....	25
Abb. 5.4: Erzeugungsdichte der Siedlungsabfälle in chinesischen Dörfern [He et al., 2014].....	26
Abb. 5.5: Siedlungsabfallzusammensetzung in typischen chinesischen Städten [Yang Na. 2014, Yang et al., 2015].....	26
Abb. 5.6: Siedlungsabfallzusammensetzung in typischen chinesischen Landkreisen	27
Abb. 5.7: Siedlungsabfallzusammensetzung in typischen chinesischen Dörfern [He et al., 2010].....	27
Abb. 5.8: Menge der Sammelfahrzeuge in China (1980-2014) [MOHURD, 2014].....	28
Abb. 5.9: Siedlungsabfallbehandlung in China (Anteile) [MOHURD, 2016a].....	30
Abb. 5.10a: Anzahl und Kapazität der Anlagen zur Verbrennung und Deponierung in Städten der VR China [MOHURD, 2016a].....	31
Abb. 5.11: Gefahrlose Behandlung von Siedlungsabfällen in Landkreisen in China [MOHURD, 2015]	33
Abb. 5.12: Situation der Siedlungsabfallbehandlung in verschiedenen Landkreisen der chinesischen Provinzen (2014) [MOHURD, 2015].....	34
Abb. 5.13: Siedlungsabfallbehandlungsanlagen in China (2015) [MOHURD, 2016b]	39
Abb. 5.14: Geplante Siedlungsabfallbehandlungsanlagen in China (2020, geplant) [MOHURD, 2016b]	39
Abb. 5.15: Geplante Behandlungskapazität für Restaurantabfälle in der 13. Fünfjahresperiode.....	41
Abb. 6.1: Zusammenfassung der Abfallherkunft und getrennt gesammelte Fraktionen in Deutschland.....	42
Abb. 6.2: Bedeutung der getrennten Sammlung biogener Abfälle für Klima- und Ressourcenschutz.....	45
Abb. 6.3: Entwicklung getrennt gesammelter Mengen verschiedener Wertstoffe und Restmüll in Deutschland [BMUB, 2015].....	46
Abb. 6.4: Technologien und Behandlungssysteme zum Recycling von biogenen Abfällen ...	47
Abb. 6.5: Auswirkungen der Kompostkomponenten auf Pflanzen, Boden und Umwelt [VHE, 2016].....	48

Abb. 6.6: Vereinfachte Darstellung des Kompostierungsprozesses [Rynk, et al., 1992].....	49
Abb. 6.7: Kontroll- und Qualitätssicherungsparameter für Kompostierung und Endprodukt [Schriefe, 1998]	49
Abb. 6.8: Vereinfachtes Layout einer Kompostieranlage	50
Abb. 6.9: Vereinfachtes Layout einer Vergärungsanlage mit Vor- und Nachbehandlung	53
Abb. 6.10: Verschiedene Vergärungsprozessarten und deren optimale Trockenmassegehalte [BMUM, 2009]	54
Abb. 6.11: Ziel und zu berücksichtigende Aspekte beim Betrieb von Anlagen	56
Abb. 6.12: CO ₂ -Bilanz für die Kompostierung und Vergärung in Deutschland [UBA, 2015] ..	57
Abb. 6.13: Emissionen der unterschiedlichen Kompostierungsverfahren [BGK, 2010]	59
Abb. 6.14: Einfluss der Abfallvorbehandlung auf die Emissionen von Deponien [IFEU Study, 2010, Ökoinstitut e.V.]	66
Abb. 6.15: Konzepte von Restabfallbehandlungsanlagen und deren Outputs.....	67
Abb. 6.16: Vereinfachtes Layout der unterschiedlichen MBA-Technologien (MBA = MBT: mechanical-biological Treatment; MBS = MBD: mechanical-biological Drying; MPS = MPD: mechanical-physical Drying [Ketelsen, 2015].....	68
Abb. 6.17: Anteile der Outputfraktionen der unterschiedlichen MBA-Technologien in 2012 [Ketelsen, 2015].....	69
Abb. 6.18: Spezifischer Stromverbrauch der untersuchten MBA-Anlagen 2012 [Ketelsen, 2015]	72
Abb. 6.19: Spezifischer Gasverbrauch der untersuchten MBA-Anlagen in 2012 [Ketelsen, 2015]	72
Abb. 7.1: Zu berücksichtigende Aspekte und Akteure in einem Abfallwirtschaftssystem.....	78
Abb. 7.2: Allgemeine Aspekte zur Berücksichtigung bei einer Abfallwirtschaftsstrategie für China.....	80
Abb. 7.3: Wichtige technische Aspekte in einer Abfallwirtschaftsstrategie für China.....	81
Abb. 7.4: Strategie zur getrennten biogenen Abfallsammlung in China	84
Abb. 7.5: Behandlungskonzepte für biogene Abfallströme in China.....	89
Abb. 7.6: Wichtige Parameter bei der Wahl biologische Abfallbehandlungstechnologien	90
Abb. 7.7: Vereinfachtes Flussdiagramm für MBA und MBS	97
Abb. 7.8: Outputs von MBA von gemischten Siedlungsabfällen.....	99
Abb. 7.9: Typische Zusammensetzung gemischter Abfälle aus chinesischen Stadtgebieten	101
Abb. 7.10: Abfallzusammensetzung von deutschem Restabfall und die daraus gewonnenen Outputs in zwei MBA-Konzepten [Ketelsen, 2015]	102
Abb. 8.1: Vergleich der Abfallströme für das aktuelle und das vorgeschlagene Abfallwirtschaftssystem in China	104

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Administrationsstruktur in China.....	8
Tabelle 3.1: Überblick über die gesetzlichen Regelungen der kommunalen Abfälle in China.....	14
Tabelle 4.1: Rechtlicher Rahmen der Siedlungsabfallwirtschaft in China.....	19
Tabelle 5.1: Logistischer Modus der Sammlung und des Transports von Siedlungsabfällen in Dörfern und Landkreisen [He et al., 2014].....	29
Tabelle 5.2: Investitionen in den Bau von gefahrlosen Siedlungsabfallbehandlungs- anlagen in der 13. Fünfjahresperiode (100 Millionen Yuan).....	36
Tabelle 6.1: Zusammenfassung der aeroben Technologien	52
Tabelle 6.2 Zusammenfassung der anaeroben Technologien	55
Tabelle 6.3: Emissionsfaktoren für das Recycling (Behandlung + Lagerung + Produktaufbringung) von biogenen Abfällen (Bio- und Grünabfällen) in Deutschland, Datenbasis Mittelwert [UBA 2015]	58
Tabelle 6.4: Ablagerungskriterien für MBA-Outputs [DepV, 2009 & EC, 2001]	65
Tabelle 7.1: Berechnete Kapazitäten und Behälterzahl zur Bereitstellung des nötigen Volumens	85
Tabelle 7.2: Vergleich des durchschnittlichen Wassergehaltes der Abfälle in Städten, Kreisen und Dörfern (vergl. Kapitel 5.2.1) mit dem optimalen Bereich der unterschiedlichen Technologien	89
Tabelle 7.3: Berechnete biogene Abfallmengen für unterschiedliche Sammelraten und Einwohnerzahlen.....	90
Tabelle 7.4: Eigenschaften chinesischer Lebensmittelabfälle im Vergleich zu Vergärungsoptima [EPD, 2009]	92
Tabelle 7.5: Vergleich der chinesischen und deutschen Grenzwerte für Kompost*.....	93

1. Veranlassung, Ziel und Geltungsbereich der Studie

China hat in den letzten Jahren große Fortschritte bei der Bewältigung seiner abfallwirtschaftlichen Herausforderungen gemacht. In den Ballungsräumen werden Wertstoffe (PPK, Kunststoff, Metalle) bereits separat erfasst und verwertet. Deren Anteil im Siedlungsabfall ist dadurch gering. Die verbleibenden Siedlungsabfälle (Restmüll) werden in den Ballungsräumen gesammelt und deponiert bzw. thermisch behandelt. Handlungsbedarf besteht vor allem bei der Behandlung und Verwertung von biogenen Abfällen, die noch zusammen mit dem Restmüll gesammelt werden, so dass deren stoffliches und energetisches Potenzial ungenutzt bleibt. Im ländlichen Bereich muss die Abfallbewirtschaftung im Allgemeinen noch entscheidend verbessert werden.

Die Herausforderungen an die Behandlung der biogenen Fraktion der Siedlungsabfälle in China und in den meisten Ländern der Welt sind vielfältig. Eine entscheidende Rolle spielen die großen Mengen an biogenem Material und deren hoher Wassergehalt. Größere Städte produzieren mehr als 1.000 bis 20.000 Tonnen Hausmüll täglich. Chinesischer Hausmüll enthält mit durchschnittlich mehr als 60 % einen großen Anteil biogener Abfälle. Diese biogenen Abfälle – im chinesischen Hausmüll handelt es sich dabei hauptsächlich um Küchenabfälle – enthalten sehr viel Wasser, deshalb ist der Wassergehalt im Hausmüll mit ca. 60 % ebenfalls sehr hoch.

Der hohe Organik- und Wasseranteil im Siedlungsabfall ist für die Abfallbehandlung eine Herausforderung und vom ökologischen und energetischen Aspekt her betrachtet sehr problematisch. Bei der Deponierung produziert die feuchte biogene Fraktion klimarelevantes Deponiegas und verschlechtert die Sickerwasserqualität erheblich. Bei der Behandlung in Müllverbrennungsanlagen erschwert der sehr hohe Organik- und damit Wasseranteil die effiziente Verbrennung. Ökologische und energetische Potenziale werden dadurch verschenkt. Eine thermische Behandlung ist somit nicht ausreichend effektiv.

Aus Sicht des Klimaschutzes ist die umweltverträgliche Behandlung und Verwertung der biogenen Fraktionen ein zentraler Schlüssel, um weitere Erfolge beim Klimaschutz zu erreichen. Deutschland hat in diesem Bereich bereits viele Erfahrungen gesammelt und hat das Ziel, dieses Know-how zu transferieren und damit die VR China zu unterstützen.

Die chinesische Staatsregierung hat ambitionierte abfallwirtschaftliche Ziele vorgegeben. So ist China bemüht, den Anteil der Abfälle, die vor der Ablagerung verwertet und behandelt werden, zu steigern. In den letzten Jahren wurden dazu zahlreiche Anlagen, vor allem Müllverbrennungsanlagen für Hausmüll, errichtet. Der wasserbedingt geringe Heizwert des Abfalls erschwert jedoch eine problemlose thermische Behandlung. Neue Ideen für die biogenen Fraktionen können die Verwertung und Behandlung steigender Abfallmengen unterstützen.

Vor diesem Hintergrund untersucht die Studie Möglichkeiten zur getrennten Erfassung und Verwertung der biogenen Fraktionen der Siedlungsabfälle in der VR China. Dazu wurden zusätzlich zur aktuellen Fachliteratur Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen in Zusammenarbeit mit lokalen Experten ausgewertet.

Ziel der Studie ist es, die Situation der biogenen Abfälle in China zu beschreiben und zu analysieren sowie geeignete und angepasste Lösungen für deren Verwertung zu erarbeiten. Die Ergebnisse sollen Akteuren in China im Rahmen von Workshops vermittelt werden. So

soll auf die Bedeutung der biogenen Abfälle und auf die Handlungsnotwendigkeit hingewiesen werden. Gleichzeitig sollen aber auch Lösungen und mögliche Technologien sowie Anbieter bekanntgemacht werden. Die Ergebnisse der Studie können damit eine Grundlage für zukünftige Pilotvorhaben und Abfallverwertungsanlagen bilden.

Als Siedlungsabfall werden Abfälle aus privaten Haushalten (Hausmüll, Sperrmüll, Bioabfall, getrennt erfasste Wertstoffe wie Glas, Papier, Verpackungen und Metalle, etc.) sowie hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (Abfälle aus Praxen, Verwaltungsgebäuden, Schulen und Kindergärten) bezeichnet. Ferner gehören zu den Siedlungsabfällen auch Marktabfälle, Straßenkehricht, Abfälle von öffentlichen Flächen, Parkabfälle sowie Abfälle aus wasserwirtschaftlichen Maßnahmen (Klärschlämme).

Gegenstand der Studie ist die biogene Abfallfraktion aus **Siedlungsabfällen außer Klärschlämmen**. Zudem werden **biogene Abfälle aus Restaurants** berücksichtigt, da dieser Abfallstrom in China mengenmäßig sehr bedeutend ist und die bisherige Praxis der Verwertung zukünftig geändert werden soll. In der Studie werden gefährliche Abfälle nicht betrachtet.

In der europäischen Gesetzgebung sind die Begriffe Bioabfall bzw. biologisch abbaubarer Abfall definiert. Aufgrund rechtlicher Unterschiede können verschiedene organische Materialien zu diesen Kategorien gezählt werden. Um Missverständnisse zu vermeiden wird deswegen in der Studie der Begriff „**biogen**“ benutzt. **Biogene Abfälle** beziehen sich auf organische Abfälle, die durch biologischen Abbau zersetzt werden können und so letztlich zu anderen organischen Verbindungen, wie beispielsweise Biogas, umgesetzt oder in ihre mineralischen Bestandteile zerlegt werden. Zugleich umfassen **biogene Abfälle** auch Abfälle aus verschiedenen Wirtschaftsbereichen und Branchen wie beispielsweise aus der Landwirtschaft, der Lebensmittelindustrie, der Energieproduktion und auch Abfälle des privaten Konsums.

2. Entwicklung, Stand und Perspektiven der Kreislaufwirtschaft

2.1 Deutschland

Die Abfallwirtschaft in Deutschland ist durch neue politische und rechtliche Vorgaben sowie technische und organisatorische Weiterentwicklungen permanent im Wandel und hat sich zu einem großen und leistungsstarken Wirtschaftssektor entwickelt. Die moderne Abfallwirtschaft ist somit das Ergebnis eines langen **Entwicklungsprozesses**. Abbildung 2.1 fasst diese Entwicklung entlang einer Zeitachse zusammen.

Dargestellt und beschrieben wird im Folgenden nur die Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland. Die Abfallwirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik war völlig anders organisiert und ständig auf die Nutzung von verwertbaren Abfällen ausgerichtet. Das geschah nicht aus Gründen des Umweltschutzes sondern war allein der Rohstoffknappheit geschuldet.

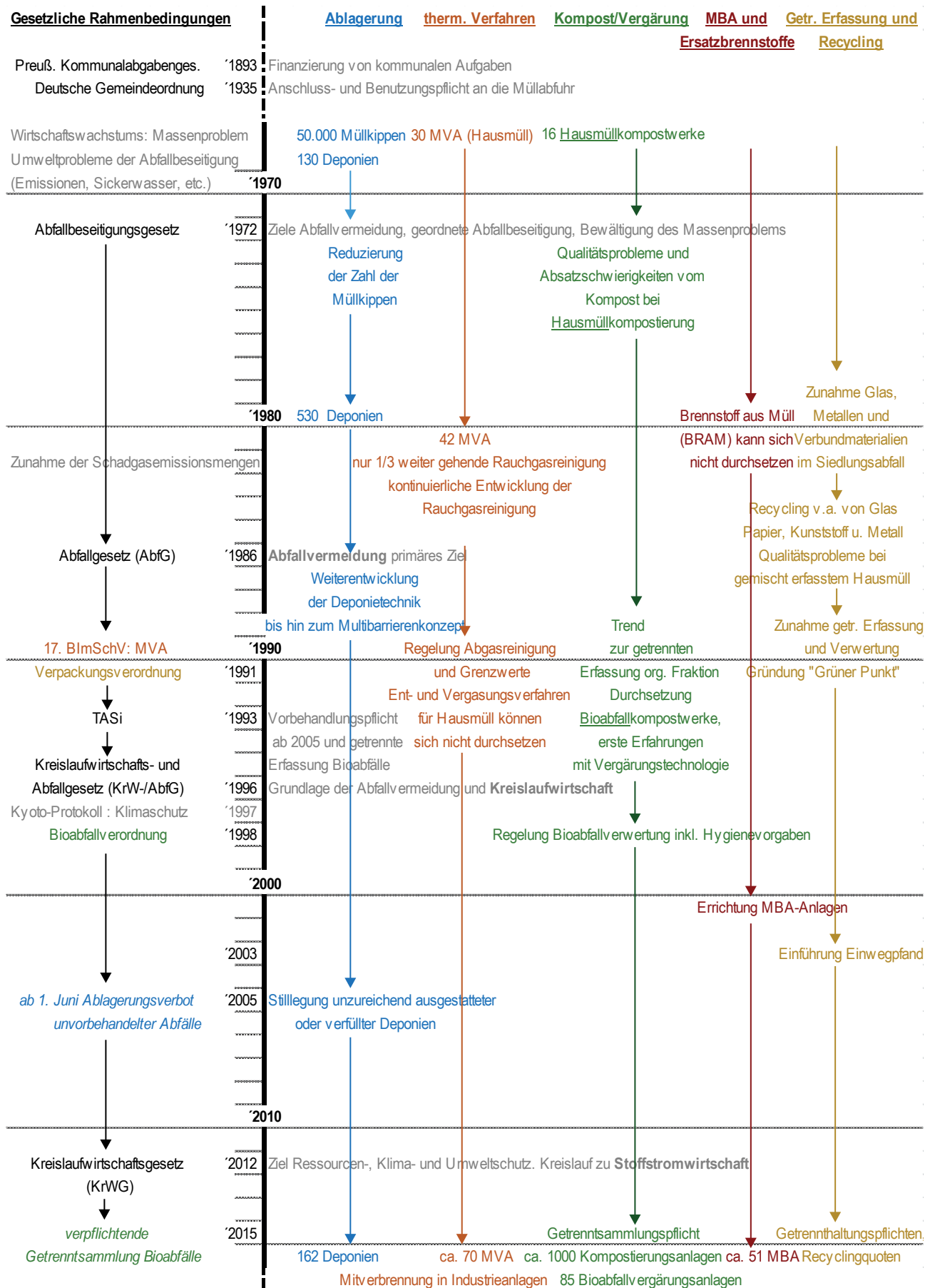


Abb. 2.1: Zusammenfassende Darstellung der gesetzlichen (links) und technischen (rechts) Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland entlang der Zeitachse

Die rechtlichen Grundlagen für eine funktionierende Abfallwirtschaft wurden schon im neunzehnten Jahrhundert gelegt. Mit dem Preußischen Kommunalabgabengesetz vom 1893 wurden die Gemeindefinanzen neu geordnet und damit die Voraussetzung für die Einrichtung kommunaler Stadtreinigungsbetriebe geschaffen. Kommunen waren von da an befugt, Gebühren für die Abfallentsorgung zu erheben. Später in 1935 legte die deutsche Gemeindeordnung den allgemeinen Anschluss- und Benutzungszwang für die Müllabfuhr fest. Damit wurde die Erfassung aller Abfälle sichergestellt und wilden, illegalen Entsorgungswegen kein legaler Raum mehr gegeben. Mitte der sechziger Jahre wurden schließlich Städte und Gemeinden als Abfallbeseitigungspflichtige und damit als Verantwortliche für die Abfallentsorgung festgelegt. Im gleichen Zeitraum wurden die ersten Merkblätter zu Fragen der Abfallbeseitigung verfasst, die *Richtlinien zum Umgang mit Abfällen* der Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall.

Von der Abfallbeseitigung zur Kreislaufwirtschaft

Bis zum Ende der sechziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts wurden Abfälle zum größten Teil auf ca. 50.000 Kippen ungeordnet abgelagert. Nur ca. 37 % des Hausmülls wurden in ungefähr 130 geordneten Deponien, 16 Kompostwerken und 30 Verbrennungsanlagen behandelt und entsorgt [Billitewski et al., 2013]. Zu diesem Zeitpunkt sind die Technologien noch nicht ausgereift und verursachen sekundäre Umweltprobleme: Grundwassergefährdung und Gasemissionen durch Ablagerung von Abfällen, Schadgasemissionen aus der Müllverbrennung und Qualitätsprobleme des Kompostes aus gemischten Abfällen.

Zusätzlich hatte das Wirtschaftswachstum Anfang der siebziger Jahre eine Steigerung der industriellen Produktion und des privaten Konsums sowie von Wegwerfverpackungen und -produkten zur Folge. In dieser Zeit musste die Abfallentsorgung zum einen die Abfallmassen bewältigen und zum anderen eine *geordnete Abfallbeseitigung* unter Ausschluss einer Gefährdung der Gesundheit von Mensch und Tier entwickeln. Mit der ersten bundeseinheitlichen rechtlichen Regelung, dem *Abfallbeseitigungsgesetz von 1972*, sollten beide Probleme gelöst werden.

Durch das Gesetz konnte bis in die achtziger Jahre die Zahl der ursprünglich 50.000 ungeordneten Müllkippen erheblich gesenkt und gleichzeitig eine kontinuierliche Verbesserung der Deponietechnik erreicht werden. Im gleichen Zeitraum stieg die Zahl der Abfallverbrennungsanlagen, allerdings noch mit unzureichender Rauchgasreinigung. Zwar verfügten alle Anlagen über Entstaubungseinrichtungen, aber nur ein Drittel der Anlagen besaß eine weitergehende Rauchgasreinigung. Dadurch und durch den zunehmenden Anteil chemischer Produkte im Hausmüll stiegen die Mengen der emittierten Schadstoffe weiterhin an.

Die Technologien zur Behandlung gemischter Abfälle sind noch nicht umweltverträglich. Die ersten Versuche, Brennstoff aus Müll (BRAM) herzustellen, werden eingestellt, da es große Probleme mit den Emissionen gibt. Auch die Hausmüll-Kompostierung konnte sich nicht durchsetzen. Durch die schon erwähnte Veränderung der Hausmüllzusammensetzung, mit zunehmenden Anteilen an Metallen und Verbundmaterialien, stiegen die Schwermetallbelastungen. Der Kompost wurde von den Landwirten nicht abgenommen.

Erste Versuche aus Hausmüll Wertstoffe zu gewinnen, scheiterten. Gründe waren u.a. die ungenügenden Produktqualitäten und eine schlechte Wirtschaftlichkeit der Sortieranlagen.

Ab Mitte der achtziger Jahre begann man, einzelne Hausmüllströme getrennt zu erfassen (Glas, Papier).

Während bei der geordneten Abfallbeseitigung gute Fortschritte erreicht wurden, konnten bei der Steuerung der Abfallmengen keine so guten Erfolge erzielt werden. Aus diesem Grund erklärte das *Abfallgesetz von 1986* die Abfallvermeidung vor der Verwertung und Beseitigung als wesentliches Ziel. Zur Vermeidung zählen abfallarme Technologien, die Wiederverwertung von Produkten, ihre recyclinggerechte Konstruktion sowie die Erhöhung der Lebensdauer der Gebrauchsgüter.

Aufgrund der Qualitätsprobleme der Verwertungstechnologien findet zu Beginn der 90er-Jahre ein Umdenken bezüglich der Entsorgungswege statt und die getrennte Erfassung gewinnt an Bedeutung. Die vom übrigen Hausmüll getrennte Erfassung der biogenen Fraktion nimmt deutlich zu, da sich nur aus getrennt gesammelten Bioabfällen ein absatzfähiges Produkt erzeugen lässt. Damit setzt sich die Kompostierung von getrennt gesammelten Bioabfällen durch und auch die anaerobe Behandlung dieser Fraktion als Ergänzung zur Kompostierung entwickelt sich. So sind Anfang der 90er-Jahre weniger als 10 Anlagen für die Hausmüllkompostierung und ca. 80 Anlagen für die Bioabfallkompostierung in Betrieb. Analog zeichnet sich auch beim Recycling ab, welches sich bis dahin vor allem auf Glas, Papier, Kunststoff und Metall konzentriert, dass eine getrennte Erfassung der Wertstoffe Voraussetzung für die Gewinnung hochwertiger Sekundärrohstoffe ist.

Mit der *17. BImSchV von 1990* müssen bestehende Müllverbrennungsanlagen mit einem anspruchsvollen Abgasreinigungssystem nachgerüstet bzw. stillgelegt und die vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten werden. Trotz dieser Regelung wird die Müllverbrennung von der Bevölkerung weiterhin kritisch gesehen, da neue Schadstoffe wie Dioxine Sorgen bereiten. Die *17. BImSchV* wird ständig verschärft, die Abgasreinigungssysteme werden weiter nachgerüstet und die Abgasqualität aus Abfall- und Abfallmitverbrennungsanlagen stark verbessert. Bis in die 2000er steigt aber nicht nur die Zahl der Anlagen sondern auch der durchschnittliche Anlagendurchsatz. Im Bereich der thermischen Behandlung von Siedlungsabfällen gibt es Versuche mit Ent- und Vergasungstechnologien, die sich allerdings nicht durchsetzen.

Mit der *Verpackungsverordnung von 1991* werden nach dem Prinzip der „Produktverantwortung“ Nutzer und Vertreiber dazu verpflichtet ihre Produktverpackungen zurückzunehmen und zu verwerten. Zur Erfüllung dieser Pflicht wird das Duale System (Symbol „Grüner Punkt“) gegründet.

Bei der Deponierung setzt sich das Multibarrierenkonzept durch, flüssige und gasförmige Emissionen werden minimiert. Allerdings erkennt man schnell, dass damit vor allem die gasförmigen Emissionen nicht verhindert werden. Um die negativen Umweltauswirkungen der Abfallablagerung grundsätzlich zu minimieren, wird 1993 in der *Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi)* die Vorbehandlungspflicht von Abfällen ab 2005 beschlossen.

Um die Abfallvermeidung weiter voranzutreiben, wird 1996 das *Abfallgesetz zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)* novelliert. Zusätzlich zur Abfallvermeidung wird der Schwerpunkt auf die Kreislaufwirtschaft gesetzt. Weiterhin werden mit der *Bioabfallverordnung von 1998* die Qualitätsanforderungen für die Verwertung der getrennt erfassten biogenen Abfälle geregelt.

Klima- und Ressourcenschutz gewinnen an Bedeutung

Mit dem Kyoto Protokoll im Jahr 1997 gewinnen die Themen Klima- und Ressourcenschutz an Bedeutung. Dank der strengen gesetzlichen Anforderungen gelingt es der Abfallwirtschaft, erheblich zum Klimaschutz beizutragen. Vor allem durch das seit Juni 2005 geltende Ablagerungsverbot von unbehandelten Siedlungsabfällen wird die Methanbildung in Deponien sehr stark reduziert. Aber auch die verstärkte stoffliche und energetische Nutzung der Abfälle trägt zum Klima- und Ressourcenschutz bei.

Anfang der 2000er-Jahre entwickelt sich zusätzlich zur thermischen Abfallbehandlung die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung als weitere Möglichkeit, Siedlungsabfälle vorzubehandeln. Die 30. BImSchV regelt dabei die einzuhaltenden technischen Standards bezüglich der Emissionen. Anfangs steht die Inertisierung der biogenen Fraktion im Vordergrund, später wird zunehmend die Gewinnung von heizwertreichen Fraktionen interessanter. Durch die energetische Nutzung der Abfälle können fossile Brennstoffe ersetzt werden.

So belastete die Abfallwirtschaft im Jahr 1990 noch mit ca. 38 Millionen Tonnen (Mio. t) CO₂-Äquivalenten das Klima, wohingegen sie im Jahr 2006 etwa 18 Mio. t CO₂-Äquivalente einsparen konnte. Von 1990 bis 2006 konnte die Abfallwirtschaft ihre jährlichen Emissionen klimaschädlicher Gase um ca. 56 Mio. t CO₂-Äquivalente senken [UBA, 2010].

Des Weiteren kommt es bis 2005 zu einer vermehrten Stilllegung unzureichend ausgestatteter oder verfüllter Deponien und zur Einführung des sogenannten „Einwegpfandes“.

Höchste Verwertungsquoten weltweit – auf dem Weg zum Stoffstromwirtschaft

Das aktuelle *Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)* von 2012 gibt den Weg der Abfall- und Kreislaufwirtschaft hin zu einer ressourceneffizienten Stoffstromwirtschaft vor. Ziel der Abfallwirtschaft ist es, natürliche Ressourcen zu schonen und Abfälle umweltverträglich zu bewirtschaften, so dass eine nachhaltige Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Ressourceneffizienz erreicht wird. Abfälle werden als wertvolle Rohstoffe, deren effektive Nutzung natürliche Ressourcen schont, angesehen. Während die Abfallvermeidung eine Minderung des Rohstoffverbrauchs und der Umweltbelastungen bedeutet, heißt Abfallverwertung die Rückführung von Rohstoffen und Energie in den Wirtschaftskreislauf.

Kern des KrWG ist die Umsetzung einer fünfstufigen Abfallhierarchie mit der Abfolge: Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung und schließlich die Abfallbeseitigung. Dabei hat die jeweils beste Option aus Sicht des Umweltschutzes Vorrang, wenn auch technische, wirtschaftliche und soziale Aspekte berücksichtigt werden. Damit wird eine konsequente Ausrichtung auf die Abfallvermeidung und das Recycling sichergestellt.

Der Beitrag der Abfallwirtschaft zur Ressourcenschonung zeigt sich in den weltweit höchsten Verwertungsquoten, durch die Rohstoffe und Primärenergie eingespart werden. Etwa 88 % der Siedlungsabfälle werden verwertet, mehr als 65 % stofflich. Bei einzelnen Abfallfraktionen liegen die Recyclingquoten noch höher, so z.B. bei Verpackungen. 2014 wurden 97,6 % (Vorgabe laut Verpackungsverordnung 65 %) der gesamten angefallenen Verpackungsabfälle verwertet, wobei 71,4 % davon stofflich verwertet wurden (Vorgabe 55 %) [UBA, 2014].

Auch im Bereich Klimaschutz können weiterhin Emissionsminderungen erreicht werden, so z.B. durch die Kapazitätssteigerung in der Mechanisch-Biologischen Vorbehandlung und den dadurch höheren Verwertungsraten.

Das KrWG führt die bewährte Aufgabenteilung zwischen privaten Entsorgern und öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern weiter fort. Nach dem Verursacherprinzip sind gewerbliche Erzeuger und Besitzer von Abfällen grundsätzlich selbst für die Entsorgung ihrer Abfälle verantwortlich.

Kommunen als öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger sind nach dem Prinzip der Daseinsvorsorge verantwortlich für die Entsorgung der Abfälle aus privaten Haushalten und von Abfällen zur Beseitigung aus sonstigen Herkunftsbereichen.

Dadurch hat sich die Abfallwirtschaft in Deutschland zu einem großen und leistungsstarken Wirtschaftssektor mit über 250.000 Beschäftigten und ca. 50 Milliarden Euro jährlichem Umsatz entwickelt [BMUB, 2016]. Neue Impulse werden mit der verpflichtenden Getrenntsammlung von Altpapier, Altglas, Kunststoffabfällen und biogenen Abfällen seit 2015 erwartet.

Innovative Abfallkonzepte und Technologie-Transfer für Ressourcen- und Klimaschutz

Zukünftiges Ziel der Bundesregierung ist es, die Abfall- und Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen ressourceneffizienten Stoffstromwirtschaft weiterzuentwickeln. So sollen die im Abfall gebundenen Stoffe und Materialien vollständig genutzt werden, um eine Deponierung von Abfällen überflüssig zu machen [BMUB, 2016].

Um die stofflichen Potenziale der verschiedenen Abfallströme möglichst vollständig nutzen und die Qualitätsanforderungen einhalten zu können, ist die konsequente getrennte Erfassung von Abfallströmen und ihre getrennte Vorbehandlung grundsätzlich erforderlich. Denn die Kreislaufführung muss sicherstellen, dass Schadstoffe aus Abfällen nicht in neue Produkte übertragen sondern schadlos ausgeschleust werden.

Die Abfallwirtschaft in Deutschland hat ein hohes technisches Niveau erreicht. Deswegen unterstützt und fördert die Bundesregierung nachhaltige Abfallwirtschaftskonzepte mit modernen und effizienten Abfallbehandlungstechniken, mit denen aus Abfall Rohstoffe oder Energie gewonnen werden können, sowie gezielt den Transfer von Wissen und Technologien.

2.2 China

China ist in vier eigenständige Städte (direkt unter der Zuständigkeit der Zentralregierung), 23 Provinzen, 5 autonome und 2 spezielle Verwaltungsregionen, siehe Tabelle 2.1, aufgeteilt. Im Jahr 2015 belief sich die Gesamtbevölkerungszahl auf dem chinesischen Festland auf 1,37 Milliarden, davon 56,1 % städtische Bevölkerung [MOHURD, 2016a].

Die Erfassung der Daten zu festen Abfällen begann 1979 auf Stadtebene und im Jahr 2000 auf Kreisebene. Im Jahr 2015 gab es 656 Städte auf dem chinesischen Festland mit einer gesamten Siedlungsabfallsammlung von 191,42 Millionen Tonnen (524 Tsd. t/d), von denen 98 % behandelt wurden [MOHURD, 2016a]. Im selben Jahr wurde in 1.596 Landkreisen eine Menge von insgesamt 66,57 Millionen Tonnen (182 Tsd. t/d) Siedlungsabfall gesammelt, von denen 71,6 % behandelt worden sind [MOHURD, 2015].

Tabelle 2.1: Administrationsstruktur in China

Administrative Gliederung	Verwaltungseinheiten	Stadtebenen	Anzahl der Städte	Städtenamen
Provinzebene	34	Städte auf Provinzebene	6	Beijing Chongqing Shanghai Tianjin Hong-Kong Macau
- Provinz	23			
- autonome Gebiete	5			
- eigenständige Städte (Municipality)	4			
- Sonderverwaltungszonen	2			
Bezirksebene (Prefecture)	334	Städte auf Bezirksebene	291	Anmerkung: die im Folgenden genannten Zahlen gelten für Städte auf dem Festland, d.h. Zahlen von Hong-Kong und Macau sind nicht enthalten
Kreisebene (County)	2.850	Städte auf Kreisebene	361	
Gemeindeebene (Township)	39.789			
Dorfebene (Village)	2,64 Millionen			
			658	

In China sind die Quellen von Siedlungsabfällen im Allgemeinen Wohnhaushalte, Märkte, kommerzielle Standorte, öffentliche Bereiche, Straßen, Tempel und religiöse Institutionen. Die meisten chinesischen Städte, sowohl hochmoderne als auch relativ strukturschwache Regionen, weisen zeitgleich verschiedene Entwicklungsmuster auf. China erlebt derzeit eine rasante wirtschaftliche Entwicklung und Urbanisierung, wodurch es mit enormen Herausforderungen im Abfallmanagement konfrontiert wird. Die Menge an Siedlungsabfällen hat in China in den letzten Jahren rapide zugenommen und China verursacht mittlerweile die größte Siedlungsabfallmenge weltweit.

Die Gesamtmenge der gesammelten Siedlungsabfälle in den Städten auf dem Festland erhöhte sich von 25,8 Millionen Tonnen im Jahr 1979 [MOHURD, 2016a] auf 155 Millionen Tonnen (120 kg pro Kopf) im Jahr 2004 [Nationales Büro für Statistik Chinas, 2005] und 164 Millionen Tonnen im Jahr 2011, und erreichte 2015 eine Gesamtmenge von 191 Millionen Tonnen [MOHURD, 2016a]. Diese Statistiken enthalten nicht die von den Müllsammlern (informeller Sektor) gesammelten Abfälle, welche schätzungsweise 8-10 % der erzeugten Siedlungsabfälle ausmachen.

Siedlungsabfälle werden in China überwiegend auf Deponien und in Müllverbrennungsanlagen entsorgt, man spricht dabei in beiden Fällen von einer „**gefährlosen**“ **Behandlung/Entsorgung**. Die Abfallablagerung unvorbehandelter Abfälle in gesicherten Deponien (sanitary landfill) stellt einen Fortschritt gegenüber der Ablagerung in Müllkippen dar und wird als Behandlung bzw. gefährlose Behandlung bezeichnet.

So wurden beispielsweise im Jahr 2010 79 % der Siedlungsabfälle deponiert, 19 % verbrannt und 2 % kompostiert [MOHURD, 2016a]. Im Jahr 2015 lag die Entsorgungsquote der Siedlungsabfälle in chinesischen Städten bei 98 % [MOHURD, 2016a].

Die folgende Abbildung 2.2 gibt einen Überblick über die rechtliche und technische Entwicklung der Abfallwirtschaft in China.

Rechtsvorschriften und Politik

1979 markierte der Erlass des *Umweltschutzgesetzes der Volksrepublik China* den Neubeginn des Umweltschutzes (das Gesetz wurde 1989 offiziell erlassen und im Jahr 2015 überarbeitet). 1983 wurde die zweite nationale Umweltschutzarbeitskonferenz abgehalten; erstmals wurden Anforderungen an die Abfallbehandlung vorgestellt.

Erst Anfang der achtziger Jahre wurde die Abfallwirtschaft zu einem ernsthaften Problem, welchem die chinesische Regierung große Bedeutung beimaß. Im Jahre 1983 (6. Fünfjahreszeitraum 1981-1985) wurden erstmals die Anforderungen an die Abfallbehandlung vorgestellt. Zur Zeit der 7. Fünfjahresperiode (1985-1990) wurde die erste Mülldeponie Hangzhou Tianziling MSW-Deponie (Phase I) gebaut und mit einer „verdichteten vertikalen Sperrschicht gegen Sickerwasser“ („anti-seepage vertical curtain grouting“, keine HDPE-Membran) ausgestattet.

1988 erließ das Ministerium für Bauwesen den ersten Standard für die Abfallablagerungstechnologie „*Sanitary Landfill Technology Standard for Municipal Solid Waste*“ (CJJ17-88).

Während der frühen Neunzigerjahre (8. Fünfjahreszeitraum 1991-1995) wurden weitere Verordnungen von verschiedenen Behörden erlassen: Im Jahr 1992 wurde die Stadtgestaltungs- und Umweltsanierungsmanagement Verordnung, die „*City Appearance and Environmental Sanitation Management Regulation*“ (101. Ordnung) vom Staatsrat erlassen. 1993 wurde die städtische kommunale Abfallwirtschaftsverordnung, die „*Municipal Solid Waste Management Regulation*“ (27. Ordnung) vom Ministerium für Bauwesen erlassen und 2007 überarbeitet.

1995 wurden die Anforderungen an kommunale Abfallbehandlung und -management vertraglich durch ein Gesetz über die Verhütung und Bekämpfung der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle, „*Prevention and Control of Environmental Pollution by Solid Wastes*“ (Nr. 58) vereinbart, welches seit dem 1. April 1996 umgesetzt und in den Jahren 2004 und 2014 überarbeitet wurde.

Beginn des modernen geordneten Deponiebaus

Im Jahr 1997 wurde während der 9. Fünfjahresperiode (1996-2000) die erste Mülldeponie, welche eine HDPE-Membran als undurchlässige Schicht verwendet, aufgebaut und in Betrieb genommen, Shenzhen Xiaping MSW Deponie (Phase I). Die Bauweise der geordneten Deponien ist von nun an den internationalen Standards angepasst. Im nächsten Jahr begann China, die staatlichen Schuldenfonds zu nutzen, um den Bau von geordneten Deponien der Städte zu unterstützen, was wiederum den Bau von Abfallbehandlungsanlagen stark gefördert hat.

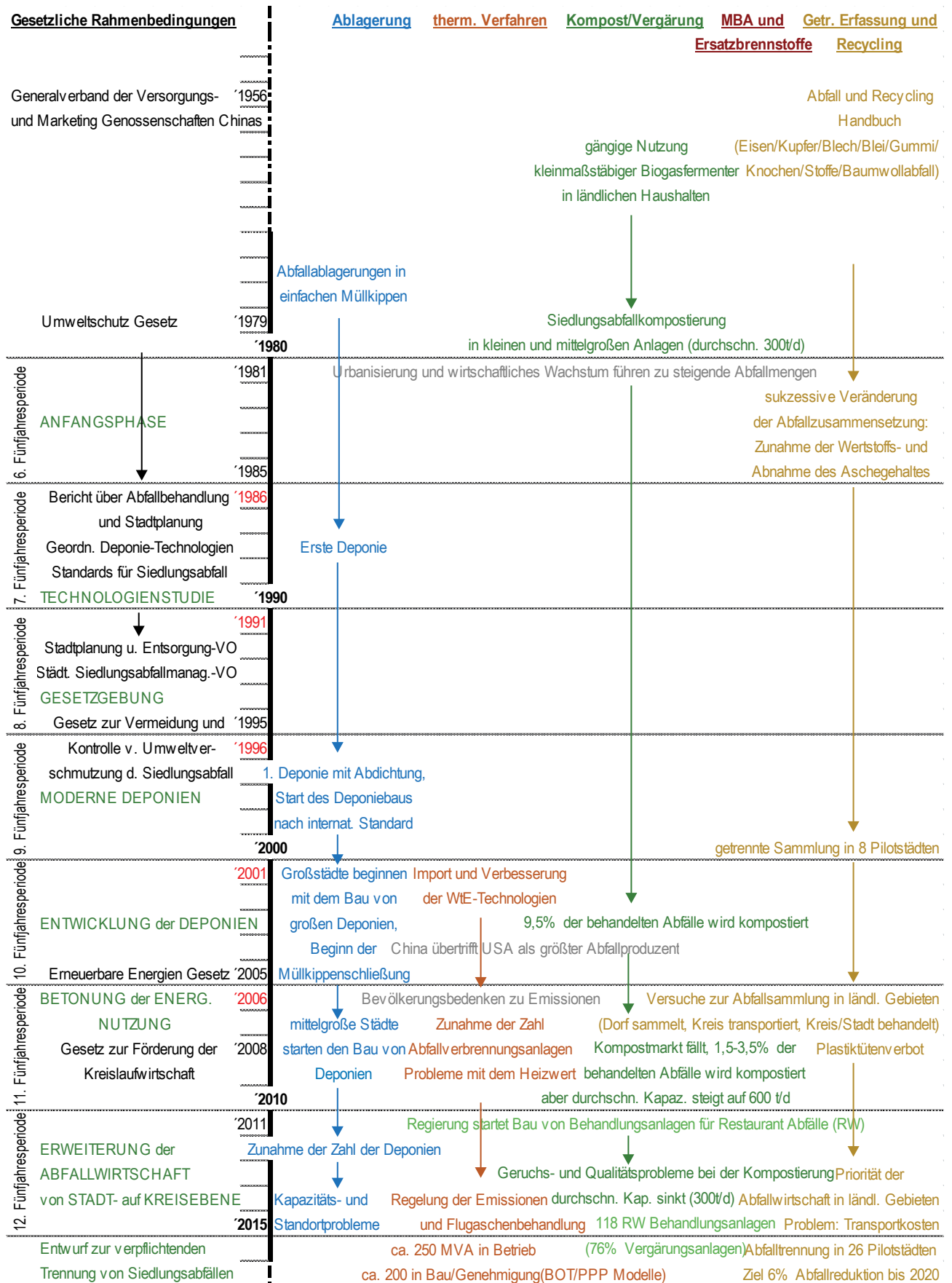


Abb. 2.2: Zusammenfassende Darstellung der gesetzlichen (links) und technischen (rechts) Entwicklung der Abfallwirtschaft in China entlang der Zeitachse

Während der 10. und 11. Fünfjahresperiode (2001-2010) haben Großstädte und wirtschaftlich entwickelte Küstenstädte begonnen, große geordnete Mülldeponien zu bauen. Des Weiteren wurden einige einfache Müllkippen ohne Basisabdichtung geschlossen, was die „gefährlose Entsorgungsquote“ verbesserte.

Nach Beginn der 11. Fünfjahresperiode wurden sowohl in Großstädten als auch in kleinen und mittelgroßen Städten sowie in entwickelten Landkreisen geordnete Deponien gebaut. Aufgrund der großen Zahl an Bauprojekten erlangte auch die Sickerwasserbehandlung allmählich mehr Aufmerksamkeit. Währenddessen wurde von der MOHURD eine Deponiebewertung durchgeführt, um die verschiedenen Stufen der geordneten Deponien in vier Klassen (I, II, III, IV) zu unterscheiden.

Mit der Entwicklung der „China Socialist New Rural Construction“, einer Bewegung zur Entwicklung des ländlichen Raumes, bekamen die ländlichen Gebiete mehr Aufmerksamkeit. In einigen Provinzen wurden Versuche zur Sammlung und Behandlung von Abfällen im ländlichen Raum durchgeführt.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz

Der 12. Fünf-Jahres-Plan legt dar, dass die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft eine wichtige strategische Aufgabe der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung in China ist und einen wichtigen Beitrag zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung leistet. Zukünftig sollten die Verbesserung der Ressourceneffizienz und der Anreiz- und Hemmnismechanismen, das aktive Aufbauen des Recyclingsystems, die Förderung der erneuerbaren Rohstoffindustrie und des nachhaltigen Konsums sowie die Beschleunigung der Schaffung eines Ressourcen-Recyclingsystems, welches die gesamte Gesellschaft abdeckt, fokussiert werden.

Seit dem 1. Januar 2009 hat China das „Kreislaufwirtschaftsfördergesetz“ (the Chairman's order No. 4) eingeführt, um die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft zu fördern, die Effizienz der Ressourcennutzung zu verbessern, sowie um die Umwelt zu schützen und zu verbessern und eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen. Die Kreislaufwirtschaft zielt im Gesetz eindeutig auf die Verminderung von Abfällen; die Abfallverwertung nimmt die wichtigste Rolle der Kreislaufwirtschaft ein.

Im Dezember 2011 veröffentlichte die „National Development and Reform Commission“ (NDRC) die „Notice on Resources Integrated Utilization Resources Guideline and Large Amount Solid Waste Integrated Utilization Implementation Plan“. Die Bekanntmachung unterstützt die grundlegende staatliche Politik der Ressourcenerhaltung und des Umweltschutzes, förderte zudem die Ressourcen-integrierte Nutzung in der Zeit der 12. Fünfjahresperiode und beschleunigte die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft. Sie stellte die Leitideologie, Grundprinzipien, Hauptziele, Schlüsselbereiche und politische Maßnahmen der Ressourcen-integrierten Nutzung in den Vordergrund, und schlug vor, einen Umsetzungsplan für feste Abfälle, welche in großen Mengen vorkommen, ein hohes Recycling-Potenzial besitzen und eine große Umweltbelastung darstellen, für die Fertigungsindustrie, Bauindustrie, Land- und Forstwirtschaft usw. zu erstellen.

Seit September 2012 hat die Zentralregierung einen Sonderfond für die Kreislaufwirtschaftsentwicklung ins Leben gerufen, um die Schlüsselprojekte zur Kreislaufwirtschaft, die

Demonstration und Förderung von Kreislaufwirtschaftstechnologien und -produkten sowie den Kapazitätsaufbau in der Kreislaufwirtschaft zu unterstützen.

Spezifische Inhalte im 12. Fünfjahrplan umfassen:

- Aufbau eines Recycling-basierten Dienstleistungssystems und Förderung der Kreislaufwirtschaft auf gesellschaftlicher Ebene. Förderung des erneuerbaren Ressourcen-Recycling-Systems und eines Siedlungsabfall-Trennsystems sowie die Förderung „grüner“ Gebäude und des „grünen“ Transports. Ziel ist die vollständige Entwicklung der führenden Rolle der Dienstleistungsindustrie und die Einführung eines grünen Konzeptes zum niedrigen Kohlenstoffverbrauch.
- Durchführung kreislaufwirtschaftlicher Vorführaktionen, Förderung von Veranschaulichungsvorhaben, Schaffung einer kreislaufwirtschaftlichen Musterstadt und Förderung eines Vorzeigeunternehmens und eines Musterparks.
- Verbesserung der Besteuerung und Finanzierung industrieller Investitionen.
- Verbesserung der Preisgestaltung und Gebührenpolitik in der Abfallwirtschaft.
- Verbesserung der Vorschriften und Normen sowie die Erstellung eines statistischen Bewertungssystems.
- Stärkung der Aufsicht und Verwaltung im Abfallbereich; sowie die Aktivierung des internationalen Austausches und der Zusammenarbeit zur Förderung der Entwicklung der Kreislaufwirtschaft.

Nationale wirtschaftliche und soziale Entwicklung

Im März 2016 wurde der 13. Chinesische Fünf-Jahres-Plan zur nationalen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung propagiert. Im Kapitel 43 „Förderung der Ressourcenschonung und der intensiven Nutzung“ wies die Sektion 5 „Starke Entwicklung der Kreislaufwirtschaft“ darauf hin, dass die kreislaufwirtschaftliche Entwicklung das Kernkonzept des Plans ist, um die Verbreitung der kreislaufwirtschaftlichen Vernetzung zwischen Produktion und Lebenssystemen zu fördern und die Nutzung von Abfällen zu beschleunigen.

Es sollen Vorkehrungen getroffen werden, damit sich das Produktdesign der Industrie daran orientiert, einen Materialfluss durch Recycling zu ermöglichen. Die Umwandlung von Industrieparks in Recyclingstandorte soll gefördert und ein kreislaufwirtschaftlicher Modellpark, der auch den ländlichen Raum einbezieht, gebaut werden. Die Förderung der Recycling-Transformation von Industrieparks und der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft im industriellen und landwirtschaftlichen Bereich werden angestrebt. Ziel ist eine „Symbiose“ zwischen verschiedenen Unternehmen und Wirtschaftsbereichen.

Es soll die Entwicklung und Nutzung des sogenannten „urban minings“ sowie die erfolgreiche Nutzung von industriellen und anderen Abfällen gefördert werden.

Der Bau von „gefahrlosen“ Verwertungssystemen für Restaurantabfälle, Bauschutt und Abbruchabfall sowie das Textilrecycling soll beschleunigt und die Entwicklung der Wiederaufbereitung reguliert werden. Es soll das Konzept der erweiterten Herstellerverantwortung eingeführt werden. Das Netzwerk der Recycler soll verbessert und die Verbindungen zwischen dem Recycling von Hausmüll und Ressourcen soll gestärkt werden.

Im Juni 2016 veröffentlichte die MOHURD das obligatorische Abfallklassifikationssystem „Compulsory Waste Classification System“ (Entwurf) und wies darauf hin, dass bis Ende 2020 die wichtigsten Städte eine effektive Trennung von Siedlungsabfall erreichen sollten. Diese Städte sollen eine Trennrate von mehr als 90 % erreichen und die Recycling- und Verwertungsrate sollte mehr als 35 % betragen (einschließlich des Recyclings des biologisch abbaubaren Abfalls, der vom Siedlungsabfall getrennt werden kann).

Die Nutzungsmethoden der Abfallprodukte werden von Jahr zu Jahr weiterentwickelt. So entwickelten zum Beispiel das MEP und das Ministerium für Industrie und Informationstechnologie gemeinsam die am 1. Januar 2015 erlassene Richtlinie „Guideline of Waste Electrical and Electronic Products Standardization Dismantling Operations and Production Management“ (Ausgabe 2015) (Nr. 80, 2014). Für importierte Abfälle, welche als neue Rohstoffe verwendet werden können, ist seit dem 1. Januar 2015 zusätzlich der „Imported Waste Management Catalogue“ (2015) (No. 80, 2014) zu beachten.

3. Rechtliche Rahmenbedingungen zum Umgang mit Abfallfraktionen aus der getrennten und gemischten Sammlung von biogenen Fraktionen in der VR China

Die wichtigsten Gesetze zur Siedlungsabfallwirtschaft in China sind das Umweltschutzgesetz der VR China, herausgegeben im Jahre 1989; das 1995 verabschiedete Gesetz der VR China zur Verhütung der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle, geändert 2004; das 2002 verabschiedete Gesetz zur Förderung der sauberen Produktion der VR China und das im Jahr 2008 verabschiedete Rundschreiben der Wirtschaftsförderungsgesetzgebung der VR China.

Die folgende Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die gesetzlichen Regelungen für kommunale Abfälle in China. Eine Liste von Gesetzen, Verordnungen und Standards findet sich im Anhang am Ende dieses Berichts.

Tabelle 3.1: Überblick über die gesetzlichen Regelungen der kommunalen Abfälle in China

Gesetze und Verordnungen	Kurzbeschreibung	Herausgeber	Zeit in Nutzung
Umweltschutzgesetz	Kennzeichnete den Neuanfang des Umweltschutzes	Ständiger Ausschuss des Nationalen Volkskongresses	Erlassen am 26. Dezember 1989, geändert am 24. April 2014
Stadtgestaltungs- und Siedlungswasserwirtschaftsverordnung	Grundsätze für das Erscheinungsbild einer Stadt (Außenwerbung und Gartenbau) und die Siedlungswasserwirtschaft (Abfall & öffentliche Toiletten); Lokale Regierung wird praktische Messungen durchführen.	Staatsrat	Erlassen am 1. August 1992; geändert am 8. Januar 2011
Vorschriften für Siedlungsabfälle	Vorschriften für die Sammlung, den Transport und die Verwertung von Siedlungsabfällen.	Ministerium für Bauwesen der Volksrepublik China	Erlassen am 10. August 1993; geändert am 10. April 2007 und am 4. Mai 2015
Gesetz über die Verhütung und Bekämpfung der Umweltverschmutzung durch Siedlungsabfälle	Chinas erstes umfassendes Gesetz über Siedlungsabfälle. Es setzte den Rahmen für die Festlegung von Standards für die Lagerung und Beseitigung von Siedlungsabfällen, die Emissionsreduzierung von Deponien für gefährliche Abfälle, die Emissionsrichtwerte für Viehbestände und die Müllverbrennung und den Transport von medizinischen Abfällen. Die Änderung 2004 verschärfte die Importkontrolle von ausländischem Müll.	Ständiger Ausschuss des Nationalen Volkskongresses	Erlassen 1995, geändert am 29. Dezember 2004; 29. Juni, 24. April 2015; und zuletzt am 7. November 2016

Gesetze und Verordnungen	Kurzbeschreibung	Herausgeber	Zeit in Nutzung
Technische Richtlinien zur Beseitigung von Hausmüll und zur Vermeidung der Umweltverschmutzung	Anleitung und Standards der Technologien, die in der Siedlungsabfallbehandlung angewendet werden.	Ministerium für Bauwesen der Volksrepublik China, Nationale Entwicklungs- und Reformkommission	29. Mai 2000
Bemerkungen zur Förderung der Industrialisierung der kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung	Förderung der privaten und ausländischen Investitionen in die kommunale Abwasser- und Abfallwirtschaft zur Verbesserung der Abfallentsorgung in städtischen Gebieten.	Staatsentwicklungs- und Planungsausschuss, Ministerium für Bauwesen, staatliche Umweltschutzverwaltung	10. September 2002
Gesetz zur Förderung der sauberen Produktion der VR China	Verringerung der Verschmutzung (einschließlich der Abfallerzeugung) während des gesamten Herstellungsprozesses durch Schaffung von Anreizen für die Industrie.	Ständiger Ausschuss des Nationalen Volkskongresses	Erlassen am 29. Juni 2002; geändert am 29. Februar 2012
Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung	Betonung der Bedeutung der Vermeidung von Umweltverschmutzung an der Quelle. Jeder Neubau muss eine UVP-Zulassung erhalten. Die Durchsetzung einer erhöhten Transparenz könnte dazu beitragen, die Abfallpraxis in neuen Industrien und Deponien zu verbessern.	Ständiger Ausschuss des Nationalen Volkskongresses	Erlassen am 28. Oktober, 2002; geändert am 2. Juli 2016
Rundschreiben über die sorgfältige Durchführung der Vermeidung von Umweltschäden im Prozess der Unternehmensverlagerung	Dieses SEPA-Rundschreiben empfiehlt, dass Unternehmen, welche eine Anlage schließen, die gefährliche Abfälle erzeugt oder verarbeitet, oder die Art der Landnutzungsaktivität am Standort einer solchen Anlage verändert, Boden- und Grundwasserkontaminierungsberichte für die kommunalen Umweltüberwachungsstationen erarbeiten, diese Berichte den örtlichen Umweltbehörden zur Überprüfung übergeben und Sanierungspläne auf der Grundlage der Ergebnisse der Berichte entwickeln.	Staatliche Umweltschutzverwaltung	1. Juni 2004

Gesetze und Verordnungen	Kurzbeschreibung	Herausgeber	Zeit in Nutzung
11. Fünf-Jahres-Plan: Plan für die gefahrlose städtische Siedlungsabfallbehandlung	Städtischer Plan für die sichere Behandlung von Siedlungsabfällen	Ministerium für Bauwesen	September 2007
Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft		Ministerium für Bauwesen	29. August 2008
12. Fünf-Jahres-Plan: Allgemeines Programm zur Energieeinsparung und Emissionsminderung	Anleitung zur Verringerung des Energieverbrauchs und der Emissionen der wichtigsten Schadstoffe. Förderung der Müllverbrennung für Stromerzeugung und Heizung. Förderung der Nutzung von Abfällen als Ressourcen.	Staatsrat	31. August 2011
12. Fünf-Jahres-Plan: Städtischer Plan für die sichere Behandlung der Siedlungsabfälle	Städtischer Plan für die sichere Behandlung der Siedlungsabfälle	Ministerium für Bauwesen	19. April 2012
Entwurf zur verpflichtenden Trennung der Siedlungsabfälle (Diskussionsentwurf)	Demonstrations-Städte sollen eine Abfalltrennung einführen, die Abfalltrennungspflicht schließt öffentliche Institutionen und ähnliche Betriebe ein.	Nationale Entwicklungs- und Reformkommission, Ministerium für Bauwesen	15. Juni 2016
13. Fünf-Jahres-Plan: Städtischer Plan für die sichere Behandlung der Siedlungsabfälle	Städtischer Plan für die sichere Behandlung der Siedlungsabfälle	Ministerium für Bauwesen	31. Dezember 2016
Gesetz der VR China über eine Umweltschutzsteuer	Unternehmen und Institutionen, die Schadstoffe direkt in die Umwelt emittieren sowie andere Produktions- und Unternehmensbetreiber, sollen eine Umweltschutzsteuer zahlen. „Steuerpflichtige Schadstoffe“, wie sie in diesem Gesetz ausgewiesen werden, beziehen sich auf Luft-, Wasserschadstoffe, feste Abfälle, Bau- und Industrielärm sowie andere Schadstoffe.	Ständiger Ausschuss des Nationalen Volkskongresses	25. Dezember 2016

Gesetze und Verordnungen	Kurzbeschreibung	Herausgeber	Zeit in Nutzung
<p>Programm zur Umsetzung eines erweiterten Systems der Herstellerverantwortung</p>	<p>Um die Entwicklung einer ökologischen Zivilisation und eines kohlenstoffarmen grünen Kreislaufs zu beschleunigen. Zur Förderung der Angebotsseite der Strukturreform sowie der Umwandlung und Modernisierung der Produktion wird das EPR-System gefördert, d.h. die Herstellerverantwortung zu erweitern auf alle Produkte, entlang der Produktionskette sowie die Umweltverantwortung auf Produkt-Design, Verbrauch, Recycling, Entsorgung und andere Lebenszyklen.</p>	<p>Staatsrat</p>	<p>3. Januar 2017</p>

Quellen: CMC, 2004, CMC, 2005, Deffree, S., 2007, World Bank, 2005, Tongji University.

4. Organisation, Zuständigkeit und Finanzierung der Abfallwirtschaft in der VR China

In vielen Ländern der Welt ist die Siedlungsabfallwirtschaft in kommunaler Verantwortung. Der nationale Gesetzgebungs- und Regulierungsrahmen für die Siedlungsabfallwirtschaft diktiert Rollen und Zuständigkeiten auf jeder Regierungsebene, einschließlich der Anforderungen an private Dienstleistungsvertreter und Abfallerzeuger. Typischerweise delegieren Zentralregierungsgesetze die Zuständigkeit für Siedlungsabfalldienstleistungen an die lokalen Regierungen und setzen grundlegende Standards, einschließlich Arbeits- und Umwelt-, Schutz- und Sicherheitsstandards. Der rechtliche Rahmen in China wird durch eine stärkere Trennung der Management- und Planungsfunktionen von den operativen Funktionen sowie durch die Trennung von Strategieentwicklung und Regulierung von Umsetzungsaktivitäten verbessert werden.

4.1 Organisation und Zuständigkeiten

In China sind sowohl zentrale Regierungsinstitutionen als auch regionale und lokale Behörden am Abfallmanagement beteiligt. Das Ministerium für Umweltschutz (Ministry of Environmental Protection – MEP) ist verantwortlich für die allgemeine Abfallvermeidung und Kontrolle aller Abfälle. Verschiedene Ministerien sind, abhängig von den Kategorien fester Abfälle, die in Abbildung 4.1 dargestellt sind, für deren Entsorgung verantwortlich. Die Hauptfunktionen und Rollen der einzelnen Abteilungen sind in Tabelle 4.1 beschrieben.

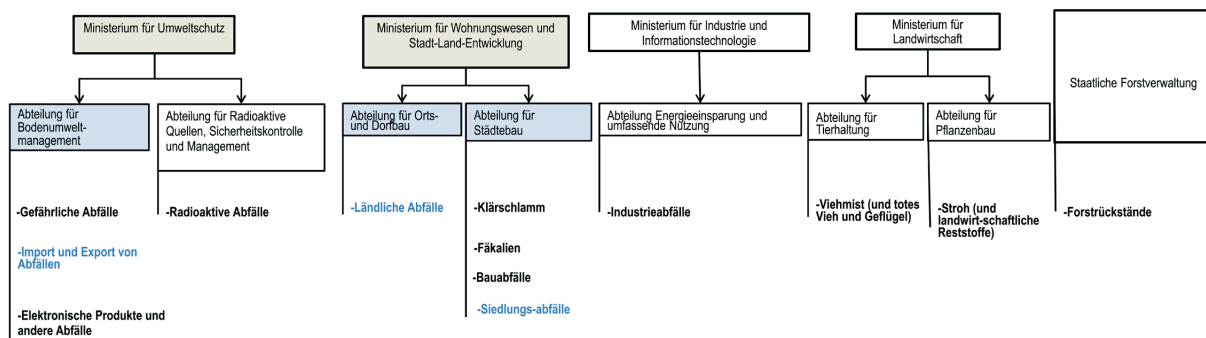


Abb. 4.1: Verschiedene für das Abfallmanagement verantwortliche Ministerien der VR China

Die Nationale Umweltschutzbehörde (NEPA) wurde ursprünglich Anfang der siebziger Jahre gegründet, im Jahr 1989 zur staatlichen Umweltschutzbehörde (SEPA) und im Jahr 2008 zum Ministerium für Umweltschutz der Volksrepublik China (MEP).

Tabelle 4.1: Rechtlicher Rahmen der Siedlungsabfallwirtschaft in China (leider lassen sich hier nicht alle Begriffe sprachlich einwandfrei ins Deutsche übertragen)

Kategorien fester Abfälle	Verantwortliches Ministerium	Abteilung	Hauptfunktion	Nr.
Gefährliche Abfälle (enthält: medizinische Abfälle, Flugasche der Müllverbrennung, etc.)	Ministerium für Umweltschutz (MEP)	Abteilung für Boden-umweltmanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Verantwortlich für die Überwachung und Verwaltung der Kontrollen des Bodens, fester Abfälle, Chemikalien, Schwermetalle und anderer Umweltkontrollen. - Formulierung und Umsetzung von Richtlinien, Plänen, Gesetzen, Verwaltungsvorschriften, Abteilungsregeln, Normen und Vorschriften für die Kontaminationsbekämpfung (Böden, feste Abfällen, Chemikalien, Schwermetalle usw.) - Entwicklung der Boden-Umweltfunktions-Planung - Messung und Bestimmung der ökologischen Funktion der Böden und Durchführung der Bewertung der ökologischen Belastbarkeit der Böden. - Organisation der Einführung einer Management-Genehmigung und Export-Erlaubnis für gefährliche Abfälle, einer Import-Genehmigung für feste Abfälle, einer Export-Registrierung von giftigen Chemikalien und der Registrierung neuer chemischer Substanzen. - Emissionserlaubnis, Bodenschutz, Emissionsrechtshandel. - Organisation der Durchführung der Registrierung und Verbleibskontrolle von gefährlichen Abfällen, medizinischen Abfällen, elektronischen und anderen industriellen Produkten und Abfällen. - Überwachung und Management der Böden; Prävention von Bodenkontaminationen durch landwirtschaftliche Tätigkeiten. - Verantwortlich für die Umsetzung internationaler Übereinkommen. 	4.1
Import und Export von gefährlichen Abfällen	MEP	Abteilung für Boden-umweltmanagement	Siehe Nr. 4.1, rechte Spalte	4.2
Elektronische Produkte und andere Produktabfälle	MEP	Abteilung für Boden-umweltmanagement	Siehe Nr. 4.1, rechte Spalte	4.3

Radioaktiver Abfall	MEP	Abteilung für radioaktive Sicherheitsüberwachung und -management	<ul style="list-style-type: none"> - Verwaltung der Genehmigung und Überwachung der Kernbrennstoffkreislaufanlagen und der Anlagen zur Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle, Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Kernbrennstofftechnologieprojekte, Uran (Thorium) Minen und zugehörige radioaktive Minen, elektromagnetische Strahlungsgeräte und Anlagen, nukleare Sicherheit beim Transport radioaktiver Materialien, Strahlenschutz und Strahlungsumweltschutz. - Verantwortlich für die Überwachung und Verwaltung der Kontrolle radioaktiver Belastung. - Verantwortlich für die Untersuchung und Handhabung von nuklearen Einrichtungen und Strahlenunfällen 	4.4
Siedlungsabfälle	Ministerium für Wohnwesen und Stadt-Land-Entwicklung (MOHURD)	Abteilung für Städtebau	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung der Entwicklungsstrategie, des mittel- und langfristigen Plans, der Erneuerung der Regeln und Vorschriften des städtischen Bauwesens und der kommunalen Stadtwerte. - Leitfaden für die städtische Wasserversorgung, Wassereinsparung, Gas, Wärme, kommunale Einrichtungen, Landschaftsbau, Umweltsanierungs-Management, städtische Bauüberwachung, etc. - Leitfaden für den Bau von städtischen Kläranlagen und einem Kanalnetz. - Leitfaden für die Landschaftsgestaltung des städtischen Raums; - Übernahme der Arbeit der nationalen Landschaftselemente-, der Weltnaturerbe- und der Kulturerbe-Projekte. 	4.5
Ländliche Abfälle	MOHURD	Abteilung für Stadt- und Dorfbau	<ul style="list-style-type: none"> - Aufstellung einer Strategie für Dorf- und Städtebau; - Leitfaden zur Vorbereitung und Durchführung der Stadt-, Gemeinde- und Dorfplanung; - Leitfaden für den ländlichen Wohnungsbau, Wohnraumsicherheit und der Sanierung ländlicher, baufälliger Häuser; - Vorschläge für die Wohnungspolitik ländlicher Siedlungen; - Leitfaden für die Verbesserung der ökologischen Umwelt kleiner Städte und Dörfer; - Organisation eines Pilot Dorf- und Stadtbaus, Erstellung und Leitfaden für den Bau der nationalen Schlüssel-Städte 	4.6
Klärschlamm	MOHURD	Abteilung für Städtebau	<p>Siehe Nr. 4.5, rechte Spalte</p>	4.7
Fäkalien	MOHURD	Abteilung für Städtebau	<p>Siehe Nr. 4.5, rechte Spalte</p>	4.8

Bauschutt	MOHURD	Abteilung für Städtebau	Siehe Nr. 4.5, rechte Spalte	4.9
Gewerbliche Abfälle	Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (MIIT)	Abteilung für Energieeinsparung und flächendeckende Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Umsetzung der Energieeinsparung und einer flächendeckenden Ressourcen-Nutzung in der Industrie und Kommunikationsbranche. - Zusammenstellung der sauberen Produktionsförderungs politik. - Beteiligung an der Planung und Strategieentwicklung zur Energieeinsparung und flächendeckender Ressourcen-Nutzung, saubere Produktionsförderung und Umweltschutz. - Organisation und Koordination der Anwendung neuer Produkte, neuer Technologien, neuer Geräte und neuer Materialien. 	4.10
Dung (zusätzlich: totes Vieh und Geflügel)	Ministerium für Landwirtschaft (MOA)	Abteilung für Viehzucht	<ul style="list-style-type: none"> - Leitfaden für die Struktur und Anlagen-Anpassung in der Viehzucht. - Organisation der standardisierten Produktion und Skalierung. - Formulierung der wichtigen Normen und technischen Vorschriften für Viehzucht, Futtermittelindustrie und Grünland; - Erstellung und Umsetzung der wichtigen Standards und technischen Normen; - Leitfaden für die Aufzeichnungen und Dokumentenverwaltung von Vieh- und Geflügelfarmen (Bezirke). - Beteiligung am Umweltschutz von Viehbeständen und Geflügelfarmen. 	4.11
Stroh (und landwirtschaftliche Produkte)	MOA	Abteilung für Pflanzenbau	Verantwortlich für das Management der Pflanzenindustrie (Getreide, Baumwolle, Öl, Zucker, Obst, Gemüse, Tee, Maulbeeren, Hanf, Blumen, Kräuter, Tabak, genießbare Pilze)	4.12
Forstabfälle	Staatliche Forstverwaltung		-	4.13

Es gibt Umweltschutzbüros auf allen Ebenen der chinesischen Verwaltung, siehe Abbildung 4.2. Niederlassungen dieser Büros sind in ganz China verteilt und in einem hierarchischen landesweiten Netzwerk verbunden. Das Ministerium für Umweltschutz (MEP) ist zuständig für die Entwicklung und Umsetzung der nationalen Strategien für den Umweltschutz, für die Ausarbeitung der Gesetze und der damit zusammenhängenden Verordnungen und für die Überwachung ihrer Durchsetzung auf regionaler Ebene. Das MEP ist ebenso für die Koordination der Umweltfragen zwischen den verschiedenen Behörden und Regionen, für die Verknüpfung von Umweltprojekten mit einem nationalen Masterplan und für die Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich [MEP, 2014].

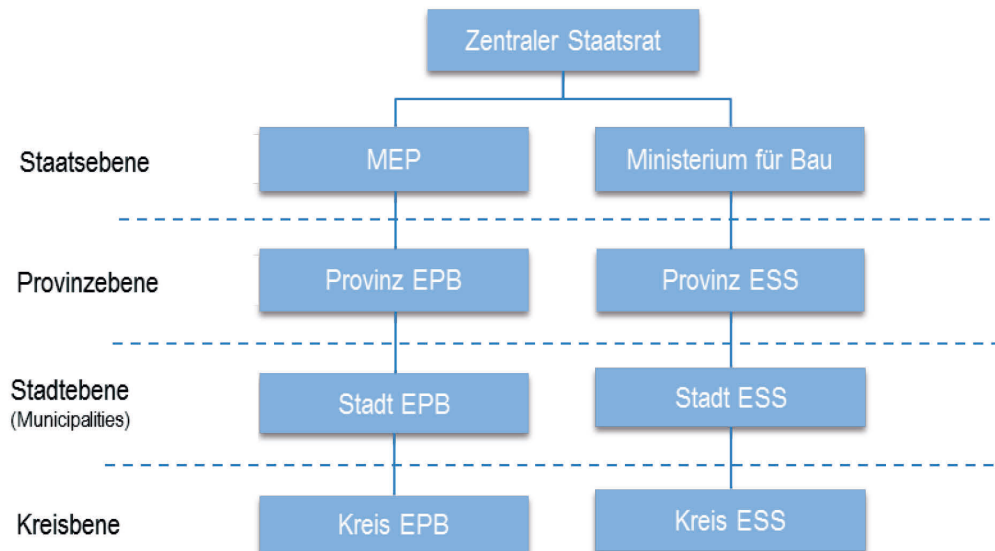


Abb. 4.2: Organisatorische Struktur des Chinesischen Abfallmanagements [Mewes, 2011]

Die zweite Behörde, die für die technischen Anforderungen der Abfallwirtschaft verantwortlich ist, ist das chinesische Ministerium für Bauwesen. Es ist zuständig für die Formulierung von Gesetzen und Vorschriften in Bezug auf technische Standards der Abfallentsorgung und Deponierung. Es legt weiterhin Grenzwerte für Emissionen der Abfall- und Abwasserbehandlung fest. Beide für die Abfallwirtschaft zuständigen Ministerien sind auf den verschiedenen Verwaltungsebenen durch das "Environmental Protection Bureau" (EPB) und der "Environmental Sanitation Section" (ESS) vertreten.

4.2 Finanzierung

Am 6. Juli 2015 veröffentlichte das Generalamt des Staatsrates die „Notice on Guidance on Promoting Public Private Partnership Model in the Field of Public Service“ (Generalamt des Staatsrates, Nr. 42, 2015), und am 24. September 2016 erließ das MOF (Ministry of Finance of the People's Republic of China) die Interimsverfahren für die Finanzverwaltung öffentlich-privater Partnerschaftsprojekte, um den öffentlichen Dienstleistungsversorgungsmechanismus für Umweltschutz und Energie und andere öffentliche Dienstleistungen zu reformieren und zu innovieren und um das Modell der öffentlich-privaten Partnerschaft (Public-Private-Partnership, PPP) zu fördern. In Umweltschutz, Stadttechnik, Energie, Transportwesen, Gewässerschutz und anderen spezifischen Bereichen sollte das Wahlrecht eingeführt sowie die Infrastruktur und das Management der öffentlichen Einrichtungen zur Umsetzung genutzt

werden. Um das Risiko der lokalen Staatsverschuldung zu entschärfen, sollten Transfer-Operations-Transfer (TOT), Rebuild-Operations-Transfer (ROT) und die anderen Modi aktiv genutzt werden, um das öffentliche Dienstprojekt der Regierung in ein soziales Kooperationsprojekt zu übertragen. Des Weiteren wird der Build-Operation-Own-Modus (BOO) entsprechend der lokalen Wirtschafts- und Sozialentwicklung gefördert, um die wissenschaftliche Entscheidungsfindung des neuen Projekts, Build-Operation-Transfer (BOT), zu verbessern.

5. Stand der Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung der biogenen Abfälle in der VR China

5.1 Siedlungsabfallmengen

Die Menge an Siedlungsabfall in der VR China ergibt sich im Allgemeinen durch die Sammelmengen. Entsprechend den administrativen Abteilungen ist die Statistik in die Ebenen Stadt (regierungsunmittelbare Städte, Städte und kreisfreie Städte), Landkreis sowie Dörfer und Gemeinden aufgeteilt.

Abbildung 5.1 zeigt die Siedlungsabfallsammelmengen im städtischen Raum seit 1980, basierend auf dem statistischen Jahrbuch von China. Es ist ersichtlich, dass in den letzten Jahren die Erzeugungsmenge denselben Trend wie das städtische Bevölkerungswachstum gezeigt hat, während die durchschnittliche personenbezogene Siedlungsabfallmasse relativ stabil ist. 2015 betrug die Sammelmenge 191,42 Millionen Tonnen für 656 Städte in China. Jeder Stadtbewohner entsorgte ca. 1,10 kg Siedlungsabfall täglich. Die Sammelmengen des Informellen Sektors sind in diesen Zahlen wahrscheinlich nicht berücksichtigt.

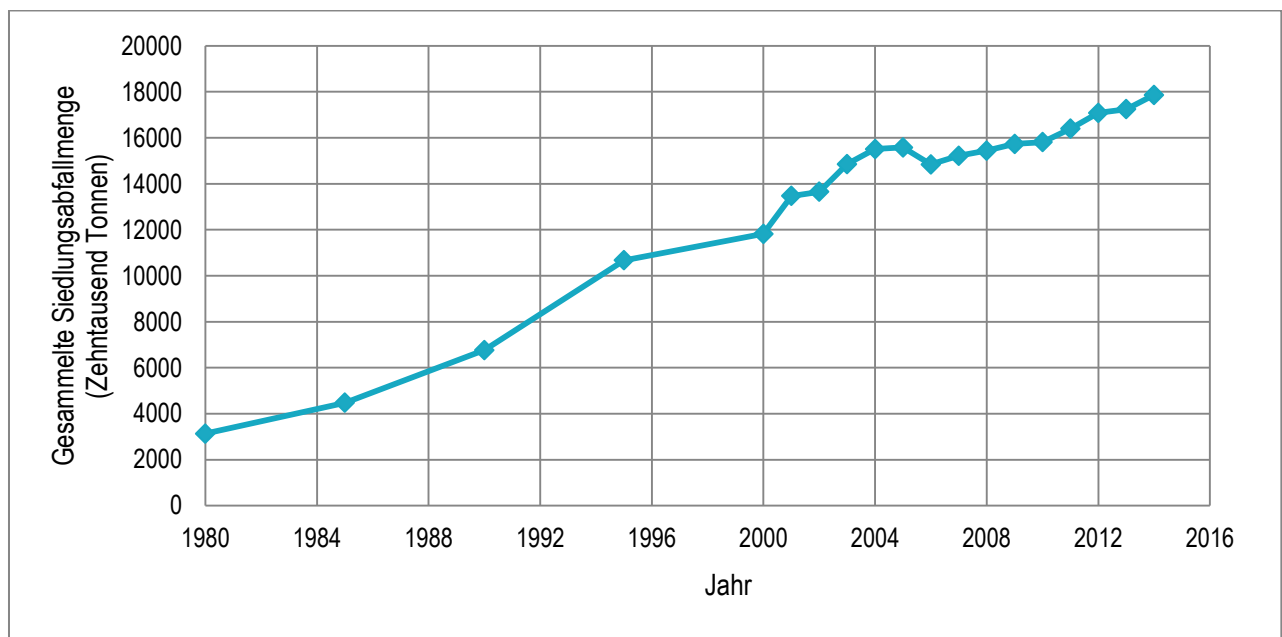


Abb. 5.1: Masse der Siedlungsabfälle in China – Städtischer Raum

Abbildung 5.2 zeigt die Menge der gesammelten Siedlungsabfälle der Landkreise in China seit 2000 [Statistisches Jahrbuch VR China]. Es ist ersichtlich, dass bis Ende 2014 die Sammlungsmenge 66,57 Millionen Tonnen für 1596 Landkreise in China betrug, wobei die Siedlungsabfallmasse 1,17 kg pro Einwohner und Tag umfasste.

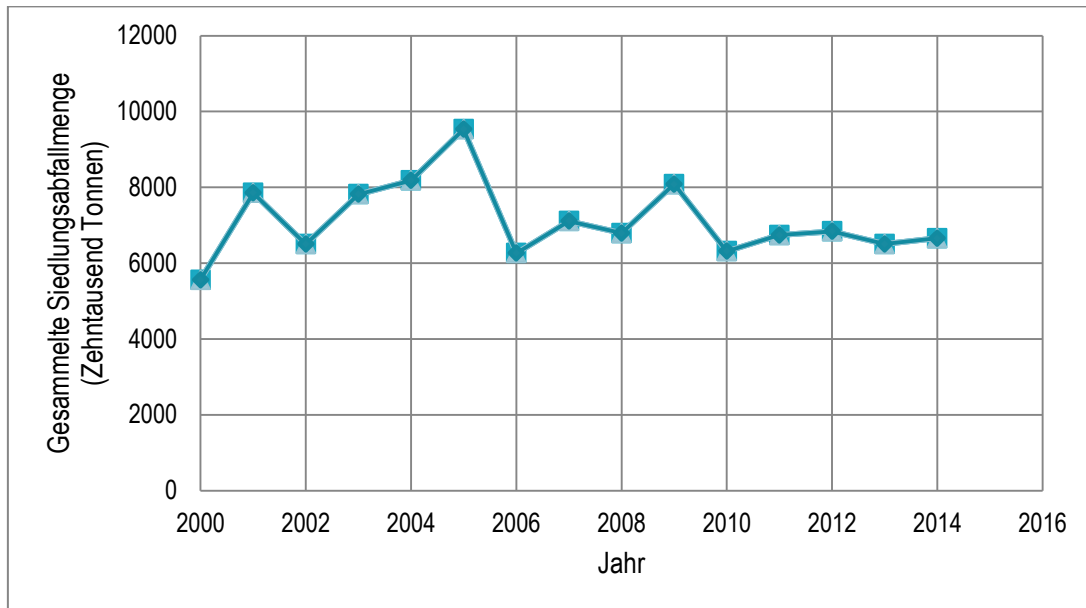


Abb. 5.2: Masse der Siedlungsabfälle in China – Landkreise

Ende 2015 gab es 20.515 Kleinstädte, 11.315 Gemeinden und 2,64 Millionen Dörfer in China. Nach dem Statistischen Jahrbuch der städtischen und ländlichen Entwicklung Chinas und den Ergebnissen der von MOHURD im Jahr 2011 durchgeführten Feldumfrage hat die Siedlungsabfallmenge aus Kleinstädten und Dörfern 2,1 Millionen Tonnen jährlich erreicht. Die Siedlungsabfallerzeugungsquote von Kleinstädten und Gemeinden, die eine Stadtregierung haben, beträgt 0,20-1,70 kg, für Kleinstädte 0,79 kg und 0,52 kg pro Kopf am Tag für Gemeinden ohne Stadtverwaltung. Die Erzeugungsrate in den Dörfern beträgt 0,07-2,1 kg mit einer durchschnittlichen Rate von 0,50 kg pro Kopf am Tag. Die Erzeugungsdichten (Abfallerzeugung pro km²/Jahr) in den Kreisgebieten und in den Dorfgebieten sind in Abbildung 5.3 und Abbildung 5.4 dargestellt.

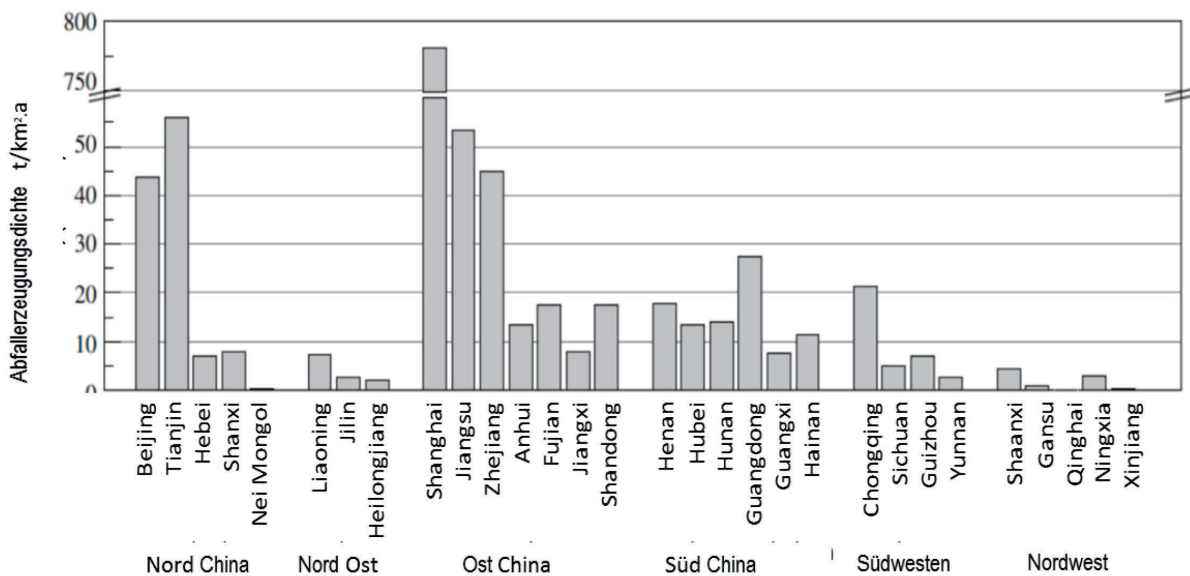


Abb. 5.3: Erzeugungsdichte der Siedlungsabfälle in chinesischen Gemeinden [He et al., 2014]

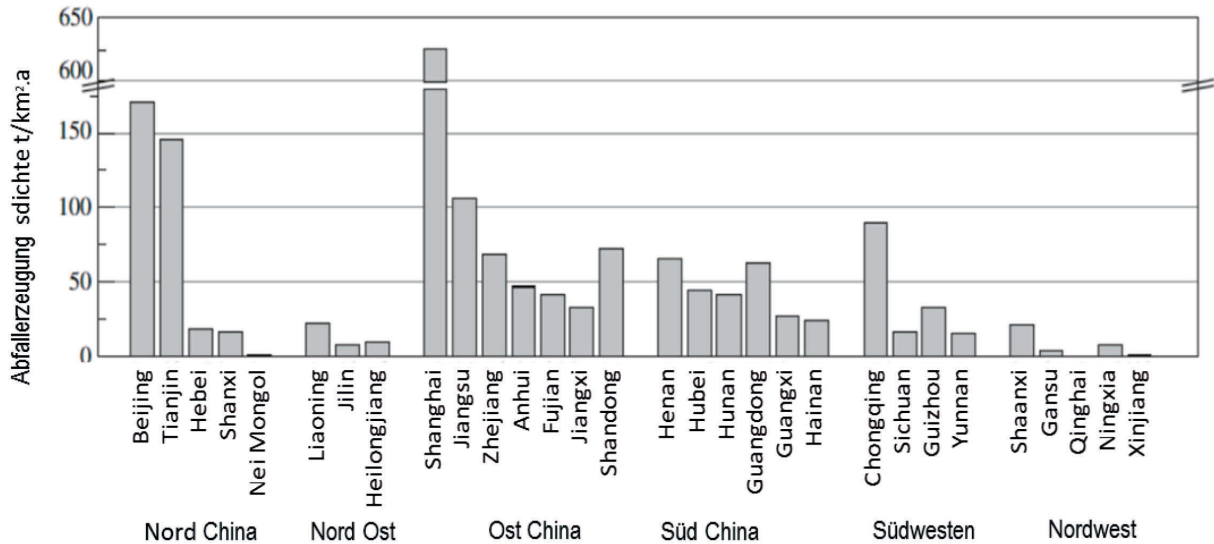


Abb. 5.4: Erzeugungsdichte der Siedlungsabfälle in chinesischen Dörfern [He et al., 2014]

5.2 Siedlungsabfallzusammensetzung

Nach der chinesischen Standardprobenahme- und Analyseverfahren für Hausmüll (CJ/T313-2009) [UCIS, 2009], wird die Zusammensetzung des Siedlungsabfalls in 11 Kategorien aufgeteilt: Küchenabfälle, Papier, Gummi, Textilien, Holz und Bambus, Staub, Keramik, Glas, Metall und andere Mischabfälle (mit einer Partikelgröße kleiner als 10 mm). Die Zusammensetzung und der Wassergehalt von Siedlungsabfall sind in Abbildung 5.5 auf der Grundlage der Statistiken von 17 repräsentativen Städten in China dargestellt [Yang Na, 2014 und Yang et al., 2015], wobei der mittlere Anteil an Küchenabfällen 58 % ± 9,8 % und der Wassergehalt 55,0 % ± 5,5 % beträgt.

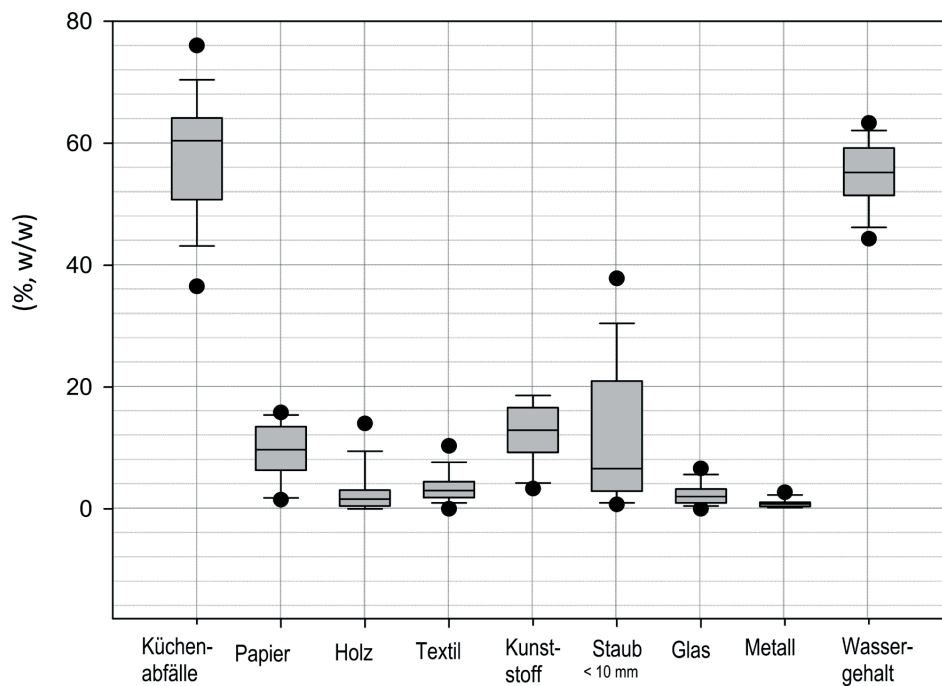


Abb. 5.5: Siedlungsabfallzusammensetzung in typischen chinesischen Städten [Yang Na, 2014, Yang et al., 2015]

Abbildung 5.6 zeigt die Zusammensetzung und den Wassergehalt von Siedlungsabfällen, basierend auf den Daten von 11 typischen Landkreisen, wobei der Anteil der Küchenabfälle $44,3 \% \pm 15,1 \%$ und der Wassergehalt $53,2 \% \pm 7,7 \%$ beträgt.

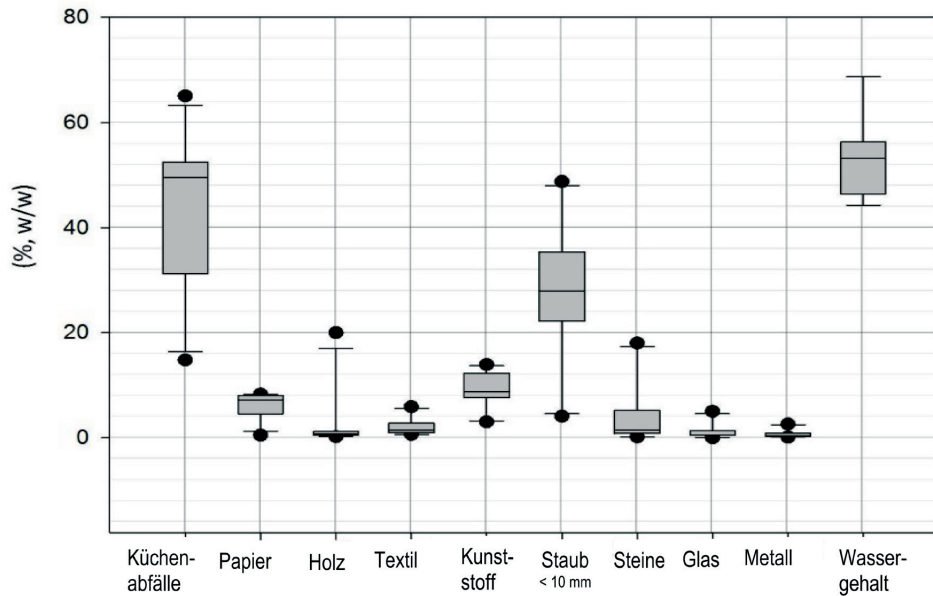


Abb. 5.6: Siedlungsabfallzusammensetzung in typischen chinesischen Landkreisen [Yang Na. 2014, Yang et al., 2015]

Abbildung 5.7 zeigt die Zusammensetzung und den Wassergehalt von Siedlungsabfall von 13 typischen Dörfern [He et al., 2010], wobei der Anteil der Küchenabfälle $42,1 \% \pm 12,8 \%$ beträgt. Im Allgemeinen können die Hauptkomponenten des Siedlungsabfalls aus Dörfern in drei Kategorien eingeteilt werden: (1) Lebensmittel- und Pflanzenreste; (2) Staub, einschließlich Asche, Ziegel, Steine, usw.; (3) andere Abfälle, hauptsächlich Kunststoff-, Glas-, Metall- und andere Verpackungsrückstände sowie Gewebe, Papier und andere Konsumgüter.

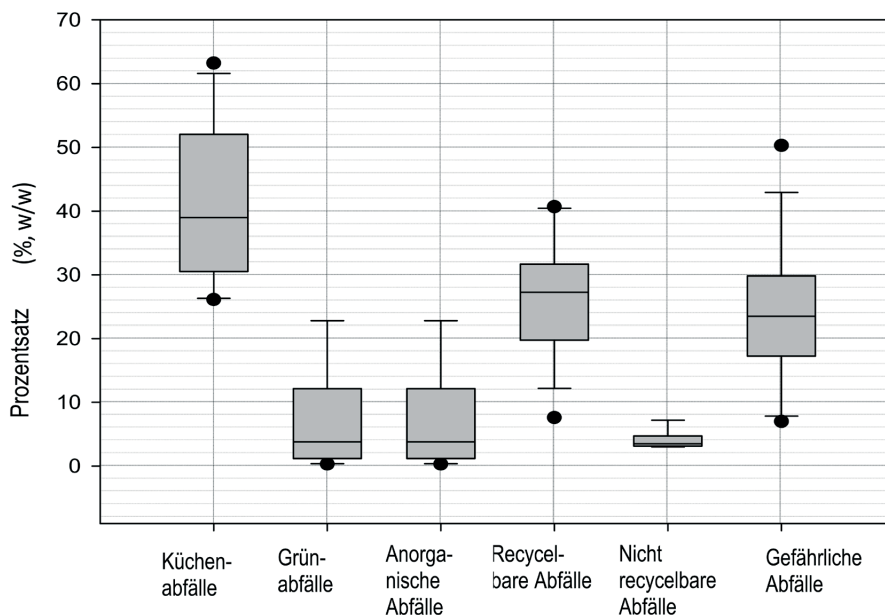


Abb. 5.7: Siedlungsabfallzusammensetzung in typischen chinesischen Dörfern [He et al., 2010]

5.3 Sammlung und Transport von gemischten Siedlungsabfällen

Die Zahl der Sammelfahrzeuge der Städte, Kreise, Kleinstädte und Gemeinden ist in Abbildung 5.8 dargestellt. In den letzten zehn Jahren betrug die Wachstumsraten der Müllfahrzeuganzahl 120 % (Gemeinden), 120 % (Kleinstädte), 152 % (Kreise) bzw. 196 % (Stadt) in den verschiedenen Gebietstypen.

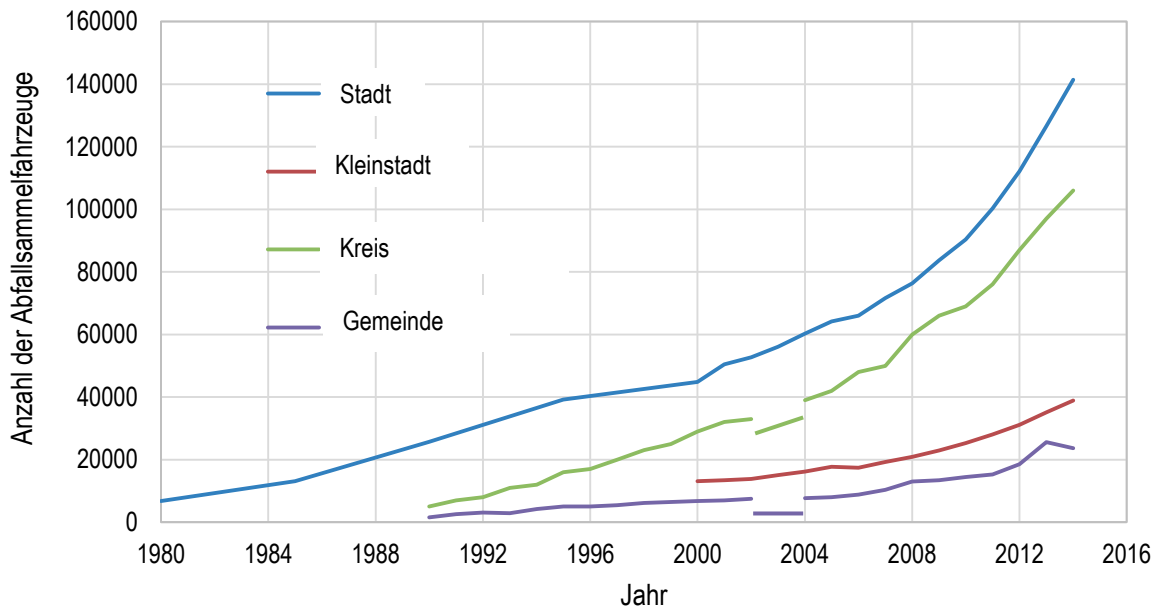


Abb. 5.8: Menge der Sammelfahrzeuge in China (1980-2014) [MOHURD, 2014]

In Städten und Kreisen werden die Siedlungsabfälle im vollen Umfang gesammelt und behandelt. Für die in den Kleinstädten und Dörfern erzeugten Abfälle gibt es verschiedene Abfallsammel- und Behandlungsmethoden, die in Tabelle 5.1 aufgelistet sind.

Tabelle 5.1: Logistischer Modus der Sammlung und des Transports von Siedlungsabfällen in Dörfern und Landkreisen [He et al., 2014]

Logistischer Modus	Wohnfläche		
	Dorf	Kleinstadt	Kreis- oder Großstadt
Zentralisierter Modus	Sammlung – Transport	Sammlung – Transport – Transfer – Transport	Sammlung – Transport - Behandlung
Aufgelöster Modus	Sammlung – Behandlung	Sammlung – Behandlung	Sammlung – Transport - Behandlung
Zentralisierter Modus in Kleinstädten und Kreisen	Sammlung – Behandlung	Sammlung – Transfer-Transport	Sammlung – Transport - Behandlung
Zentralisierter Modus (entsprechende Behandlung für Kleinstadt und Kreis)	Sammlung – Transport	Sammlung – Behandlung	Sammlung – Transport - Behandlung
Integrierte Behandlung in Städten und Kreisen	Sammlung – Behandlung	Sammlung – Behandlung – Transfer-Transport	Sammlung – Transport - Behandlung
Integrierte Behandlung in Dörfern und Städten	Sammlung – Behandlung – Transport	Sammlung – Behandlung – Transfer-Transport	Sammlung – Transport - Behandlung

5.4 Behandlung und Beseitigung gemischt gesammelter Siedlungsabfälle

Abfallverbrennungsanlagen und geordnete Deponien gelten in der VR China als die typischen Siedlungsabfall**behandlungsanlagen**. Im Jahr 2015 wurden in China 890 Siedlungsabfallbehandlungsanlagen in Städten und 1.187 in Kreisen auf dem Festland betrieben [MOHURD, 2016c].

5.4.1 Städte

Die Abfallbehandlungssituation in den letzten Jahren ist in Abbildung 5.9 dargestellt. Bis Ende 2015 betrug die „Behandlungsrate“ der gesammelten festen Abfälle 98 %, der **Anteil der Deponien, Verbrennungs- und sonstigen Behandlungen** (hauptsächlich biologische Behandlung) **betrug 64 %, 34,8 % bzw. 2 %**. Im Jahr 2005 wurden 52 % der Abfälle behandelt; 44,5 % Deponierung, 5 % thermische Behandlung und 2,2 % sonstigen Behandlungen [MOHURD, 2016a]. Im Jahr 2015 ist die Menge der auf Deponien behandelten Abfälle um 66 % gegenüber 2005 und die Verbrennung um 692 % gestiegen, während die biologische Behandlung um 3 % zurückgegangen ist. 2015 gab es noch 67 Städte in China, die keine ordnungsgemäßen Behandlungsanlagen aufgebaut haben [MOHURD, 2016c].

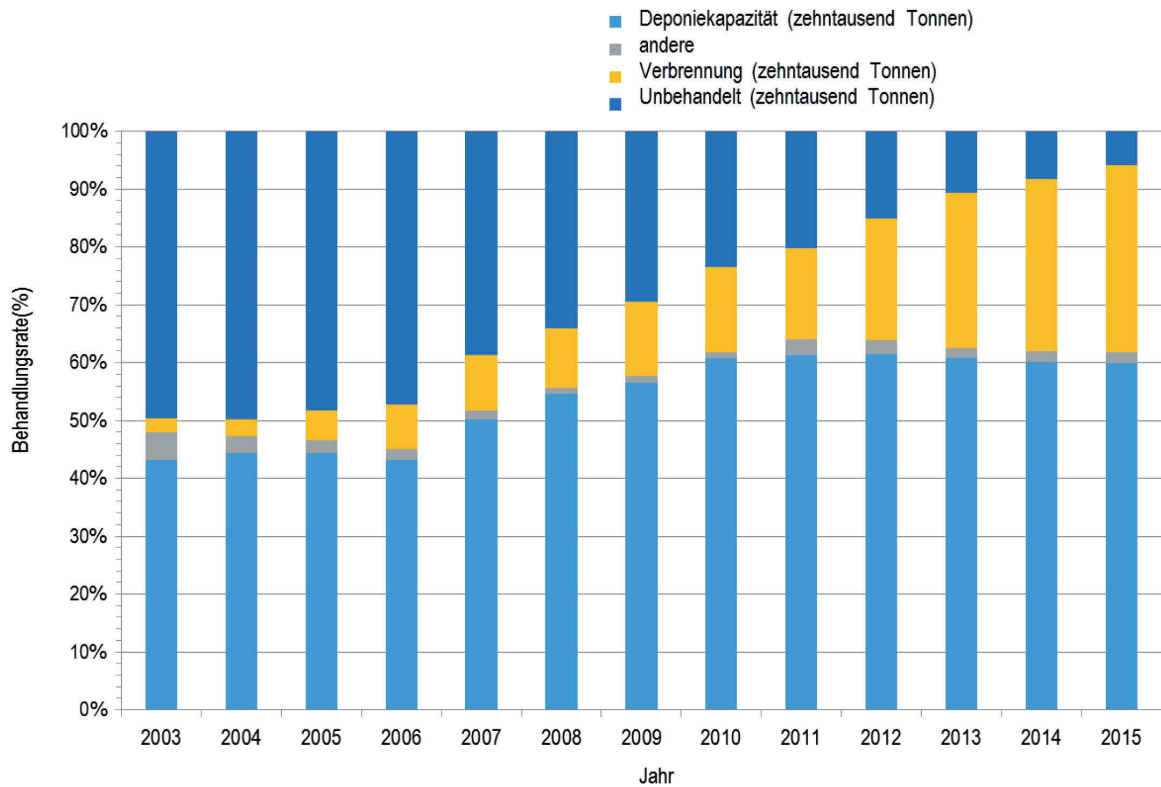


Abb. 5.9: Siedlungsabfallbehandlung in China (Anteile) [MOHURD, 2016a]

Abbildung 5.10 zeigt einen stetigen Anstieg der Deponiekapazitäten, deren durchschnittliche „Behandlungs“kapazität bei rund 500 t/d liegt. Die Zahl der Verbrennungsanlagen begann im Jahr 2007 rasch zu wachsen, die durchschnittliche Behandlungskapazität der einzelnen Anlagen hat im Jahr 2015 769 t/d erreicht. Die Zahl der biologischen Behandlungsanlagen liegt bei nur 30 und die durchschnittliche Behandlungskapazität der einzelnen Anlagen ist zuerst angestiegen und hat dann abgenommen und betrug nur 324 t/d im Jahr 2015.

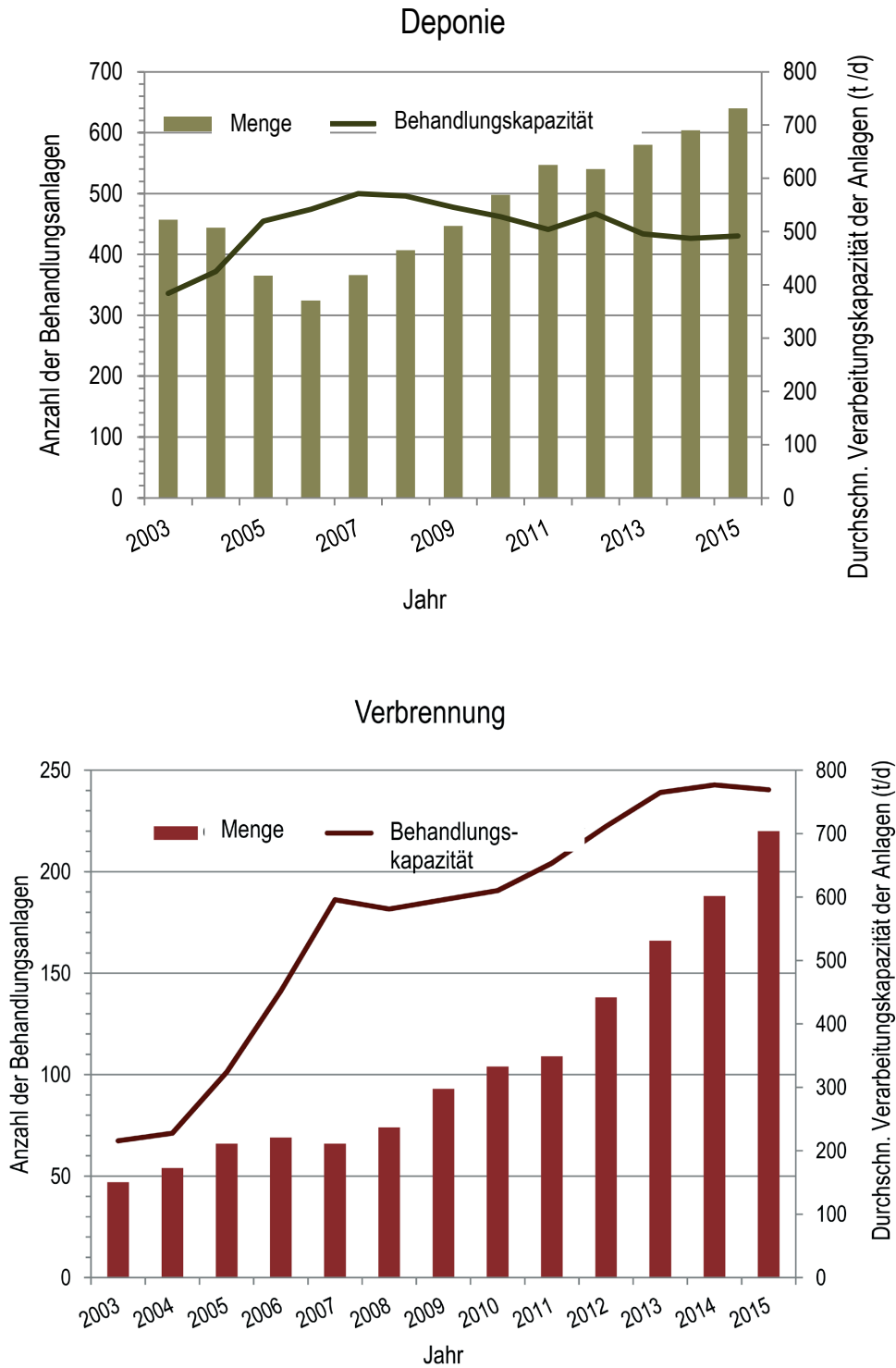


Abb. 5.10a: Anzahl und Kapazität der Anlagen zur Verbrennung und Deponierung in Städten der VR China [MOHURD, 2016a]

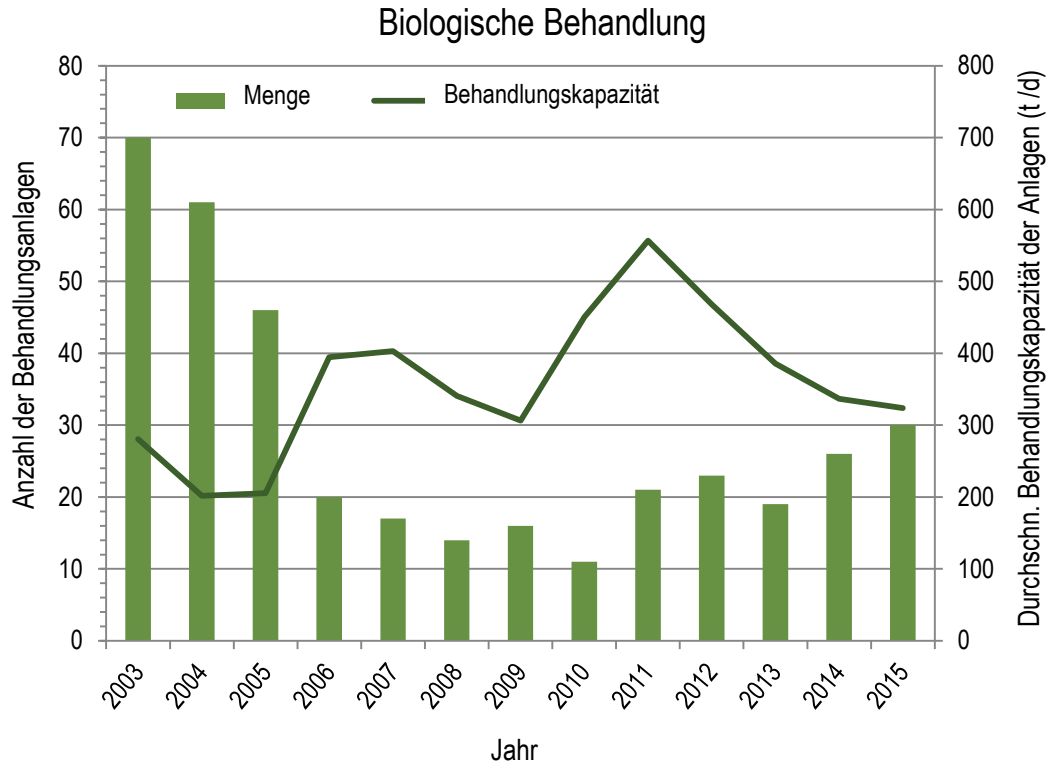


Abb. 5.10b: Anzahl und Kapazität der Anlagen zur biologischen Abfallbehandlung in Städten der VR China [MOHURD, 2016a]

5.4.2 Landkreise

Die Siedlungsabfallbehandlung in Landkreisen in China hat in den letzten Jahren eine rasche Entwicklung gezeigt. Wie in Abbildung 5.11 gezeigt, betrug die Behandlungsquote im Jahr 2005 nur 7,2 % und im Jahr 2014 schon 71,6 %, was einer sechsfachen Zunahme in zehn Jahren gleichkommt [MOHURD, 2015].

In 85,7 % der Kreise in China werden Siedlungsabfälle „behandelt“ (Abbildung 5.12). Die gefahrlosen Behandlungsraten der verschiedenen Technologien sind: Deponie 89,4 %, Verbrennung 7,2 % und andere Behandlung 3,4 %. Im weiter entwickelten östlichen Gebiet sind sowohl die gefahrlose Behandlungsrate als auch die Verbrennungsrate höher. Für die Bezirke der Provinz Zhejiang beträgt die gefahrlose Behandlungsrate 99,7 %, die Verbrennungsrate beträgt schon 38,5 %. Für die Bezirke der Provinz Fujian betragen die Werte 87,2 % bzw. 27 % und für die Bezirke der Provinz Jiangsu, 83,7 % bzw. 21,5 %.

In 425 Landkreisen gab es 2015 noch keine „gefährlosen Behandlungsanlagen“.

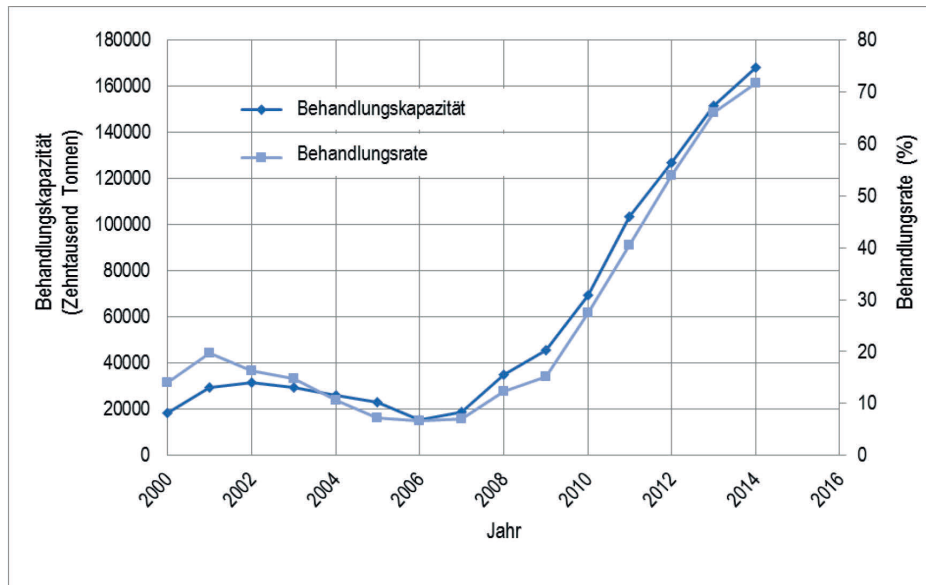


Abb. 5.11: Gefahrlose Behandlung von Siedlungsabfällen in Landkreisen in China [MOHURD, 2015]

5.4.3 Dörfer und Kleinstädte

Die gefahrlose Behandlung von Siedlungsabfall in ländlichen Gebieten wurde noch nicht in das statistische Jahrbuch aufgenommen. Entsprechend der Forschung von MOHURD beträgt die gefahrlose Behandlungsrate in Kleinstädten weniger als 30 %, und in Dörfern weniger als 10 % [He et al., 2014].

In Ostchina wird der Abfall zentral behandelt. In Dörfern, anderen Kleinstädten und Landkreisen wird der Abfall gesammelt. Oft wird nur abgelagert („Dumping“, einfache Deponie). Standardisierte (geordnete) Deponien, biologische Behandlung und Verbrennung sind sehr selten [He et al., 2014].

Verwertung von biogenen Fraktionen aus Siedlungsabfällen in der VR China

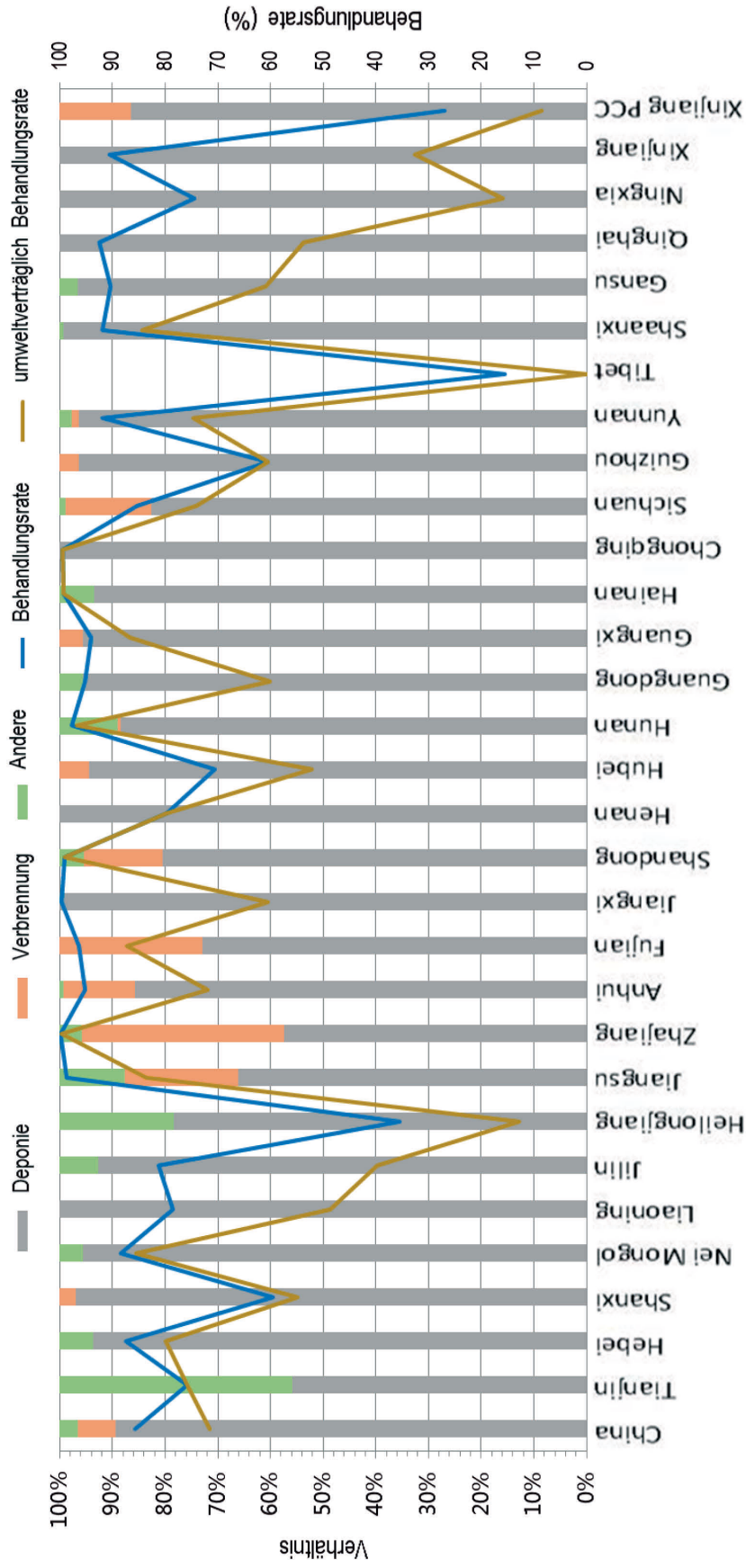


Abb. 5.12: Situation der Siedlungsabfallbehandlung in verschiedenen Landkreisen der chinesischen Provinzen (2014) [MOHURD, 2015]

5.5 Kosten, Einnahmen und geplante Investitionen

Gemäß des 13. Fünf-Jahres-Plans zum Bau von gefahrlosen Siedlungsabfallbehandlungsanlagen ist eine weitere Erhöhung der Behandlungskapazität auf 510 Tausend t/d geplant (einschließlich der derzeit gebauten Kapazität von 130 Tsd. t/d), davon 360 Tausend t/d im Stadtgebiet. Der Anteil der Siedlungsabfallverbrennungskapazität, bezogen auf die gesamte gefahrlose Behandlungskapazität, soll 50 % erreichen, im Osten sogar 60 %. Ein weiterer Anstieg der Sammel- und Transportkapazität von 440 Tausend t/d ist geplant. Ferner wird bis zum Ende der 13. Fünfjahresperiode die gemeinsame Behandlung von Restaurantabfällen und anderen organischen, biologisch abbaubaren Abfällen sowie die Errichtung einer Gesamtkapazität dafür von 34,4 Tausend t/d gefordert und angestrebt. Für die Behandlung abgelagerter Abfälle sollen 803 Deponiestilllegungsprojekte implementiert werden.

Die Gesamtinvestition für den Bau von gefahrlosen Siedlungsabfallbehandlungsanlagen beläuft sich auf etwa 251,84 Milliarden RMB im 13. Fünf-Jahres-Zeitraum. Davon entfallen etwa 169,93 Milliarden auf den Bau der Anlagen, 25,78 Mrd. auf die Sammlung und den Transport, 18,35 Milliarden auf die Projekte zur Restaurantabfallbehandlung, 24,14 Mrd. auf die Behandlung von abgelagerten Abfällen, 9,41 Milliarden auf Pilotprojekte zur Abfalltrennung sowie 4,23 Milliarden auf den Bau eines Überwachungssystems. Tabelle 5.2 veranschaulicht die Investitionen in den Bau von gefahrlosen Behandlungsanlagen in verschiedenen Provinzen im 13. Fünfjahreszeitraum.

Im Hinblick auf die Finanzierung basieren die Investitionen für den Bau von Behandlungsanlagen hauptsächlich auf Beiträgen der lokalen Regierung. Die lokalen Regierungen aller Ebenen sollen die Investitionen erhöhen und einen stabilen Fonds einführen, um die Fertigstellung der geplanten Bauprojekte zu gewährleisten. Zeitgleich sollen sie aktiv alle Arten von Sozialfonds zur Teilnahme an den Bauprojekten leiten und dazu ermutigen. Der Staat wird auch weiterhin den Anlagenbau gemäß Plan und Hauptaufgaben unterstützen und die Unterstützung für die Ressourcen-Nutzungs-Technologien wie Verbrennung erhöhen. Für Einrichtungen, die nicht vollständig marktorientiert betrieben werden können, sollten politische Unterstützung, Investitionsleitfäden und angemessene Subventionen bereitgestellt werden, um die Errichtung und den Betrieb der Anlagen zu gewährleisten.

Ferner wird das Tarifsysteem für die Siedlungsabfallbehandlung verbessert. Angemessene Gebührensysteme sollten entsprechend der wirtschaftlichen Entwicklung der verschiedenen Gebiete aufgebaut werden. In den Gebieten mit zufriedenstellenden Bedingungen sollten die Abfallsammlung, der Transport, die Behandlung und die Entsorgungskosten durch die Gebühren gedeckt werden. Es soll aktiv an Methoden zur quantitativen Gebührenberechnung und differenzierten Preisfindung geforscht werden. Regelungen für Steuervorteile für Unternehmen, welche sich an der Abfallbehandlung beteiligen, werden eingeführt. Es sollen die Garantiemittel für den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen gestärkt werden. Die Abfallbehandlungsgebühren sollten für den Bau und Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen verwendet werden. Wenn die Abfallbehandlungsgebühren den normalen Betrieb der Anlagen nicht decken können, sollte die lokale

Regierung aktiv Maßnahmen ergreifen, um dies zu kompensieren und den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlagen sicherstellen.

Tabelle 5.2: Investitionen in den Bau von gefahrlosen Siedlungsabfallbehandlungsanlagen in der 13. Fünfjahresperiode (100 Millionen Yuan)

Nr.	Region	Neugebaute Behandlungsanlagen	Transporteinrichtungen	Restaurant Abfall Behandlungs-Anlagen	Abgelagerter Abfall Behandlung	Abfall Trennung	Überwachungs-System	Gesamtinvestition
	National	1699,3	257,8	183,5	241,4	94,1	42,3	2518,4
1	Beijing	76,5	7	9	102,5	5	2	202
2	Tianjing	51,5	4,8	4	1	5	1	67,3
3	Hebei	36	9,2	6,6	4	2	1	58,8
4	Shanxi	35,8	3,7	3,6	-	2	1	46,1
5	Inner Mongolia	24,6	5,1	3	3,5	2	1	39,2
6	Liaoning	72,9	25,1	3,9	3,7	2	1	108,6
7	Dalian	19,9	7,2	0,8	12,5	5	1	46,4
8	Jining	27,2	2,7	3	5,1	2	1	41
9	Heilongjiang	55	5,5	4,5	2,4	2	1	70,4
10	Shanghai	37,5	4,3	5,2	0,4	5	1	53,4
11	Jiangsu	52,8	11,7	13,2	3,5	2	1	84,2
12	Zhejiang	86,6	8,8	18,5	2,9	2	1	119,8
13	Ningbo	22,5	9,8	8,8	1	3,8	1	46,9
14	Anhui	108	16,4	5,9	17,3	2,5	1,7	151,8
15	Fujian	18,9	5,2	4,8	-	2	1	31,9
16	Xiamen	21,8	2,8	1,2	-	2	1	28,8
17	Jiangxi	45,7	8,1	3,6	2,7	2	1	63,1
18	Shandong	51	10	4,5	9	2	1	77,5
19	Qingdao	14,4	1	0,6	0	2	1	19
20	Henan	63,1	8,6	9,6	8,2	2	1	92,5
21	Hubei	64,3	11,5	5,3	3,5	2	1	87,6
22	Hunan	70,5	12,4	6,5	7	3	3,6	103
23	Guangdong	134	-	13,7	14,2	2	1	164,9
24	Shenzhen	90,3	6,4	3,3	2,1	2	1	105,1
25	Guangxi	27,2	6	3	3,5	2	1	42,7
26	Hainan	18,3	1	1,2	-	2	1	23,5
27	Chongqing	49,3	6,7	8,4	2,7	5	1	73,1
28	Sichuan	75,2	13,5	5,6	4,6	2	1	101,9
29	Guizhou	33	5,8	2,8	2	2	1	46,6
30	Yunnan	25,9	4,7	3,2	5,1	2	1	41,9
31	Xizang	9,4	5,2	0,6	0,5	2	1	18,7
32	Shaanxi	25,5	4,3	2,4	1,2	2	1	36,4
33	Gansu	38,7	3,5	3	7,5	2	1	55,7
34	Qinghai	54,3	3,8	0,3	2	2	1	63,4
35	Ningxia	9,1	0,9	2,1	3,4	2	1	18,5
36	Xinjiang	40,9	12,8	7,4	2,4	3,8	1	68,3

Nr.	Region	Neugebaute Behandlungsanlagen	Transporteinrichtungen	Restaurant Abfall Behandlungs-Anlagen	Abgelagerter Abfall Behandlung	Abfall Trennung	Überwachungssystem	Gesamtinvestition
37	Heilongjiang land reclamation	6,9	1,4	0,4	-	1	1	10,7
38	Xinjiang Production and Construction Corps	4,8	0,9	-	-	1	1	7,7

Die örtliche Regierung sollte integrierte und übergreifende Vorkehrungen für die Kapazitätsplanung, die Auslegung und die Landinanspruchnahme von Abfallbehandlungsanlagen treffen. Die Planung der Abfallbehandlungsanlagen sollte in die Flächennutzungsplanung, Stadtplanung und Bauplanung aufgenommen werden.

Die Entwicklung der Industrialisierung von Abfallbehandlungsanlagen sowie soziale Betriebsmechanismen sollen beschleunigt werden. Ein breit gefächelter Investitionsmechanismus soll eingeführt werden. Das Investitionssystem der Behandlungsanlagen sollte mit öffentlichen Mitteln als führende Mittel verbessert werden. Ein breit gefächelter Investitionsmechanismus, der die Anordnungen der Regierung, die Beteiligung der Gesellschaft sowie den Markt umfasst, sollte allmählich gebildet werden. Regionale und sektorübergreifende Zusammenarbeit soll gefördert werden. Spezialisierte und große Unternehmen in der Abfallbehandlung sollen aufgebaut werden. Der Marktzugang wird verbessert mit Franchise als Kerngeschäft. Die Anwendung des Public Private Partnership-Modells (PPP) im Bereich der Abfallbehandlung soll beschleunigt werden.

5.6 Siedlungsabfallbehandlungspläne

Gemäß des nationalen Plans (13. Fünf-Jahres-Plan, Dezember 2016) zum Bau von gefahrlosen Siedlungsabfallbehandlungsanlagen ist es notwendig, Siedlungsabfallbehandlungsanlagen optimal zu verteilen. Städte und Gemeinden ohne Behandlungsanlagen bauen gefahrlose Behandlungsanlagen noch vor 2018. Die Siedlungsabfälle aus Kleinstädten werden in zentralen Behandlungsanlagen in der benachbarten Gemeinde oder Stadt behandelt. Grundsätzlich werden separate Behandlungseinrichtungen in den Kleinstädten nicht vorgeschlagen (Kleinstädte, die weit von anderen Städten und Kreisen entfernt sind, können als Sonderfälle betrachtet werden). Die Umwandlung und Modernisierung bestehender Anlagen soll beschleunigt werden und die Lücken der Behandlungsstrategien sollen schrittweise reduziert werden.

In der 13. Fünfjahresperiode ist eine neu gebaute, gefahrlose Siedlungsabfallbehandlungskapazität von 0,51 Mio. t/d geplant (einschließlich der erweiterten Baukapazität von 0,13 Mio. t/d). Der Anteil der Verbrennungsbehandlungskapazität beträgt zukünftig 50 %, im Osten 60 %.

Die Umweltschutz- und Überwachungseinrichtungen müssen in strikter Übereinstimmung mit den einschlägigen Bau-, Technik- und Umweltnormen stehen. Für Anlagen, die nicht den Normen entsprechen, sollte die technische Modernisierung so bald wie möglich durchgeführt oder die Anlage stillgelegt werden. Für die gewählte Technologie bestehen weiterhin die Grundsätze des Ressourcenschutzes, der Sicherheit, des Umweltschutzes, der Energieeinsparung, der

sparsamen Landnutzung und der Wirtschaftlichkeit. Verbrennungsanlagen mit einer Behandlungskapazität von weniger als 300 t/d und Deponien mit einer Behandlungskapazität von weniger als 0,50 Mio. m³ werden nicht gefördert. Die Pilotanlage der Zement-Koproduktion (Nutzung von Abfall als Energiequelle) kann nur als Pilotprojekt durchgeführt werden.

In wirtschaftlich entwickelten Gebieten und Städten mit Landknappheit und großer Population ist die Verbrennung die vorrangige Technologie. Die Deponierung von unbehandelten Abfällen soll reduziert werden. Anlagen für die Flugaschebehandlung und -entsorgung der Verbrennungsrückstände sind bei der Errichtung von Verbrennungsanlagen zu berücksichtigen.

Als endgültige Verwertungsmethode für Siedlungsabfälle werden geordnete Deponien in allen Gebieten garantiert. Grundsätzlich sollte die Nutzungsdauer von Stadt- und Landmülldeponien für Verbrennungsrückstände und die Siedlungsabfallbehandlung mehr als 10 Jahre betragen.

Sickerwasserbehandlungsanlagen sollten zusammen mit Siedlungsabfallbehandlungsanlagen gebaut werden und wenn möglich, kann die gemeinsame Errichtung mit einer örtlichen Kläranlage berücksichtigt werden.

Die Abbildungen 5.13 und 5.14 zeigen die Behandlungskapazitäten im Jahr 2015 und die geplante Situation im Jahr 2020. Die nationale Behandlungskapazität betrug im Jahr 2015 758,3 Tausend t/d und wird bis 2020 auf 1104,9 Tausend t/d ansteigen. Der Anteil der Deponien, Verbrennungsanlagen und sonstigen Behandlungstechnologien betrug im Jahr 2015 66 %, 31 % bzw. 3 %; geplant sind 43 %, 54 % bzw. 3 % im Jahr 2020.

Verwertung von biogenen Fraktionen aus Siedlungsabfällen in der VR China

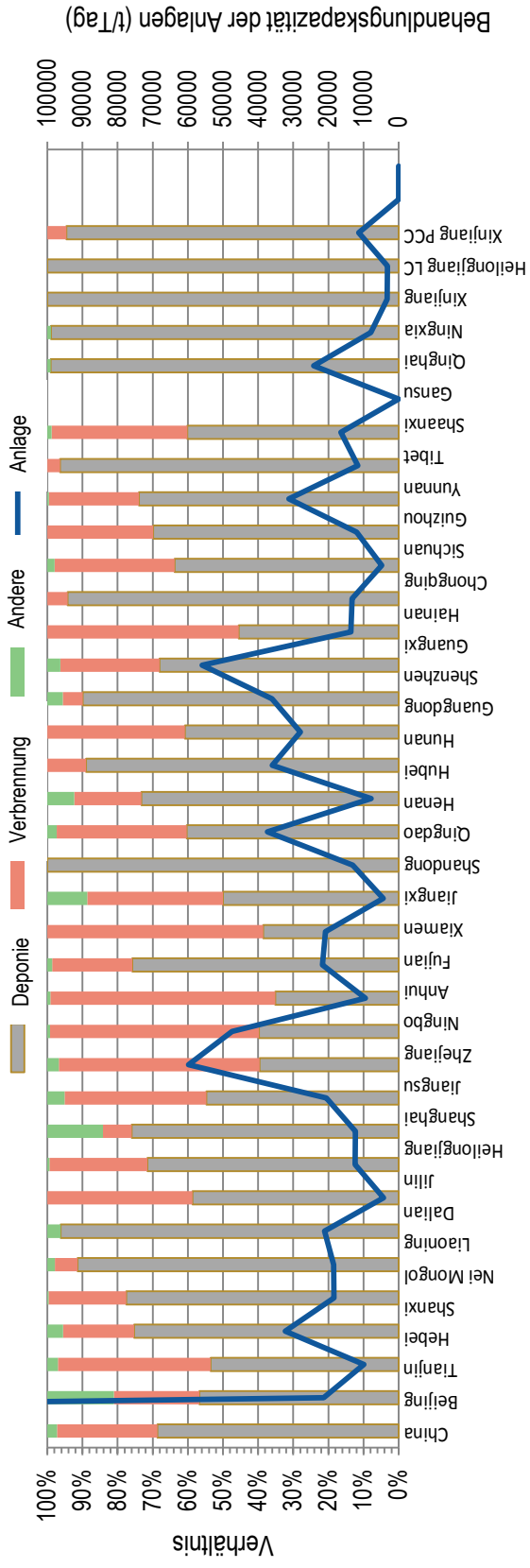


Abb. 5.13: Siedlungsabfallbehandlungsanlagen in China (2015) [MOHURD, 2016b]

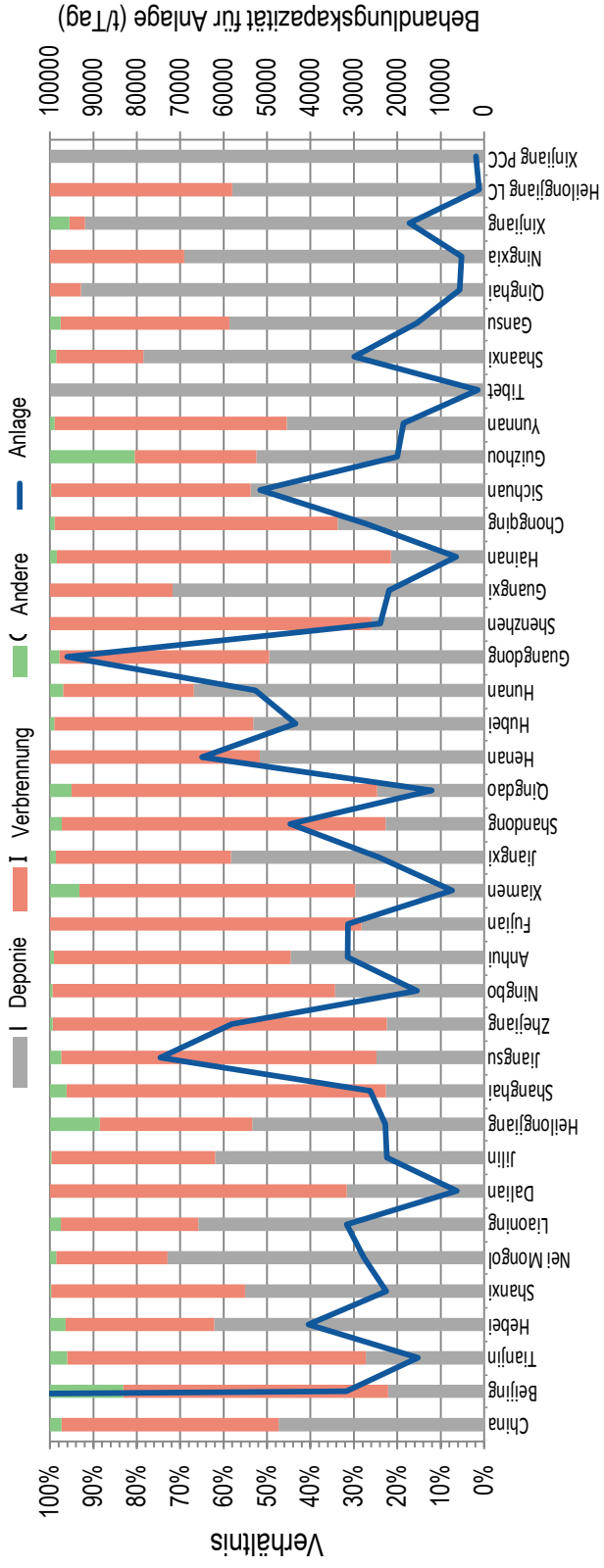


Abb. 5.14: Geplante Siedlungsabfallbehandlungsanlagen in China (2020, geplant) [MOHURD, 2016b]

5.7 Restaurantabfälle (RW)

Gemäß des nationalen Plans zum Bau von gefahrlosen Siedlungsabfallbehandlungsanlagen des 13. Fünf-Jahres-Plans sollten Gemeinden, Städte, welche speziell im Staatsplan benannt werden, und Provinzhauptstädte eine effektive Trennung von Restaurantabfällen (RW) sowie eine gefahrlose Behandlungsquote von 30 %, sowie eine Recyclingrate von 35 % erreicht haben.

Gefahrlose Behandlung und Nutzung von Restaurantabfällen sollen gefördert werden. Die RW-Behandlungsanlagen sollten, bezogen auf die Erzeugungsmenge und die Verteilung der RW in verschiedenen Regionen, geplant und errichtet werden. Restaurantabfälle sollen genutzt werden, um Öl, Biogas, organischen Dünger, Futtermittelzusatzstoffe etc. zu produzieren. Die gemeinsame Behandlung von RW und anderen organischen biologisch abbaubaren Abfällen wird gefördert. Eine Behandlungskapazität von 34.400 t/d ist bis Ende der 13. Fünfjahresperiode geplant. Während der 13. Fünfjahresperiode beträgt der Sonderfonds für RW-Behandlungsprojekte 18,35 Mrd. RMB und für die getrennte Sammlung 9,41 Mrd. RMB.

Eine ausgereifte und zuverlässige Technologie und Ausrüstung soll entsprechend der lokalen RW-Erzeugungsmenge, Zusammensetzung und physikalisch-chemischen Eigenschaften gewählt werden. Die Technologieauswahl erfolgt in Übereinstimmung mit der Norm „Technischer Code für die Behandlung von Nahrungsmittelabfällen“. Ein Registrierungs- und Kontrollsystem für RW soll eingeführt und die Sammel-, Verwertungs- und Behandlungsquote verbessert werden. RW soll zeitnah und in Übereinstimmung mit den verbundenen Gesetzen gesammelt werden, um eine Umweltverschmutzung während der Sammlung und des Transports zu vermeiden. Die Produktüberwachung, insbesondere die Produktqualitätskontrolle und die Produktion selbst, sollen verbessert werden. Die produzierten Düngemittel und Tierfutter müssen die gesetzlichen Anforderungen strikt einhalten.

Während der 12. Fünfjahresperiode wurde die RW-Behandlungskapazität auf 13.000 t/d erhöht. In der 13. Fünfjahresperiode beträgt die geplante neu zu errichtende Behandlungskapazität für Restaurantabfälle 34,400 t/d. Die Verteilung in verschiedenen Provinzen ist in Abbildung 5.15 dargestellt.

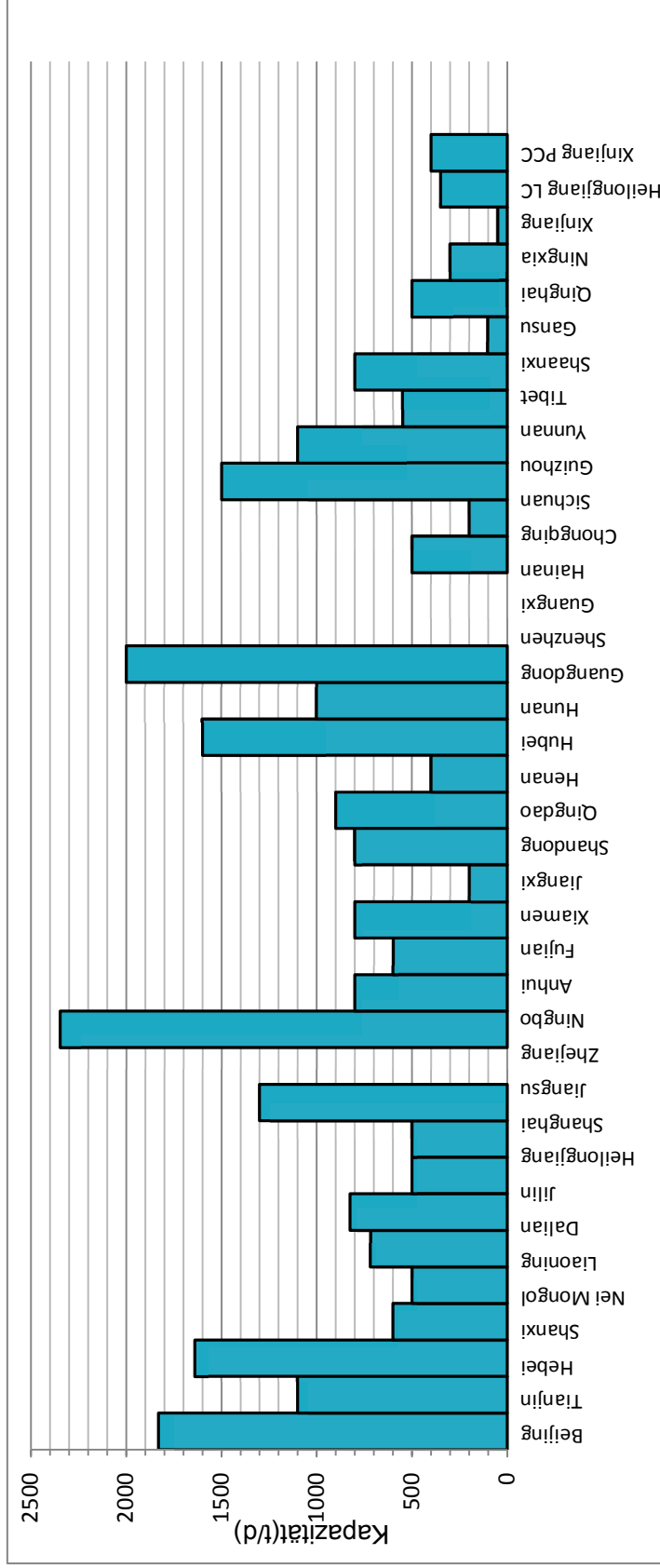
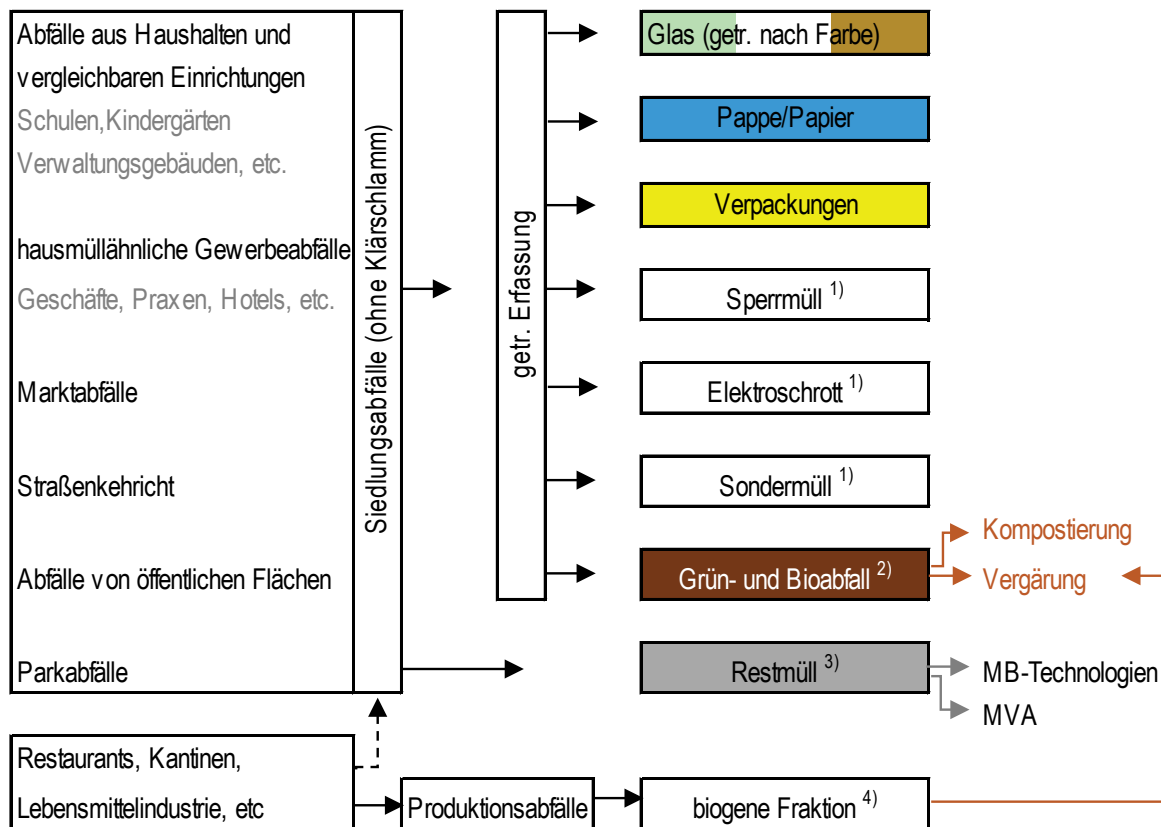


Abb. 5.15: Geplante Behandlungskapazität für Restaurantabfälle in der 13. Fünfjahresperiode

6. Stand der Technik zur Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung der biogenen Abfälle

In Deutschland werden bislang die Abfallfraktionen Glas, Papier, Leichtverpackung, Sperrmüll, E-Abfälle, gefährliche Abfälle sowie Grün- und Bioabfälle getrennt gesammelt, siehe Abb. 6.1. Trotz aller Bemühungen bei der getrennten Sammlung, ist eine bedeutende Menge biogener Abfälle noch im Restmüll enthalten. Daher gibt es zwei Hauptfraktionen von biogenen Abfällen in festen Siedlungsabfällen: eine getrennt gesammelte, saubere Fraktion, geeignet für die Verwertung, und eine gemischte Fraktion im Restmüll.



¹⁾ Abholung auf Anfrage und/oder Bringsystem

²⁾ je nach Gemeinde Bio- und Grünabfall getrennt oder zusammen erfasst

³⁾ Mix aus unsortierten Wertstoffen, biogener Fraktion, benutzten Hygieneartikeln, Staubsaugerbeuteln, etc.

⁴⁾ Essensreste, Abfälle aus der Essenszubereitung, abgelaufene Lebensmittel, Altfette und -öle

Abb. 6.1: Zusammenfassung der Abfallherkunft und getrennt gesammelte Fraktionen in Deutschland

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Technologien nach dem Stand der Technik für die Sammlung, Behandlung, Verwertung und Beseitigung von biogenen Abfällen aus der getrennten Sammlung (Kapitel 6.1) und für den biogenen Anteil im Restmüll (Kapitel 6.2).

6.1 Getrenntsammlung, Aufbereitung, Behandlung und Verwertung

6.1.1 Rechtliche Grundlagen und Bedeutung für Ressourcen- und Klimaschutz

Für alle Siedlungsabfallfraktionen gibt es in Deutschland gesetzliche Anforderungen, wie sie gesammelt, transportiert, behandelt und verwertet werden sollen oder dürfen. Das deutsche Abfallrecht ist durch eine Vielzahl europäischer Rechtsvorschriften geprägt, welche in nationales Recht umgesetzt werden müssen.

Die zentrale Richtlinie ist die **europäische Abfallrahmenrichtlinie** (Richtlinie 2008/98/EG), sie enthält wichtige Vorgaben für das deutsche Abfallrecht. Artikel 4 gibt eine Abfallhierarchie vor, die die langfristige Nutzung von Produkten priorisiert (Abfallvermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung), erst dann soll stofflich verwertet werden (Recycling). Die energetische Verwertung wird als wesentlich minderwertiger gekennzeichnet.

Die langfristige Nutzung von Produkten und die stoffliche Verwertung reduziert die Notwendigkeit zur energieverbrauchenden und umweltschädigenden Herstellung neuer Rohmaterialien.

Artikel 8 weist allen, die Erzeugnisse entwickeln, herstellen, verarbeiten, behandeln, verkaufen oder importieren, eine erweiterte Herstellerverantwortung zu. Damit sind die Rücknahme von genutzten Erzeugnissen und Abfällen und die finanzielle Verantwortung für deren nachhaltige Verwertung verbunden. Ziel ist es, Vermeidung, Wiederverwendung und Recycling zu verbessern. Auch sollen die Produkte mehrfach verwendbar, technisch langlebig und, nachdem sie zu Abfällen geworden sind, zur ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung und umweltverträglichen Beseitigung geeignet sein.

Die **Europäische Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999** über Abfaldeponien schreibt den EU-Ländern vor, die Mengen von biologisch abbaubarem Abfall auf Deponien schrittweise zu verringern. Ziel ist es, nur behandelte Abfälle zu deponieren. 2030 dürfen in der EU maximal noch 10 % des Siedlungsabfalls deponiert werden.

In Deutschland wurde 1972 mit dem Abfallbeseitigungsgesetz die erste bundeseinheitliche Regelung des Abfallrechts geschaffen. Heute ist das Kreislaufwirtschaftsgesetz die Kernregelung abfallrechtlicher Vorschriften. Die Kreislaufwirtschaft ist noch stärker auf den Ressourcen-, Klima- und Umweltschutz ausgerichtet. Die fünfstufige Abfallhierarchie der europäischen Abfallrahmenrichtlinie wurde übernommen. Ausgehend von diesem Grundsatz ist diejenige Maßnahme zur Abfallbewirtschaftung auszuwählen, die den Schutz von Mensch und Umwelt am besten gewährleistet.

Soweit es keine spezifische Vorschrift gibt, wird davon ausgegangen, dass die energetische und stoffliche Verwertung äquivalent sind, wenn der Heizwert der segregierten Abfallfraktionen mindestens 11.000 kJ/kg beträgt (§ 8 Abs. 3 KrWG). Diese Regelung zielt darauf, den Einsatz von heizwertarmem Abfall zur energetischen Verwertung zu verhindern, da seine Verbrennung keinen relevanten Beitrag zur Ressourcenschonung liefert und daher nicht als bevorzugte Umwelloption angesehen werden kann.

Darüber hinaus wird das Recycling durch die Einführung der bundesweit vorgeschriebenen getrennten Sammlung für Bioabfälle (§ 11 Abs. 1 KrWG) sowie von Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfällen (§ 14 Abs. 1 KrWG) gefördert und gesichert. Bis 2020 muss für den Hausmüll eine Recyclingquote von mindestens 65 % erreicht werden (§ 14 KrWG). Darüber hinaus besteht künftig generell das Verbot, gefährliche Abfälle mit anderen Abfallströmen zu mischen (§ 9 Abs. 2 KrWG). Die getrennte Sammlung von Bioabfällen und Wertstoffen soll die Nutzung dieser Abfallarten effizienter gestalten.

Nach dem Verbot der Deponierung von unbehandelten Siedlungsabfällen ist die einzige Möglichkeit, die jährlichen Emissionen klimaschädlicher Gase in Deutschland weiter zu senken, die stoffliche und energetische Verwertung zu erhöhen. Dies kann durch die Effizienzsteigerung von Abfallbehandlungsanlagen und insbesondere durch eine Erhöhung der stofflichen Verwertung der Abfallströme erreicht werden (siehe auch Kapitel 6.2.1).

6.1.2 Erfassungs-, Sammlungs- und Transportsysteme

Haushaltsabfälle werden in Deutschland seit Anfang der 90er-Jahre in den Haushalten in verschiedene Fraktionen getrennt. Diese getrennten Abfallströme entsorgen die Bürger dann entweder haushaltsnah in Abfallsammelbehälter, die an den Wohnhäusern (Holsystem), oder an zentralen Sammelstellen (Bringsystem) stehen. Das Holsystem erfasst oftmals Papier, Pappe, Kartonagen (PPK, Blaue Tonne), Leichtverpackungen (LVP, Gelbe Tonne; Gelber Sack), Bioabfälle (i.d.R. Braune Tonne) und den verbleibenden Hausmüll (Restmüll).

Im Bringsystem werden vor allem Glasverpackungen (getrennt in grünes, braunes und weißes Glas) und Alttextilien erfasst. Die Sammlung über Wertstoffhöfe und -sammelstellen sind auch Bestandteil des Bringsystems. Für Sperrmüll gibt es bundesweit unterschiedliche Sammelsysteme. Batterien und Elektrogeräte können im Handel zurückgegeben werden, eine Sonderform des Bringsystems. Der Handel nimmt auch bepfandete Getränkeverpackungen zurück.

Einige dieser Sammelsysteme sind nicht deutschlandweit einheitlich. Es verbleibt aber auf jeden Fall eine Fraktion der Haushaltabfälle, der sog. Hausmüll oder Restmüll.

In Deutschland ist die Abfalltrennung eine Antwort auf einige Umweltprobleme, die durch Abfälle entstehen können. Da die biogene Fraktion für klimarelevante Emissionen verantwortlich ist, hat die getrennte Sammlung und Behandlung dieser Fraktion die Emissionen deutlich reduziert. Die getrennte Sammlung von Bioabfällen ist auch eine Voraussetzung für die Herstellung von hochwertigem Kompost und damit für die Rückführung organischer Substanz und Nährstoffen. Des Weiteren reduziert die getrennte Sammlung von biogenen Abfällen und deren Recycling die Mengen und verändert die Zusammensetzung des Restabfalls und verringert deren Wassergehalt. Abbildung 6.2 fasst die unterschiedlichen Vorteile der getrennten Sammlung biogener Abfälle zusammen.

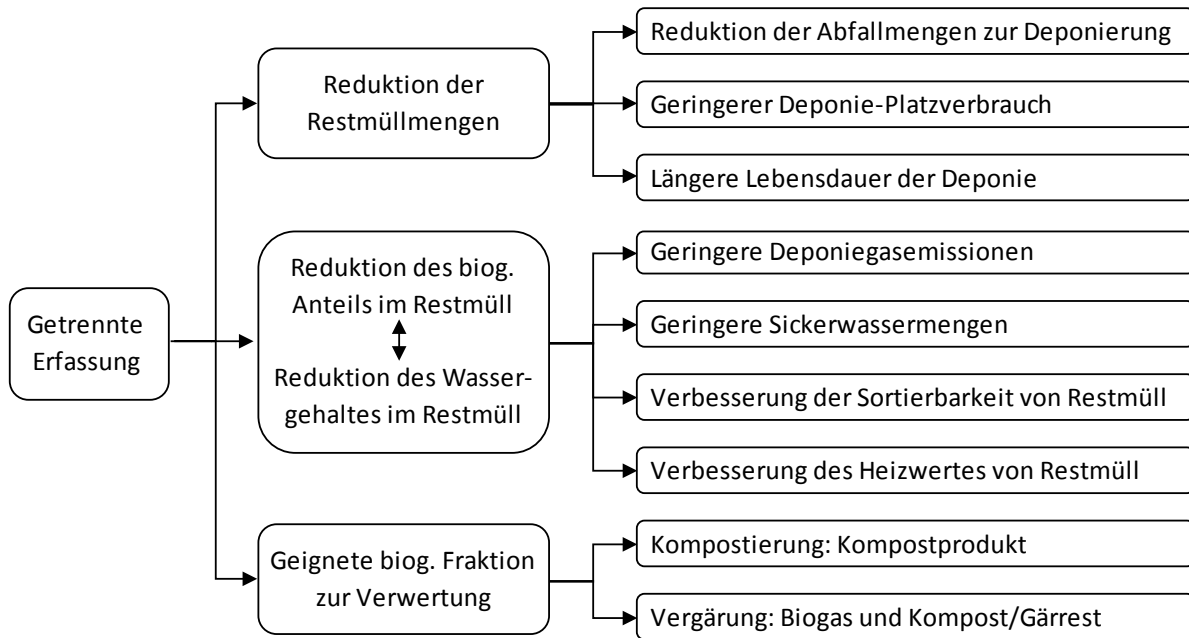


Abb. 6.2: Bedeutung der getrennten Sammlung biogener Abfälle für Klima- und Ressourcenschutz

Abbildung 6.3 zeigt die Entwicklung der Abfalltrennung in Deutschland im Laufe der Zeit. Während die Restabfallmenge gesunken ist, haben sich die Mengen der verschiedenen recycelbaren Fraktionen (einschließlich der Bioabfälle) erhöht. Seit 2004 sind die gesammelten Mengen an wiederverwertbarem Material größer als die Restmüllmenge.

2014 wurden rund 9,8 Millionen Tonnen biogene Siedlungsabfälle gesammelt. Dazu gehören Bioabfälle, vor allem Küchenabfälle und Grünabfälle aus Haushalten, Grünabfälle aus Parks und kommunalen Grünflächen, gewerbliche Abfälle sowie Lebensmittelabfälle. In Deutschland ist ein großer Teil der landwirtschaftlichen Rückstände wie Gülle und Mist nicht als Bioabfall anzusehen, da sie nicht als Abfall entsorgt sondern direkt als organischer Dünger verwertet werden.

Die Kommunen legen fest, ob Küchen- und Grünabfälle aus Haushalten gemeinsam oder getrennt gesammelt werden sollen und ob die Sammlung als Hol- oder Bringsystem durchgeführt wird.

In dicht besiedelten Gebieten hat sich für biogene Abfälle meist das Holsystem durchgesetzt. Nur in dünn besiedelten Gebieten, soll die Bevölkerung die biogenen Abfälle, meist nur Grünabfälle, zu zentralen Sammelplätzen bringen. Sowohl für das Erfassen im/am Haushalt und an zentralen Sammelstellen sowie für die Sammlung und den Transport gibt es eine Fülle an verschiedenen technischen Optionen.

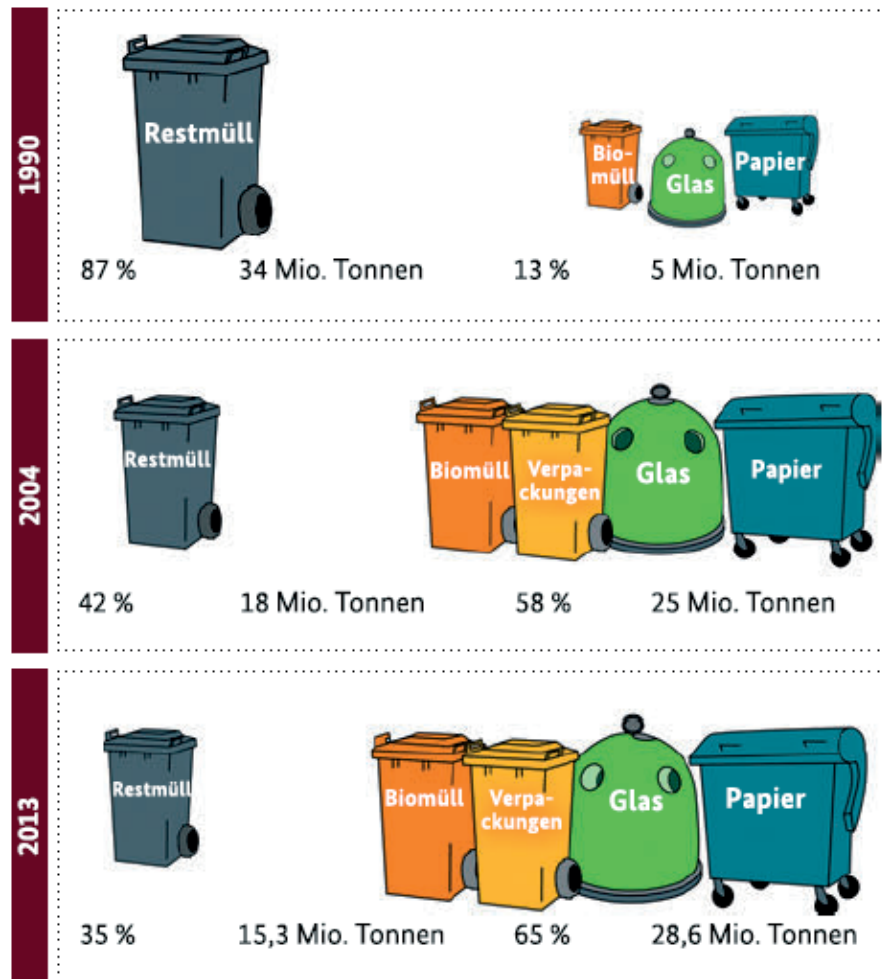
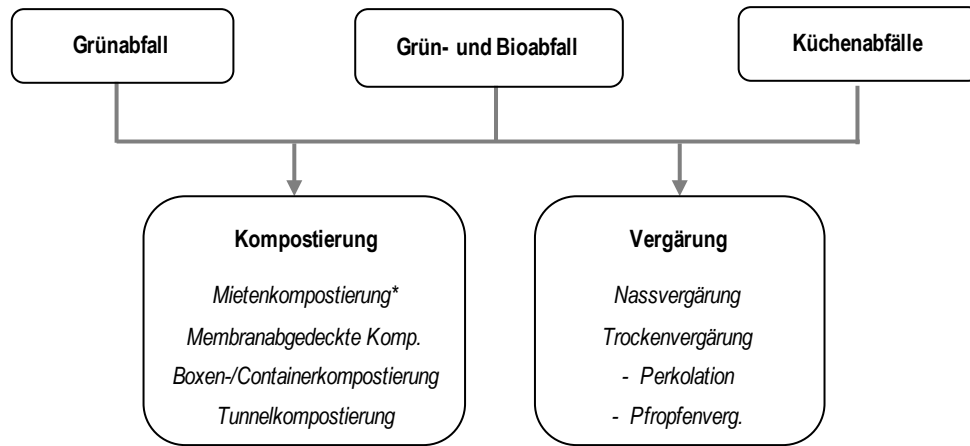


Abb. 6.3: Entwicklung getrennt gesammelter Mengen verschiedener Wertstoffe und Restmüll in Deutschland [BMUB, 2015]

Für die Erfassung kann man je nach Bedarf zwischen Sacksammlung und Tonnen (meist aus Plastik) in verschiedenen Größen wählen. Auch bei den Fahrzeugen gibt es viele unterschiedliche Modelle, die sich nach dem gewählten Erfassungssystem richten.

6.1.3 Verfahren und Technologien

Kompostierung und Vergärung sind nach dem Stand der Technik die wesentlichen Technologien, um biogene Abfälle zu recyceln. Beide nutzen natürliche biologische Prozesse, aber während die Kompostierung ein aerober Prozess ist, arbeitet die Vergärung unter anaeroben Bedingungen. Abbildung 6.4 gibt einen Überblick über die verschiedenen Technologien.



* Dreiecks-/Trapez-/Tafelmieten, offen oder geschlossen, natürlich oder zwangsbelüftet

Abb. 6.4: Technologien und Behandlungssysteme zum Recycling von biogenen Abfällen

Welche Technologie am besten geeignet ist, hängt von der Zusammensetzung des biogenen Abfalls ab. Für nasse, leicht abbaubare, Bioabfälle aus Haushalten und haushaltsähnlichem Gewerbeabfall sowie für Lebensmittelabfälle ist Vergärung eine gute Option zur energetischen (Biogas) und anschließenden stofflichen Nutzung des Gärrestes.

Für lignin- und zellulosehaltiges Pflanzenmaterial im Grün- und Bio-Abfall ist die Kompostierung die beste Option. Im Falle der Kompostierung ist nur die stoffliche Rückgewinnung möglich, da ligninhaltige Substanzen kaum anaerob abbaubar sind. Wenn der Anteil an holzhaltigen Bestandteilen in Grünabfällen hoch ist, können diese Komponenten auch als Brennstoff für die Energieerzeugung in einem Biomasseheizwerk separiert und verwendet werden.

Sowohl die stoffliche Verwertung von Kompost und Gärrest im Boden als auch die energetische Verwertung von biogenen Abfällen tragen zum Klima- und Ressourcenschutz bei. Abbildung 6.12 (in Kapitel 6.1.4) vergleicht die Vorteile in Bezug auf die Emissionen des Recyclings biogener Abfälle. Eine Kombination beider Nutzungen, die Biogasproduktion aus biogenen Abfällen und die anschließende Verwendung von Gärresten als organischer Dünger (Mehrfachnutzung), ist derzeit die bevorzugte Option in Deutschland.

Landwirte sind in Deutschland die Hauptnutznießer des Recyclings von biogenen Abfällen. Im Jahr 2014 wurde Gärrest aus der Vergärung fast ausschließlich als Dünger in der Landwirtschaft genutzt [BGK, 2016]. Durch diese Praxis wurden beträchtliche Mengen an Mineraldüngern ersetzt und die biogenen Abfallrecyclingprodukte trugen zur (Erhaltung der) Bodenfruchtbarkeit bei. Abbildung 6.5 fasst die Vorteile der Anwendung von Kompost und Gärresten zusammen.

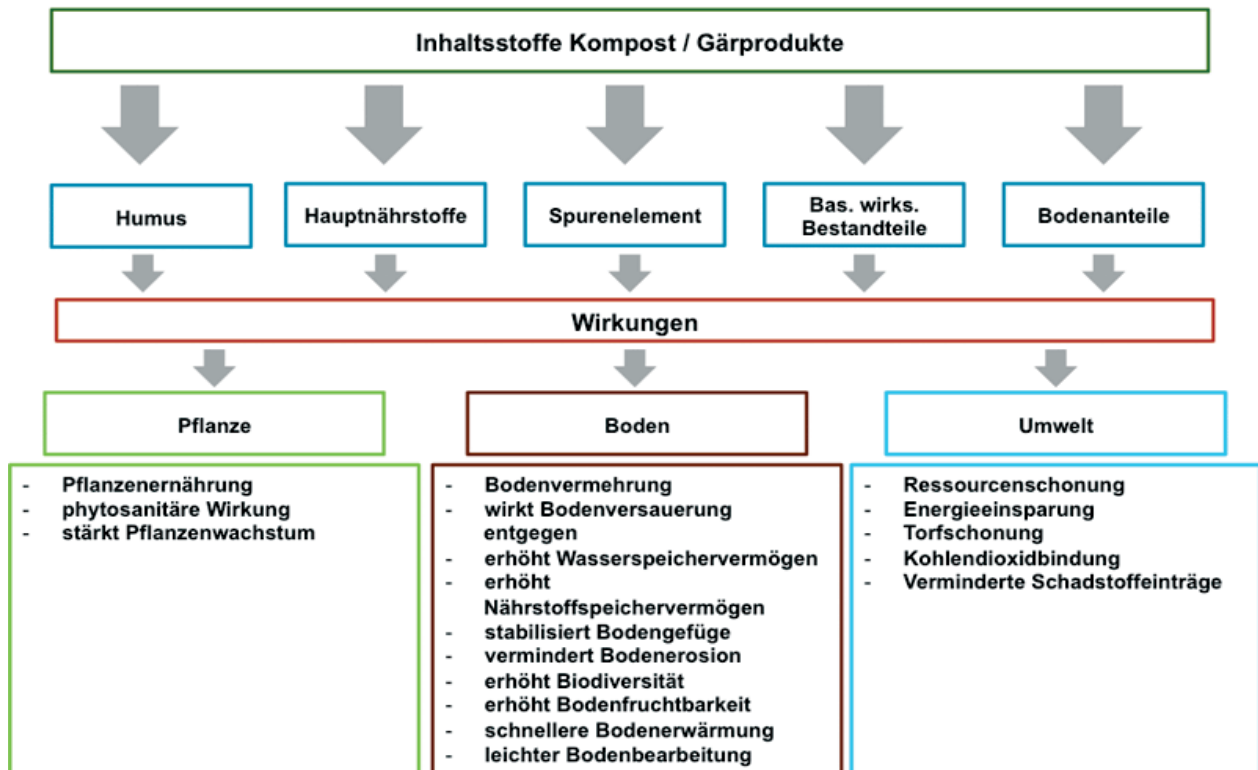


Abb. 6.5: Auswirkungen der Kompostkomponenten auf Pflanzen, Boden und Umwelt [VHE, 2016].

6.1.3.1 Kompostierung

GRUNDLAGEN: Kompostierung ist ein aerobes biologisches Verfahren, bei dem eine Reihe verschiedener Mikroorganismen organisches Material zersetzen und in ein biologisch stabiles Produkt umwandeln, das als organisches Düngemittel, Humusdünger oder Bodenhilfsstoff in der gärtnerischen und landwirtschaftlichen Produktion verwendet werden kann. In einem Kompostierungssystem, kann der Verlust an organischer Substanz während des Umwandlungsprozesses 30-60 % erreichen. Wie Abbildung 6.6 zeigt, wird der Kompostierungsprozess in einer Weise überwacht und kontrolliert, dass aerobe Bedingungen eingehalten werden. In einer anfänglichen intensiven Kompostierungsphase (Intensiv- oder Aktivrotte) werden hohe Temperaturen erreicht und Pathogene und Pflanzensamen reduziert und abgetötet (Hygienisierung). In der anschließenden Phase, der Nachrotte, reift der Kompost und stabilisiert sich [Nelles, et al., im Druck].

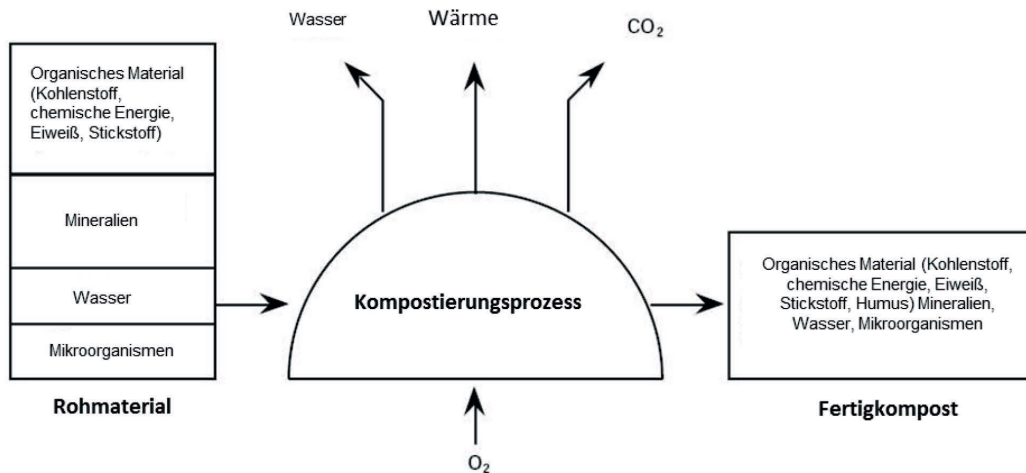


Abb. 6.6: Vereinfachte Darstellung des Kompostierungsprozesses [Rynk, et al., 1992]

PROZESSPARAMETER: Zur Überwachung und Steuerung des Kompostierungsprozesses werden üblicherweise mehrere wichtige Prozessparameter verwendet. Abbildung 6.7 gibt eine Zusammenfassung der verschiedenen Kontrollparameter, die optimale Kompostierungsbedingungen und die Qualitätssicherung der Produkte definieren. Diese Parameter gelten für alle Kompostierungsverfahren und -technologien. Jedoch variiert die Bedeutung jedes Parameters von Anlage zu Anlage, in Abhängigkeit der Ausgangsmaterialien, der Kompostierungstechnologie und der Betriebserfahrung des Betreibers.

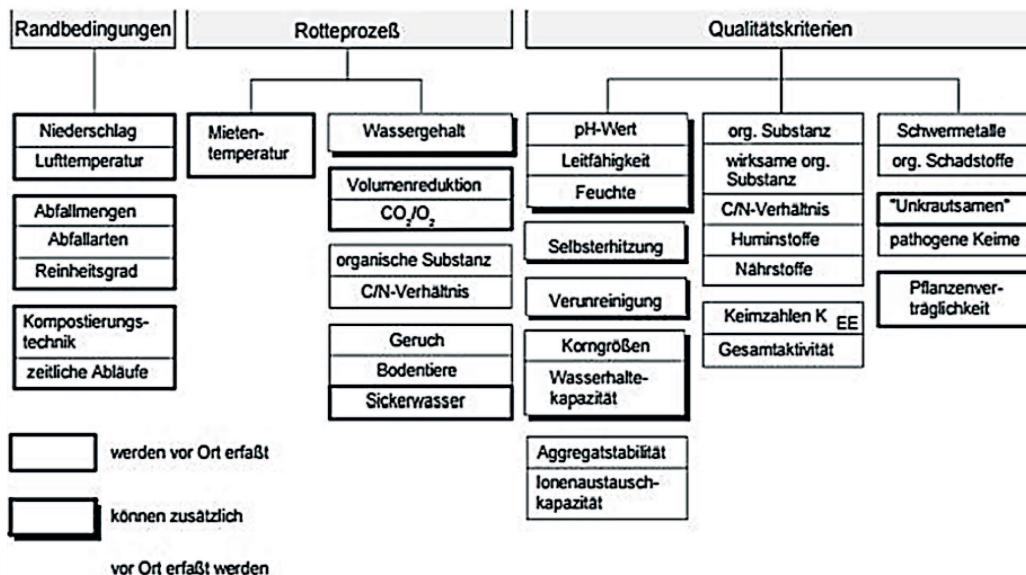


Abb. 6.7: Kontroll- und Qualitätssicherungsparameter für Kompostierung und Endprodukt [Schriefe, 1998]

TECHNOLOGIEN: Obwohl alle Kompostierungstechnologien auf dem aeroben Abbauprozess basieren, unterscheiden sich die verfügbaren Technologien erheblich. Die Komposttechnologien konzentrieren sich auf die Hauptrotte (incl. Intensivrotte). Die Nachrotte erfolgt meistens in Mieten. Die folgende Abbildung zeigt das Layout einer Kompostanlage.

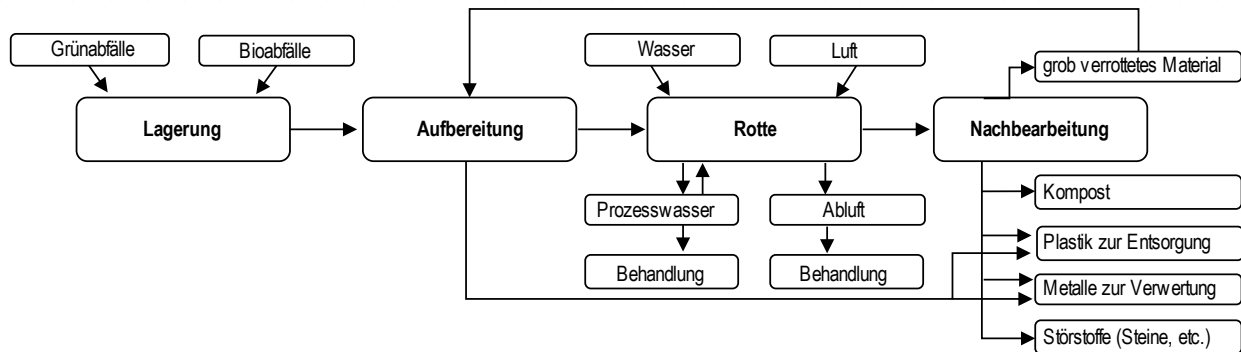


Abb. 6.8: Vereinfachtes Layout einer Kompostieranlage

Die Behandlungskapazitäten von Kompostieranlagen können von weniger als 1.000 bis mehr als 100.000 Tonnen pro Jahr variieren. Je nach Kapazität, Einsatzmaterial, lokalen Gegebenheiten und Anforderungen unterscheidet sich das Layout der Anlage signifikant. Üblicherweise werden vor, während und/oder nach dem Kompostierungsprozess verschiedene Arten der mechanischen Behandlung (Trennung, Größenreduktion, Umwälzen, Mischen usw.) angewendet.

Anlagen werden häufig klassifiziert, je nach Spezifikation der Aktivrotte:

- nur für „grüne“ Abfälle oder für Bioabfälle aus der getrennten Sammlung,
- offen, geschlossen oder in Reaktoren,
- passiv oder aktiv belüftet,
- statisch, semi-dynamisch oder dynamisch (mechanisches Umsetzen bzw. Umwälzen bzw. Wenden).

Die Unterscheidung in offene, geschlossene Anlagen und Reaktoren berücksichtigt, ob der Verrottungsprozess im Freien, in geschlossenen Gebäuden oder eben in Reaktoren stattfindet. Die Betrachtung dieses Aspekts ist vor allem bei der Emissionsanalyse von Bedeutung, aber auch bei der Betrachtung der Baukosten [Rettenberger, et al., 2012].

Sowohl die Belüftung, eingeschränkt auch das mechanische Wenden, verbessert die Luftzufuhr im Kompost und beeinflusst somit die Rottezeit. In passiven Belüftungssystemen bestimmt die Porosität des Kompostmaterials die Luftaustauschrate. In diesem Fall wird das Umsetzen genutzt, um den Luftgehalt innerhalb des Materials wiederherzustellen. Allerdings wird der Sauerstoff im Porensystem schnell von aeroben Mikroorganismen aufgebraucht.

Im Folgenden werden die gängigsten Technologien kurz beschrieben.

Mietenkompostierung

Die Mietenkompostierung kann von einfachen offenen Mieten (im Freien) bis zu geschlossenen Systemen in einem Gebäude sowie von passiv bis aktiv belüfteten Systemen reichen. Die Mieten bestehen aus langen Reihen von dreieckigem oder trapezförmigem Querschnitt. Die Abmessungen der Mieten müssen zur Mietenumsetzmaschine passen. Die Mietenabmessung hat Einfluss auf die Möglichkeit der Belüftung und der für die Hygienisierung notwendige, ausreichende Wärmeentwicklung. Die Mietenkompostierung eignet sich für eine breite Palette an Inputstoffen, Anlagenkapazitäten und Infrastrukturanforderungen. Nachteile sind die relativ langen Kompostierungszeiten von mehreren Wochen und der große Flächenbedarf. Weiterhin ist bei offenen Systemen das hohe Geruchspotenzial ein Problem.

Tafelmieten

Tafelmietenkompostierungssysteme können als eine besondere Form der Mietenkompostierung angesehen werden, bei der das biogene Material zu einer breiten „Tafel“ statt vieler schmaler Mieten geformt wird. Auf diese Weise kann der Flächenbedarf deutlich reduziert werden. Tafelmieten eignen sich daher für größere Einsatzmengen und werden überwiegend geschlossen betrieben. Üblicherweise werden geschlossene Systeme mit Bodenzwangsbelüftung (Druck- oder Saugbelüftung) und Umsetzen/Wenden kombiniert. Die Kompostierungszeit in Tafelmieten reicht von 45 bis 90 Tagen [Kern et al., 1998, Zachäus, 1995].

Kompostierung mit semipermeablen Membranabdeckungen

Diese Technologie wurde als Verbesserung der offenen Mietenkompostierung entwickelt, um den Betrieb zu verbessern und Geruchsemissionen zu reduzieren. Die Emissions- und Prozesskontrolle wird durch das semipermeable Verhalten der Membran in Verbindung mit einer Zwangsbelüftung erreicht. Das System gilt als geschlossene Technologie.

Die Membran ist halbdurchlässig für Gase, aber Geruch verursachende größere Moleküle können nicht durch die kleinen Poren diffundieren. Auf der Innenseite der Membran sammelt sich Kondenswasser an, nimmt die Geruchsstoffe auf und fällt in die Mieten zurück. Zurück in den Mieten werden Geruchsverbindungen weiter zersetzt. Die Abdeckung verringert Abfluss- und Sickerwasserprobleme sowie Verdunstungsverluste. Ferner verringert die Abdeckung die Ungezieferanziehung und Vernässung durch Niederschläge [Nelles, et al., im Druck].

Zeilen- und Tunnelkompostierung

Diese geschlossenen Technologien kombinieren Zwangsbelüftung und Umsetzen. Für beide Technologien können Belüftung, Bewässerung und Umsetzen für jede Zeile oder jeden Tunnel separat geregelt werden. In Zeilensystemen wird das Abfallmaterial zwischen den nach oben offenen Wänden aufgesetzt. Das Einsatzmaterial wird vertikal zu den Seiten gestapelt, so dass der Platzbedarf geringer ist als bei der Mietenkompostierung. Zeilenkompostsysteme, meist auch Tunnelsysteme, stehen in einer Halle und sind immer geschlossene Rottesysteme. Es entstehen die gleichen Korrosions- und Abluftbehandlungsprobleme wie bei allen geschlossenen Kompostanlagen.

Tunnelsysteme sind nach oben geschlossen und minimieren so das Abluftvolumen, so dass Schäden durch Korrosion verringert werden. Einige Tunnelsysteme haben nur eine Belüftung, aber keine Umsetzkomponente. Die Kompostierungsdauer hängt von der Länge des Tunnels, der Umsetzfrequenz und der gewünschten Kompostreife ab. Gängige Kompostierungszeiten reichen von 2-12 Wochen [Nelles, et al., im Druck].

Boxen- und Containerkompostierung

Beides sind statische Technologien in Reaktoren. Das Volumen der Boxen beträgt 50-60 m³, während das Volumen der Container etwa 20 m³ beträgt. Container können transportiert werden. Beide Systeme sind aktiv belüftet, haben ein Sickerwassersammelsystem und eine Abluftbehandlung mit einem Biofilter. Die Technologien sind modular aufgebaut, so dass es einfach ist, die Kapazität durch Hinzufügen einer neuen Box oder eines Containers zu erweitern. Allerdings ist ihre Eignung für Großanlagen, aufgrund der geringen Kapazität der einzelnen Boxen/Container, begrenzt.

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenfassung der verschiedenen oben genannten Technologien:

Tabelle 6.1: Zusammenfassung der aeroben Technologien

Behandlungssystem	Kapazität t/a	Energiezufuhr		Flächenbedarf	Zeit (Wochen)		Betriebskosten	Investition
		Dsl	Elek.		aktiv Rotte	Nachrotte		
Geschlossene Mietenkompostierung	1000-50000	M	M	H	3	8-10	N-M	M
Geschlossene Mietenkompostierung mit Membran-Abdeckung	1000-50000	M	N-M	H	3	8-10	N-M	M
Tunnel Kompostierung Linie	15000-100000	N	M-H	N	1,5	8-10	M	M-H
Boxen- und Containerkompostierung	100-15000	N	M-H	N	1,5	8-10	M	H

N: Niedrig, M: Mittel, H: Hoch, Dsl: Diesel, Elek.: Strom

6.1.3.2 Vergärung

GRUNDLAGEN: Die Vergärung ist ein biologischer Prozess, bei dem Mikroorganismen biogenes Material in Abwesenheit von Sauerstoff zersetzen. Kritische Parameter wie Temperatur und pH-Wert werden im Reaktor gemessen und gesteuert, um die Biogaserzeugung und die Abfallabbauraten zu maximieren. Der anaerobe Abbau setzt, anders als aerobe Abbauprozesse, keine Wärme frei. Die Hygienisierung des biogenen Abfalls muss durch Erwärmung von außen gesteuert werden. Das wichtigste Produkt des Vergärungsprozesses ist Biogas. Es kann als Brennstoff verwendet werden und besteht hauptsächlich aus Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂).

TECHNOLOGIEN: Vergärungstechnologien für Abfälle umfassen eine mechanische Vorbehandlung vor der Vergärung, die Vergärung selbst und eine Nachbehandlung des Gärrestes sowie die Behandlung und Nutzung des Biogases. Im Allgemeinen besteht die Vorbehandlung darin, Störstoffe wie Metalle und großdimensionierte Materialien zu entfernen. Für einen optimalen Vergärungsprozess ist ein homogenes Ausgangsmaterial vorteilhaft. Dies kann durch die Zer-

kleinerung des Ausgangsmaterials (Schreddern, Anmaischen, Mahlen, usw.) erzielt werden. Abbildung 6.9 zeigt das vereinfachte Layout einer Vergärungsanlage.

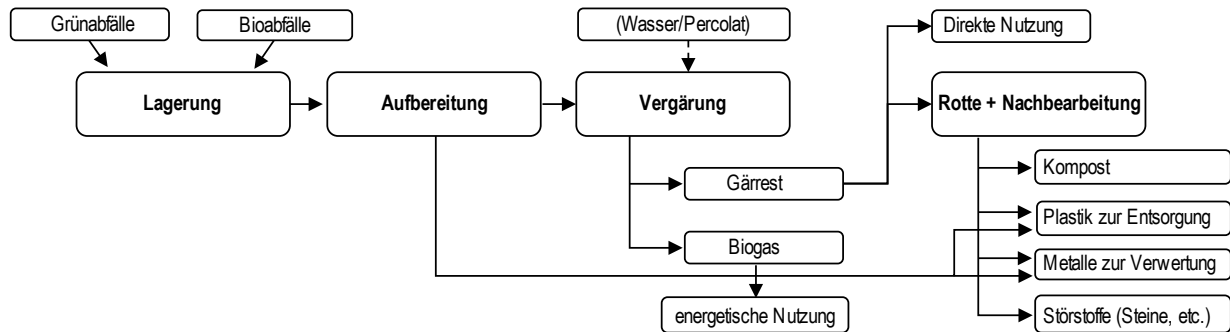


Abb. 6.9: Vereinfachtes Layout einer Vergärungsanlage mit Vor- und Nachbehandlung

Es gibt eine Vielzahl von Vergärungssystemen, die den biologischen Prozess optimieren, um methanreiches Biogas zur energetischen Verwertung zu produzieren. Alle Technologien sind geschlossen und haben speziell entwickelte vertikale oder horizontale Reaktoren, in denen der Materialabbau stattfindet. Im Folgenden werden verschiedene Kriterien zur Klassifizierung von Vergärungstechnologien vorgestellt [Nelles, et al., im Druck].

Nass-/Trockenvergärung

Die Unterscheidung zwischen nasser und trockener Vergärung bezieht sich auf den Trockensubstanzgehalt des Substrates. Während der Trockensubstanzgehalt in der Nassvergärung 3-15 % beträgt, kann er in Trockenvergärungssystemen zwischen 15 und 45 % variieren (Abbildung 6.10). Da die Nassvergärung mit wasser-suspendierten oder gelösten Stoffen arbeitet, wird das Ausgangsmaterial gepumpt und der Prozess wird in meist gerührten, versiegelten Reaktoren (Tanks) durchgeführt. Das Mischen ist aus verschiedenen Gründen von Bedeutung. Zum einen, um einen ausreichenden Kontakt zwischen den Mikroorganismen und dem Substrat sicherzustellen. Das flüssige Substratgemisch neigt dazu, sich in zwei oder mehr Schichten aufzuspalten, was zu einer geringeren Gasproduktion führen kann. Zum anderen, um die optimalen durchschnittlichen festen Aufenthaltszeiten sicherzustellen. Des Weiteren garantiert die Durchmischung den Übergang des Biogases in den Gasraum. Input-Material, das leicht suspendiert werden kann, wie z.B. Lebensmittelabfälle, ist am besten geeignet für nasse Systeme.

Der Trockensubstanzgehalt der Inputstoffe in Trockenvergärungssystemen kann sehr unterschiedlich sein und erhebliche Unterschiede in der „Struktur“ aufweisen. Materialien wie Gartenabfälle und Stroh können folglich mitbehandelt werden. Trockenvergärungssysteme sind gegenüber nassen Systemen weniger empfindlich für physikalische Verunreinigungen (Störstoffe, Sand, Fasern, etc.) [Nelles, et al., im Druck].

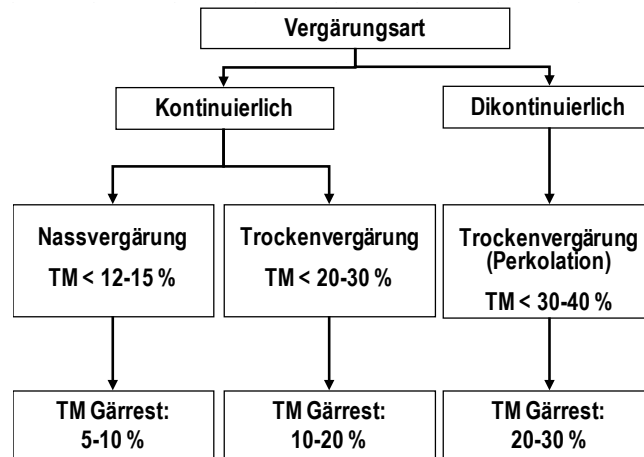


Abb. 6.10: Verschiedene Vergärungsprozessarten und deren optimale Trockenmassegehalte [BMUB, 2009]

Die wichtigsten zwei Trockenvergärungsverfahren für die Behandlung von getrennt gesammelten, biogenen Abfällen sind Perkolations- und Pfropfenstrom-Systeme. Die Perkolationstechnik verwendet in der Regel einen Container- oder Garagenreaktor mit einem Perkolationsdrainagesystem zur Bewässerung des Inputstoffes. Der anaerobe Prozess dauert 4 bis 8 Wochen (Retentionszeit). Bei Perkolationstechniken ist eine grobe Struktur des Ausgangsmaterials erforderlich, um die Bewässerung des Perkolats während des gesamten Aufschlusses zu ermöglichen. Die Höhe des Inputmaterials im Reaktor ist auf 2-3 m begrenzt, um eine Verdichtung der unteren Schichten zu vermeiden.

In der Pfropfenstrom-Technologie ist ein horizontal liegender zylindrischer oder viereckiger Reaktor mit langsam laufendem Rührsystem ausgestattet. Die elektrisch angetriebenen Rührwerke unterstützen vor allem die Entgasung.

Die Rührrichtung wird periodisch gewechselt. Die Bewegung des Inputmaterials durch den Reaktor ist das Ergebnis des dem Reaktor zugeführten Materials (auf einer Seite) und findet als Pfropfen statt, das kontinuierlich durch frisches Inputmaterial vorgeschoben wird [Kern et al., 1998, Zachäus, 1995].

Ein- oder zweistufige Systeme

Vergärungs-Systeme können auch als ein- oder zweistufige Systeme ausgeführt werden. In einem einstufigen Vergärungssystem finden alle Vergärungsstufen im gleichen Reaktor bei einem pH-Wert zwischen 6 und 7 statt, was nicht optimal für alle beteiligten Mikroorganismen ist. Zweistufige Systeme optimieren den pH-Wert für die jeweiligen Mikroorganismen in zwei Reaktoren mit unterschiedlichen Bedingungen. Ein Nachteil dieser Aufteilung sind höhere Kosten für Aufbau und Betrieb.

Mesophile oder thermophile Systeme

In technischen Vergärungssystemen gibt es zwei günstige Temperaturbereiche: den thermophilen Bereich von 45-60 °C und den mesophilen Bereich von 30-45 °C. Während der thermophilen Vergärung findet auch eine Hygienisierung des Substrates statt. Zur Hygienisierung des Materials in mesophilen Systemen muss eine Pasteurisierungseinheit verwendet werden. Heut-

zutage sind für die Behandlung von getrennt erfassten biogenen Abfällen beide Systeme gleichermaßen weit verbreitet.

Kontinuierliche oder diskontinuierliche Systeme

Technische Vergärungsverfahren können als kontinuierliche oder diskontinuierliche Verfahren betrieben werden. In kontinuierlichen Systemen wird das Substrat regelmäßig zugeführt, um eine kontinuierliche Biogasproduktion zu erreichen. In Batch-Systemen wird der Fermenter für die Vergärungsperiode gefüllt und verschlossen, so dass die Biogasmengen und -qualität mit der Zeit variieren. Um kontinuierlichere Qualitäten und Mengen von Biogas zu erreichen, können parallele Batch-Systeme nacheinander genutzt und betrieben werden [Nelles et al., im Druck].

Tabelle 6.2 fasst die beschriebenen Vergärungstechnologien zusammen.

Tabelle 6.2 Zusammenfassung der anaeroben Technologien

Behandlungssystem	Trockenvergärung (Bio- und Grünabfälle)						Nassvergärung (Lebensmittelabfälle)					
	Kapazität t/a	Energiezufuhr	Zeit (Wochen)	Nettoenergieleistung	Betriebskosten	Investition	Kapazität t/a	Energiezufuhr	Zeit (Wochen)	Nettoenergieleistung	Betriebskosten	Investition
Einstufige Systeme	10000-100000	N-M	2-4	N	N-M	N-M	3000 - 250000	M-H	2-6	N	N-M	N-M
Zweistufige Systeme		N-M	2	M	M-H	M-H		M-H		N-M	H	H
Mesophile Systeme		N-M	2-4	M	N-M	N		M-H		N-M	N-M	N
Thermophile Systeme		M-H	2	H	M-H	M-H		H		M	H	H
Kontinuierliche Systeme								M-H		N-M	N	N-M
Diskontin. Systeme		N-M	2-4	M	N-M	M						

N: Niedrig, M: Mittel, H: Hoch

6.1.4 Betrieb der Anlagen

Biologische Abfallbehandlungsanlagen sollen so betrieben werden, dass hygienisch einwandfreie Produkte von guter Qualität erzeugt und möglichst keine schädlichen oder belastenden Einwirkungen auf die Umwelt und Menschen verursacht werden. Auch die Sicherheit für Arbeiter und Bevölkerung und die Rentabilität der Anlage sollen gewährleistet sein. Um diese Ziele zu erreichen, sind sowohl die Eigen- als auch die Fremdkontrolle von besonderer Bedeutung. Diese umfassen die Prozessführung, die Produkte, die Einrichtungen, das Personal und nicht zuletzt die Dokumentation.

Abbildung 6.11 verdeutlicht die Ziele und notwendigen Aspekte, die kontrolliert werden sollten, um den ordnungsgemäßen Betrieb einer Anlage zu gewährleisten. Einzelne Aspekte, die für China besonders wichtig sind, werden ausführlich erläutert.

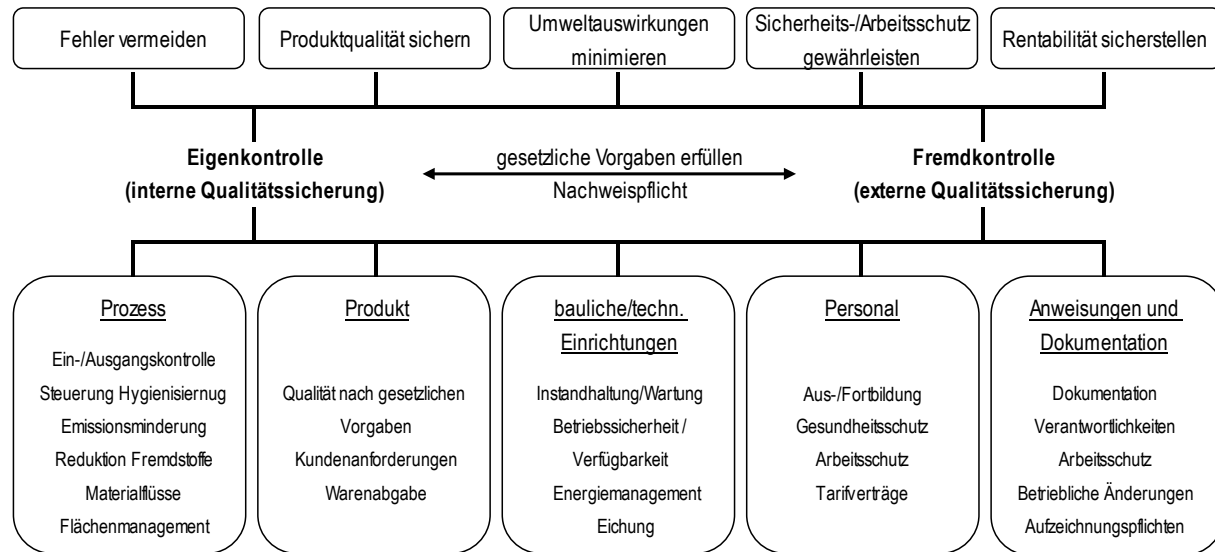


Abb. 6.11: Ziel und zu berücksichtigende Aspekte beim Betrieb von Anlagen

PERSONAL: Das Personal muss gut ausgebildet sein. Dabei reichen theoretische Grundlagen nicht aus. Gerade für die biologischen Prozesse sind praktische Erfahrungen nötig. In Deutschland existiert der Beruf „Ver- und Entsorger“ für das Personal in Abfallbehandlungsanlagen.

Bezüglich der Anzahl an Personal kann keine pauschale Aussage getroffen werden, da Kompostierungs- bzw. Vergärungsanlagen sich in den Anlagentechnologien und -größen stark voneinander unterscheiden. In Abhängigkeit davon, wie der Eintrag bzw. Austrag (per Radlader oder automatisch) erfolgt, sowie auch, ob und wie die Umsetzung von Mieten gehandhabt wird, oder ob es sich um eine geschlossene (indoor) oder offene (outdoor) Kompostanlage oder um eine Vergärungsanlage handelt, wird die Anzahl unterschiedlich sein.

Verallgemeinernd kann aber davon ausgegangen werden, dass mindestens jeweils ein Mechaniker/Betriebsschlosser für die Bedienung und Wartung mechanischer Aufbereitungsaggregate sowie ein Elektriker für die elektrischen Komponenten vor Ort sein müssen. Für die Bedienung von mobilen Geräten (Radladern, LKW, etc.) kann ebenfalls ein Fahrer benötigt werden.

Für das Kernstück der Anlage, den biologischen Prozess, wird eine verantwortliche Person benötigt, die umfangreiche Kenntnisse über die Biologie und deren Einflussfaktoren besitzt. Die Person muss in der Lage sein, anhand des Inputs bzw. der Prozessparameter (Feuchte, pH-Wert, Temperatur, etc.) Anpassungen vorzunehmen, um keine Probleme im biologischen Prozess aufkommen zu lassen. Sie soll weiterhin fähig sein, die Probennahme durchzuführen, um eine gute Qualität des Endproduktes sicherzustellen.

QUALIFIKATION/SCHULUNGEN: Gerade bei der Person, die zuständig für die biologische Verfahrenstechnik ist, wäre eine praktische Schulung in einer bereits etablierten und gut funktionierenden Anlage zu empfehlen. Um alle jahreszeitlichen Schwankungen im Klima und in der Abfallzusammensetzung durchzugehen, wäre eine einjährige Schulung begrüßenswert.

Ein großes Problem in der Praxis ist die längerfristige Bindung des Betriebsteams, da neues Personal immer wieder neu geschult und eingearbeitet werden muss. Dieser Punkt wird im Kapitel 6.2.3 ausführlich beschrieben.

KORROSIONSSCHUTZ: Bei der Konstruktion sollte auf hohe Qualität und bei der Wartung auf eine schnelle und genaue Arbeitsweise geachtet werden, um Korrosion zu verhindern bzw. zu vermindern. Ohne langlebigen und funktionsfähigen Korrosionsschutz sind Stahlbauten bereits nach wenigen Jahren beschädigt, was auch die Statik beeinträchtigen kann. Durch sachgerechten Korrosionsschutz können daher enorme Verluste vermieden werden.

EMISSIONEN: Die Behandlung von biogenen Abfällen nach dem Stand der Technik kann bedeutend zum Klimaschutz beitragen, da sie klimarelevante Emissionen vermeidet, die ohne die Behandlung entstehen würden. Abb. 6.12 zeigt die CO₂-Bilanz für die Kompostierung und Vergärung in Deutschland auf.

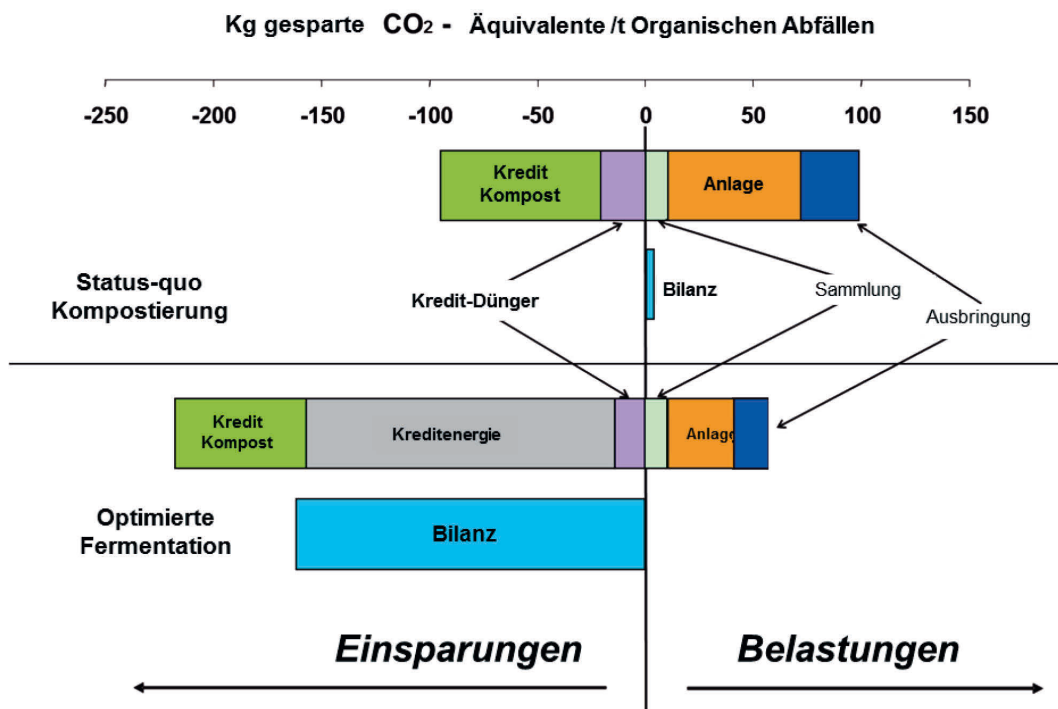


Abb. 6.12: CO₂-Bilanz für die Kompostierung und Vergärung in Deutschland [UBA, 2015]

Durch die Behandlung von getrennt gesammelten biogenen Abfällen könnten Emissionen aus der Abfallwirtschaft verringert werden. Tabelle 6.3 zeigt und vergleicht die Emissionen aus biogenem Abfallrecycling mit der Gesamtemission in Deutschland [UBA 2015]. Mit einem Anteil von 0,1 % sind die Emissionen aus der biogenen Abfallbehandlung gering.

Tabelle 6.3: Emissionsfaktoren für das Recycling (Behandlung + Lagerung + Produktaufbringung) von biogenen Abfällen (Bio- und Grünabfälle) in Deutschland, Datenbasis Mittelwert [UBA 2015]

		Behandlungsprozess (Mittelwert)	Produktlagerung	Produktausbringung	Summe [1] bis [3] (Mittelwert)	Emissionen in Deutschland	Anteil [4] an [5] (Mittelwert)
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
CH ₄	Gg/a	23,48	0,0009	0,005	23,49	2.324	1,011 %
NM VOC	Gg/a	2,90	---	---	2,90	1.284	0,226 %
NH ₃	Gg/a	1,59	0,1187	0,712	2,42	597	0,405 %
N ₂ O	Gg/a	0,56	0,0302	0,181	0,77	216	0,357 %
CO ₂ -Äq.	Gg/a	753,77	9,0299	54,179	816,98	805.959	0,101 %

Dennoch sind Emissionen aus Kompostierungs- und Vergärungsanlagen ein wichtiger Aspekt, der beim Betrieb berücksichtigt werden muss. Abbildung 6.13 gibt einen Überblick über die gasförmigen Emissionen aus verschiedenen Kompostierungssystemen. Der weite Bereich zwischen den Maximal- und Minimalwerten zeigt, dass die Emissionen erheblich variieren können und ein großes Potenzial zur Reduzierung der Emissionen besteht.

Wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass die Methan-, Stickoxid- und Ammoniakemissionen weniger von der technischen Ausstattung abhängen als von der Betriebsweise der Anlagen [UBA, 2015]. Daher ist die Sensibilisierung der Mitarbeiter zum richtigen Betrieb zur Vermeidung von Emissionen von entscheidender Bedeutung.

In Deutschland sind die Anforderungen an die Emissionsminderung aus Kompostierungs- und Vergärungsanlagen in der TA Luft geregelt. Unter anderem werden Mindestabstände, Anforderungen an einen geschlossenen Bau von Kompostieranlagen und Emissionswerte für Geruchs- und Staubemissionen geregelt.

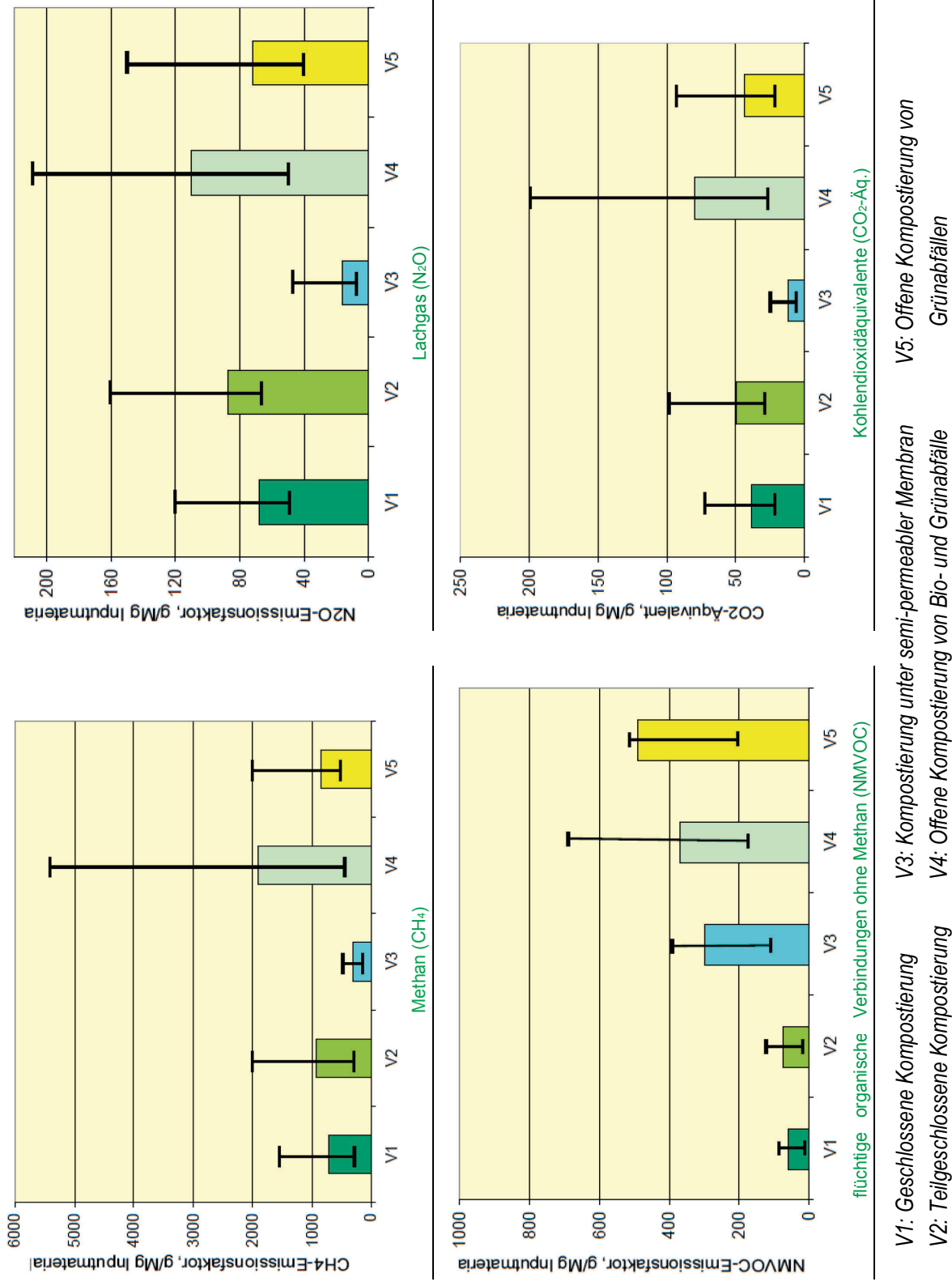


Abb. 6.13: Emissionen der unterschiedlichen Kompostierungsverfahren [BGK, 2010]

6.1.5 Ausgewählte Referenzanlagen

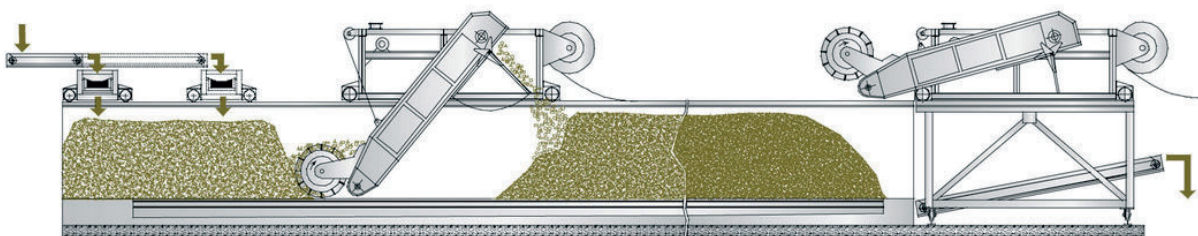
Die nachfolgenden Datenblätter stellen einige Kompostverfahren vor.

6.1.5.1 Biodegma

Name der Anlage:	Kompostanlage Weiterstadt			
Art der Anlage:	Kompostierungsanlage mit BIODEGMA Technologie			
Standort:	D-64331 Weiterstadt			
<pre> graph TD A[Anlieferung mit Verwiegung] --> B[Soweit erforderlich Zumischung von Siebüberlauf] B --> C[Abfalleinlagerung in Intensivrottemodulen mit Zerkleinerungsschaufel] C --> D[6 Wochen mit aktiver Druckbelüftung] D --> E[Umsetzen in ein anderes Intensivrottemodul] E --> F[Auslagerung auf Freifläche für ca. 1-2 Wochen] F --> G[Absiebung auf 35-40mm] G --> H[Nachreife in unbelüfteten Mieten mit mehrmaligem Umsetzen] H --> I[Absiebung für landwirtschaftliche Verwertung. Ein Teil des Frischkompostes wird weiter gereift und zur Herstellung unterschiedlichster Endkundenprodukte (Pflanzerde, Blumenerde, Friedhofserde etc.) verwendet] </pre>				
Anlageneigentümer:	Da-Di Werk, Darmstadt	Design		
Anlagenbetreiber:		Mech. Aufbereitung:	Schredderschaufel	
Anlagenhersteller:				BIODEGMA GmbH
In Betrieb seit:				2005
Anlagenkapazität:	9.000 Mg/a	Biologische Behandlung Rotte		
Abfallart(en):	Bioabfall aus separater Sammlung, Grüngutkompostierung erfolgt in separater Schiene	Verfahren: - Mieten, Tunnel, etc. - Belüftung - andere	BIODEGMA Rottemodule	
Produkte (Outputs):	Kompost	Dauer:	6 Wochen	
Anzahl Personal:	2,5	Abluftbehandlung	Semiperm. Membran	
Anzahl Schichten:	1	Std/tag:	8	


6.1.5.2 Biofix

Name der Anlage:	Kompostierungsanlage Hogstadt, Stavanger, Norwegen
Art der Anlage:	Zeilenkompostierung mit Biofix
Standort:	Stavanger, Norwegen



Anlageneigentümer:	Interkommunalt Vann og Avlops- og Renovasjonsverk (IVAR)	Design	
Anlagenbetreiber:		Mechanische Aufbereitung:	Mix-Shredder (ggf. Zugabe von Strukturmaterial, Bewässerung) Fe-Abtrennung
Anlagenhersteller:	Sutco Recycling Technik GmbH & Co KG		
In Betrieb seit:	2000		
Anlagenkapazität:	100-150 t/d (min/max)	Biologische Behandlung Rotte	
Abfallart(en):	Biologische Fraktion, Küchenabfall aus getrennter Sammlung	Verfahren: - Mieten, Tunnel, etc. - Belüftung - andere	- 8 Zeilen, 45 m lang, in Rottehalle - Saugbelüftung - eingehauster Biofilter mit mineralischem Filtermaterial (nicht Sutco-Lieferung)
Produkte (Outputs):	Kompost mit Rottegrad IV	Dauer:	Liegezeit in den Zeilen – 4 Wochen
Fläche:	1.800 m ² Materialfläche 3.000 m ² Hallenfläche	Abluftbehandlung	saurer Wäscher, eingehauster Biofilter
Anzahl Schichten: Std/Tag:	einschichtig		
Investitionskosten:	4.3 Mio. DM		

6.1.5.3 Tunnelkompostierung

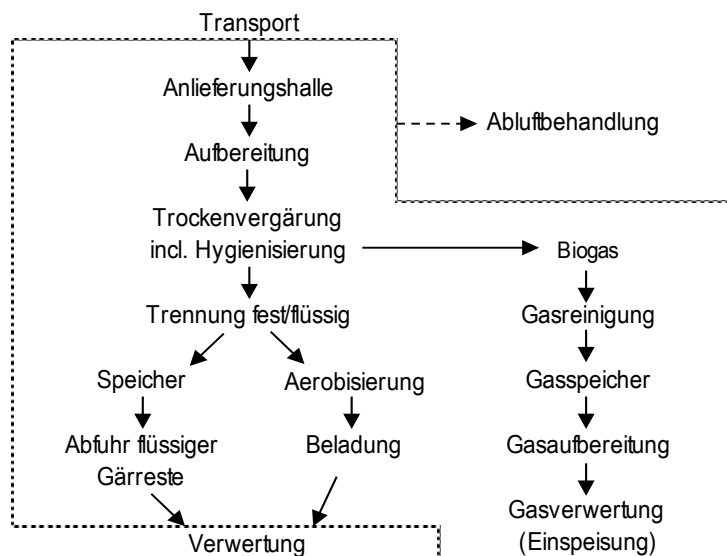
Name der Anlage:	Abfallwirtschaftszentrum Linkenbach			
Art der Anlage	Tunnelkompostierung			
Standort:	Linkenbach, Kreis Neuwied			
				
Anlageneigentümer:	Abfallentsorgungsanlage Linkenbach Landkreis Neuwied	Design		
Anlagenbetreiber:		Mechanische Aufbereitung:	Zerkleinerung, Siebung < 80 mm Fe-Abtrennung, Eintrag in Rottetunnel	
Anlagenhersteller:				Sutco RecyclingTechnik GmbH
In Betrieb seit:				2014
Abfallart(en):	Hausmüll	Biologische Behandlung Rotte		
Fläche:	Tunnelfläche 2.000 m ² Hallenfläche 3.820 m ²	Verfahren: - Mieten, Tunnel, etc. - Belüftung - andere	16 Tunnel, 1mal Umsetzen, danach überdachte Nachrotte	
Anlagenkapazität:	39.0000 t/a \cong 160 t/d	Dauer:	4 Wo. IR / \geq 4 Wo. NR	
Anzahl Schichten:	einschichtig	Abluftbehandlung	RTO und Biofilter	
Produkte (Outputs):	AT ₄ < 15 mg O ₂ /g TS DOC < 800 mg/l	Besonderheiten	Zwei automatische Tunneleintragungssysteme mit Verfahrbrücke	
Investitionskosten:	5,3 Mio. €			

6.1.5.4 *Kompotec*

Name der Anlage:	Kompostwerk Gütersloh KOMPOTEC Kompostierungsanlagen GmbH		
Art der Anlage	Bioabfallvergärung und Kompostierung		
Standort:	33334 Gütersloh, Germany		
<pre> graph TD Grünabfall --> Shredder Bioabfall --> Aufbereitung Shredder --> Mischung Aufbereitung --> KOMPOFERM KOMPOFERM --> Biogas KOMPOFERM --> Mischung Biogas --> BHKW Mischung --> Tunnelkompostierung Tunnelkompostierung --> Mietenkompostierung Mietenkompostierung --> Kompost Mietenkompostierung --> Siebrest Mietenkompostierung -.-> Abluftbehandlung Kompost --> Vermarktung Siebrest --> ThermVerwertung </pre>			
Anlageneigentümer:	KOMPOTEC	Design	
Anlagenbetreiber:	Kompostierungsanlagen GmbH	Mechanische Aufbereitung:	Trommelsieb, Magnet- abscheider, Schredder
Anlagenhersteller:	Eggersmann Anlagenbau GmbH		
In Betrieb seit:	1993	Biologische Behandlung	
Abfallart(en):	Bioabfall aus Haushalten Grünabfälle	Verfahren: - Mieten, Tunnel, etc. - Belüftung - andere	Trockenvergärung Tunnelkompostierung Mietenkompostierung
Anlagenkapazität:	65.000 t/a, 260 t/d	Abluftbehandlung	Biofilter
Anzahl Personal	9	Produkte	Qualitätskompost Biogas Elektrische Energie Metalle Siebgut zur thermischen Verwertung
Anzahl Schichten Stunden pro Tag:	10		
Fläche:	43.000 m ²		

6.1.5.5 Vergärung mit Biokraftstoffgewinnung

Name der Anlage:	Abfallvergärungsanlage Berlin
Art der Anlage:	Trockenvergärung
Standort:	Berlin



Anlageneigentümer:	BSR Berliner Stadtreinigungsbetrieb	Design	
Anlagenbetreiber:	BSR Berliner Stadtreinigungsbetrieb	Mechanische Aufbereitung	Vorbehandlung einschl. Ausgleich zur Beschickung der Fermentern 2-stufige Entwässerung
Anlagenhersteller:	STRABAG Umwelttechnik GmbH		
In Betrieb seit:	2013	Biologische Behandlung:	
Abfallart(en):	Getrennt gesammelter Bioabfall	Verfahren: - Mieten, Tunnel, etc. - Belüftung - andere	2 Trockenfermenter TF 2200 Nach Vergärung Kompostierung in 6 belüfteten Boxen
Anlagenkapazität:	60 000 t/a	Abluftbehandlung	Chemische Wäsche und Biofilter
Anzahl Personen:	14	Besonderheiten	Biogasbehandlung bis Erdgasqualität
Fläche:	2,7 ha	Produkte:	Biogas, Kompost

6.2 Sammlung, Aufbereitung, Behandlung und Verwertung von nicht getrennt gesammeltem biogenem Abfall

6.2.1 Rechtliche Grundlagen und Bedeutung für Ressourcen und Klimaschutz

Auch für Restmüll, einer Mischung aus verschiedenen, nicht sortierten Wertstoffen, Bioabfällen, hygienischen Abfällen usw. gibt es verschiedene Gesetze, die hauptsächlich ihre Behandlung regeln.

Die **Richtlinie 1999/31 / EG des Europäischen Rates** vom 26. April 1999 über Abfalldeponien fordert die EU-Länder auf, die Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen auf Deponien schrittweise zu senken. Ziel ist es, nur vorbehandelte Abfälle zu deponieren. Bis 2030 sollen nur maximal 10 % der Siedlungsabfälle in der EU auf Deponien abgelagert werden.

Nach der fünfstufigen Abfallhierarchie im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), soll zum Schutz der Allgemeinheit und der Umwelt die geeignetste Behandlungsmaßnahme gewählt werden. Im Falle des gemischten Restabfalls ist eine Verwertung vor der Entsorgung die beste Option.

1993 forderte die **Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TASi)** erstmalig eine Vorbehandlungspflicht für Siedlungsabfälle, die ab dem 1. Juni 2005 umzusetzen war. Die TASi formulierte folgenden Grundsatz: es „soll insbesondere erreicht werden, dass sich praktisch kein Deponiegas entwickelt, die organische Sickerwasserbelastung sehr gering ist und nur geringfügige Setzungen als Folge eines biologischen Abbaus von organischen Anteilen in den abgelagerten Abfällen auftreten“.

Heute fordert das Kreislaufwirtschaftsgesetz, dass die Behandlung von Abfällen deren Menge und Schädlichkeit vermindert und Energie oder Abfälle, die bei der Beseitigung anfallen, hochwertig genutzt werden (§ 15 KrWG).

Die deutsche **Deponieverordnung** setzt die Forderungen der europäischen und deutschen Regelungen um. In deren Anhang 3 (Tabelle 2) werden Zuordnungswerte für Abfälle, die in Deponien abgelagert werden sollen, vorgegeben, die nur nach einer Abfallvorbehandlung (Inertisierung) erreichbar sind. Die Zerstörung oder Umwandlung der organischen Substanz in den abzulagernden Abfällen ist eine Grundvoraussetzung für die Einhaltung dieser Zuordnungswerte.

Die folgende Tabelle 6.4 zeigt die Kriterien für die Deponierung von Abfall, welcher in einer Mechanisch-Biologischen Behandlungsanlage vorbehandelt wurde.

Tabelle 6.4: Ablagerungskriterien für MBA-Outputs [DepV, 2009 & EC, 2001]

Parameter	Deutschland	EU Deponie Richtlinie	Einheit
Gesamt organischer Kohlenstoff – TOC	≤ 18	/	Gew. %
Atmungsaktivität – AT ₄	< 5	< 10	mg/g TM
Gasbildungspotenzial – GB ₂₁	< 20	/	l/kg TM
Gesamt organischer Kohlenstoff im Eluat (TOC _{eluat})	< 300	< 500	mg/l
Brennwert	≤ 6.000	/	kJ/kg TM

Die Abfallinertisierung führt dazu, dass in den neuen Deponien kein Deponiegas mehr gebildet wird (Abb. 6.14). Die Abfallvorbehandlungsverfahren (Müllverbrennung und Mechanisch-Biologische Behandlung) nutzen den Energiegehalt der zu behandelnden Abfälle zur Stabilisierung. Beides trägt zum Klimaschutz bei. Das Ablagerungsverbot für nicht vorbehandelte Siedlungsabfälle hat entscheidend zur Minderung von Treibhausgasfreisetzungen beigetragen.

Abfalldeponien nach 2005 emittieren fast keine klimarelevante Treibhausgasemission

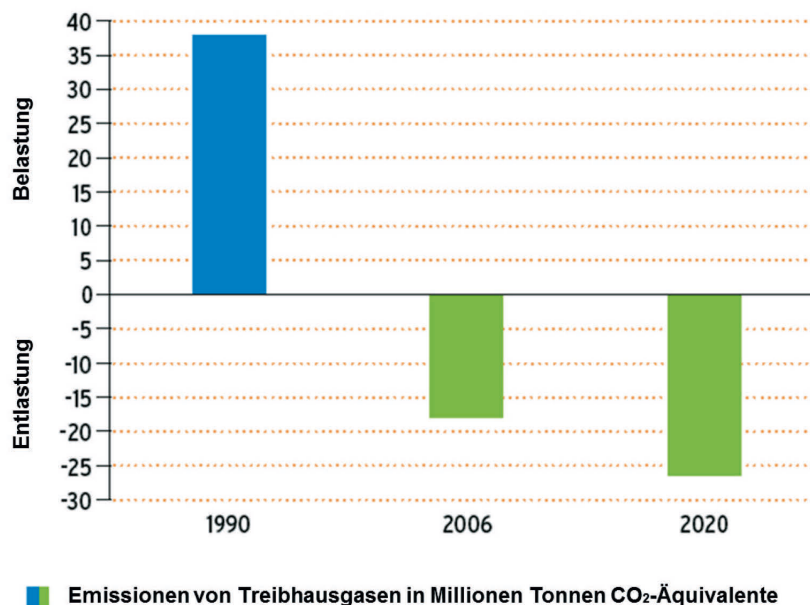


Abb. 6.14: Einfluss der Abfallvorbehandlung auf die Emissionen von Deponien
[IFEU Study, 2010, Ökoinstitut e.V.]

Die Behandlung von Restmüll und gemischten Siedlungsabfällen kann nur in sehr eingeschränktem Maße Abfälle zur stofflichen Verwertung gewinnen. Nur Metalle lassen sich in gut verwertbaren Qualitäten abscheiden. Das schont Rohstoffe, vermindert den Einsatz von Primärenergie und reduziert die Emissionen klimarelevanter Gase.

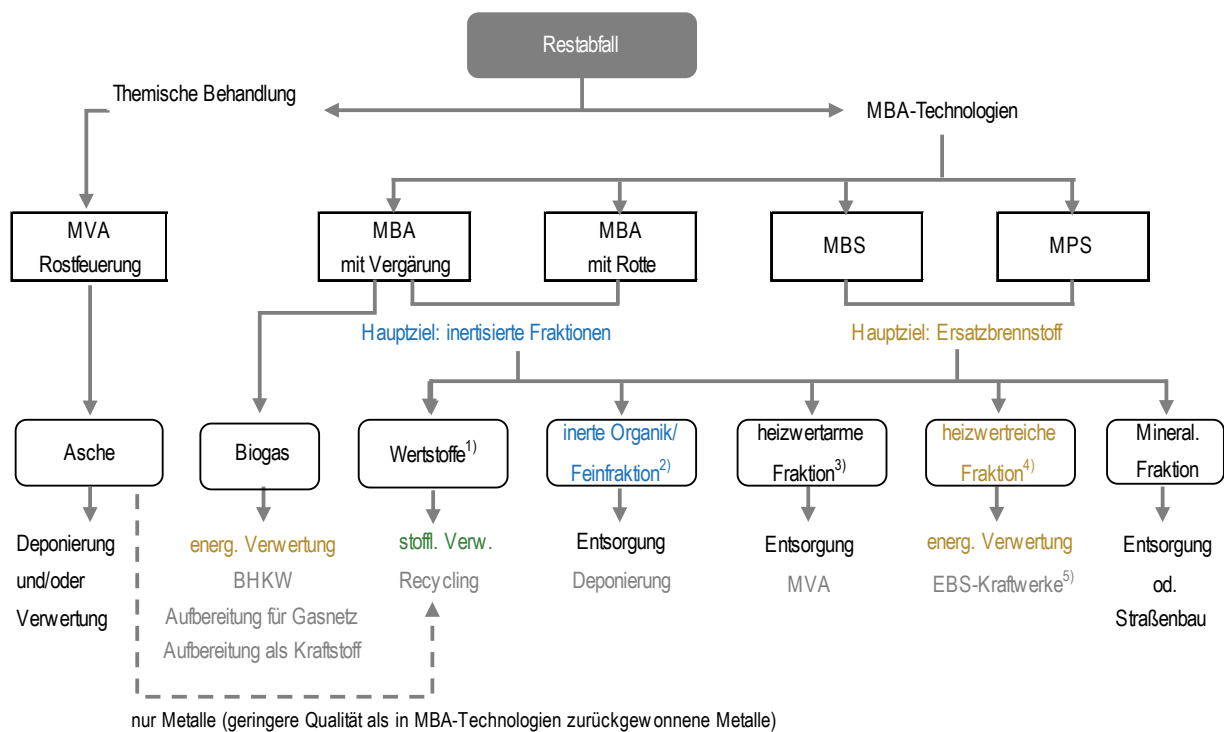
Durch das Erfassen des Deponiegases alter Deponien und deren anschließender energetischer Nutzung wird ebenfalls ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Allerdings lassen sich auch mit modernster Deponietechnik nur maximal 25 % des entstehenden Deponiegases fassen! Deponien mit nicht vorbehandelten (nicht inertisierten bzw. nicht stabilisierten) Abfällen emittieren weiterhin klimarelevantes Deponiegas in großen Mengen!

Die deutsche Abfallwirtschaft konnte in den Jahren 1990 bis 2006 ihre jährlichen Emissionen klimaschädlicher Gase um insgesamt rund 56 Mio. t senken. Das geschah insbesondere durch das Verbot der Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle sowie durch eine verstärkte stoffliche und energetische Nutzung der Abfälle (UBA, 2010). In Deutschland lassen sich die Emissionen aus der Abfallwirtschaft nur noch durch die Effizienzsteigerung der Abfallbehandlungsanlagen und vor allem die stärkere stoffliche Verwertung von Abfallströmen erreichen.

6.2.2 Prozesse und Technologien

Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA) ist ein allgemeiner Begriff für den Zusammenschluss einer Reihe von Abfallbehandlungsprozessen wie Materialrückgewinnung durch mechanische Trennung, Sortierung und Ersatzbrennstoff-Produktion und mindestens einer biologischen Behandlungsstufe. Die MBA gewann an Bedeutung mit dem Inkrafttreten der Europäischen Deponierichtlinie (Richtlinie 99/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfälle) am 16.07.1999 (siehe Kapitel 6.2.1). Zurzeit stehen nur Müllverbrennungs- und MBA-Technologien als Vorbehandlung für gemischte Siedlungsabfälle zur Verfügung.

Das Design und die technischen Konzepte der MBA-Anlagen werden durch das Eingangsmaterial und die Qualität des gewünschten Outputs bestimmt, siehe Bild 6.15. Aus diesem Grund sind Anlagen- und Betriebskonzepte sehr unterschiedlich und schwer zu vergleichen.



¹⁾ Unterschiedlich je nach Anlagekonzeption. Möglich: haupt. Metalle, Plastik (unterschiedliche Fraktionen), evtl. auch Papier und Pappe sowie Glas

²⁾ überwiegend Organik, Anteil unterschiedlich je nach Prozess

^{3,4)} unterscheiden sich in der Qualität. Beide hauptsächlich: Plastik, Papier und Pappe und je nach Prozeß unterschiedliche Anteile getrocknete/abgebaute Organik

⁵⁾ geringere Mengen an Zementindustrie, Kohlekraftwerke, MVA

Abb. 6.15: Konzepte von Restabfallbehandlungsanlagen und deren Outputs

MBA-Anlagen werden in drei Hauptgruppen unterteilt: Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA), Mechanisch-Biologische Stabilisierung (MBS) und Mechanisch-Physikalische Stabilisierung (MPS). Das vereinfachte Layout der drei Gruppen ist in Abbildung 6.16 dargestellt. Die letztgenannte Gruppe wird auch als mechanische Behandlungstechnologie bezeichnet, da es keinen biologischen Schritt gibt. Sie werden jedoch zu den MBA-Technologien gezählt, wenn die Anlage Ersatzbrennstoffe – EBS (oder Sekundärbrennstoffe – SBS) erzeugt.

Die beiden biologischen Verfahren – Kompostierung und Vergärung – wurden im vorigen Kapitel „biologische Behandlung von getrennt gesammelten biogenen Abfällen“ detailliert erklärt. In beiden Fällen ist das Endprodukt bei der Behandlung von Restmüll ein stabilisiertes Material, das sicher in einer Deponie deponiert werden kann. Die aerobe Option ist die am häufigsten verwendete, da sie einfacher zu handhaben ist.

MBA – Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung

MBA ist die häufigste Methode für die stofforientierte Abfallbehandlung von Restmüll und zielt darauf ab, eine stabilisierte Fraktion für die Deponierung zu erzeugen. In diesen MBA-Anlagen wird der zugeführte Abfall in unterschiedliche Stoffströme aufgeteilt: Wertstoffe zum Recycling, Stoffe zur Energierückgewinnung und Stoffe zur weiteren biologischen Behandlung.

In der biologischen Behandlungsphase findet der Abbau von biogenem Material in einer kontrollierten Umgebung innerhalb von wenigen Monaten statt. Die biologische Behandlung in einer MBA-Anlage reduziert daher das Potenzial Deponiegas zu produzieren um mehr als 95 % [Nelles et al., im Druck].

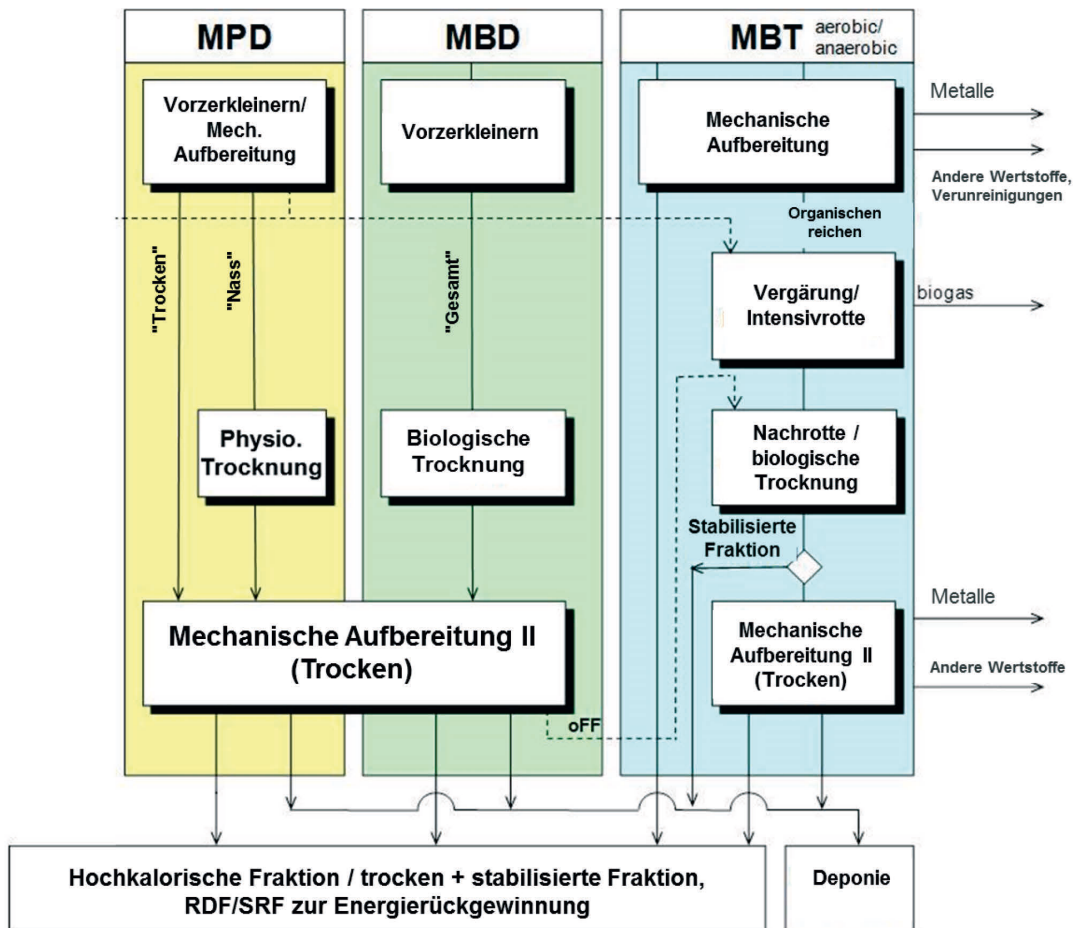


Abb. 6.16: Vereinfachtes Layout der unterschiedlichen MBA-Technologien (MBA = MBT: mechanical-biological Treatment; MBS = MBD: mechanical-biological Drying; MPS = MPD: mechanical-physical Drying [Ketelsen, 2015])

MBS – Mechanisch-Biologische Stabilisierung

MBS-Anlagen sind für die Produktion von EBS optimiert. In MBS-Anlagen wird der Abfall vor der mechanischen Trennung in einem biologischen Trocknungsschritt stabilisiert. Die biologische Trocknung nutzt das Prinzip des aeroben Abbaus (Rotte, Kompostierung), bei der die während der aeroben biologischen Aktivität erzeugte Wärme verwendet wird, um den Abfall zu trocknen. Je nach Prozesskonzept wird entweder die gesamte Abfallmenge oder nur die heizwertreiche, organikhaltige Fraktion biologisch behandelt. Nach einer Konditionierung wird der Abfall der biologischen Trocknung zugeführt, wo primär der Wassergehalt reduziert und gleichzeitig ein geringfügiger Abbau der organischen Substanz erreicht werden soll. Auf diese Weise kann der größte Teil der Biomasse des Abfalls in den EBS aufgenommen werden, was nicht nur die EBS-Menge vergrößert, sondern auch die Mengen an biogenem Material zur Deponierung reduziert [Nelles, 2013 & Nelles et al., im Druck].

In der anschließenden mechanischen Behandlung werden Eisen- und Nichteisenmetalle, inerte Materialien und Verunreinigungen abgetrennt und die hochkalorische Fraktion dadurch qualitativ aufgewertet und kann als Ersatzbrennstoff (EBS) genutzt werden.

MPS – Mechanisch-Physikalische Stabilisierung

Da dieses Anlagenkonzept keinen biologischen Schritt aufweist, wird es nur kurz beschrieben. In der MPS wird der heizwertreiche Anteil des Abfalls durch mechanische und physikalische Prozesse abgetrennt und zu EBS verarbeitet. Die Trocknung des Abfalls erfolgt durch die Zuführung heißer Luft, die aus Verbrennungsprozessen stammt. Die Vorbehandlung umfasst die Trennung der heizwertarmen Fraktion und Metalle und eine mehrstufige Zerkleinerung. Gegebenenfalls werden Sonderfraktionen abgetrennt und die heizwertreiche Fraktion mittels thermischer Energie (Wärme) getrocknet.

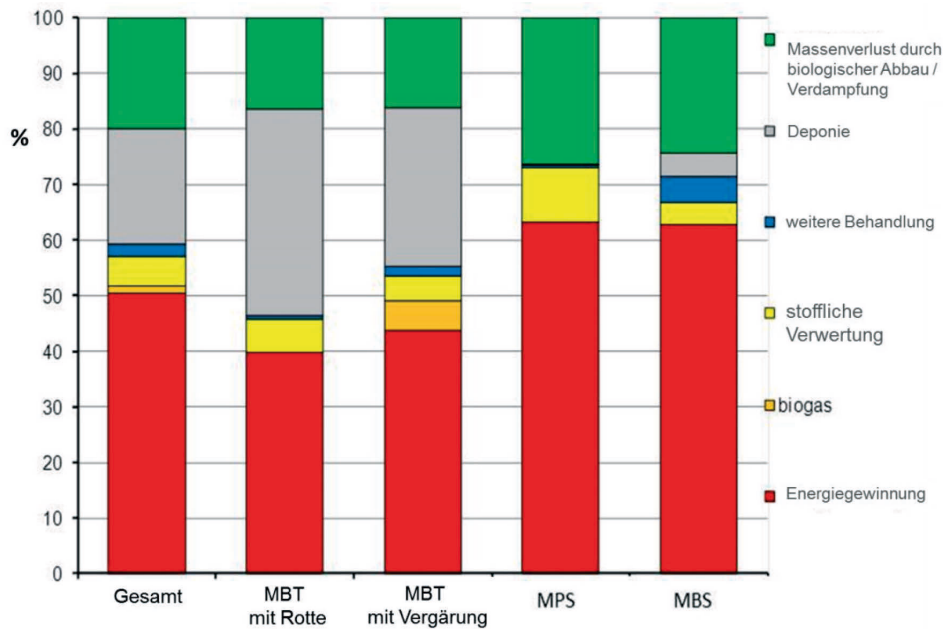


Abb. 6.17: Anteile der Outputfraktionen der unterschiedlichen MBA-Technologien in 2012 [Ketelsen, 2015]

6.2.3 Betrieb der Anlagen

Abbildung 6.11 im Kapitel 6.1.4 zeigte bereits allgemeine Aspekte des Anlagebetriebs, die auch für Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlagen gelten. Im Folgenden werden wichtige Details zum Betrieb von Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungen betrachtet.

PERSONAL: Das benötigte Personal für den Betrieb einer MBA richtet sich nach Art, Größe und Durchsatz der Anlage sowie dem ggf. erforderlichen Schichtbetrieb. Dabei richten sich die Anforderungen an das Personal auch danach, ob es beim mechanischen oder biologischen Teil der Anlage tätig sein wird. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass folgendes Personal mit den jeweiligen Qualifikationen benötigt wird:

- ein Betriebsleiter, der Ingenieur im Bereich Maschinenbau, Elektrotechnik oder einer vergleichbaren Fachrichtung sein sollte und die Verantwortung für die gesamte Anlage trägt,
- ein bis drei Mechaniker/Betriebsschlosser, der/die für die mechanischen Aggregate zuständig ist/sind. Dies beinhaltet Problembehebung, wie z.B. Verstopfungen, aber auch die Wartung,
- ein bis drei Elektriker, der/die zwar kein/e Ingenieur/e sein muss/müssen, aber sehr kompetent in der Problemfindung und -behebung. Die Person/en soll/en sich um die Elektrik im Allgemeinen, Schaltungen sowie Motoren kümmern,
- 15-20 Sortierer (angelernte Kräfte), welche die Qualitätskontrolle bzw. -sicherung (keine aktive Sortierung) durchführen,
- ein Verantwortlicher für den biologischen Prozess (vgl. Kap. 6.1.4),
- evtl. je nach Durchsatz ein bis zwei Fahrer für mobile Geräte (sonst auch Schlosser).

Wie schon im Kapitel 6.1.4 erwähnt, ist die längerfristige Bindung der Betriebsmannschaft ein häufiges Problem im Ausland. Aus Erfahrungen der Projektpartner wechselt die Belegschaft bis zu drei Mal in den ersten fünf Betriebsjahren. Der Hauptgrund ist eine geringe Bezahlung für die angeforderte Qualifikation. Das immer wieder neue Qualifizieren und Einarbeiten von Personal ist zeitaufwendig und kostspielig und sollte vermieden werden.

SCHICHTEN: Um die Betriebssicherheit der Anlage zu gewährleisten, wird als maximale Auslegung ein Zwei-Schichtbetrieb an 6 Tagen in der Woche empfohlen. Pro Schicht sollten ein Mechaniker/Betriebsschlosser sowie ein Elektriker vor Ort sein.

Des Weiteren sollte eine Reinigungsschicht pro Woche (entweder 8 Stunden in einer Schicht oder 4 Stunden in 2 Schichten) erfolgen. Von einem Drei-Schicht-Betrieb wird abgeraten, da sonst Verzögerungen aufgrund von Störfällen, Wartungen und/oder Reinigung nicht oder schwer mit Sonderschichten nachgeholt werden können.

INBETRIEBNAHME und PROBEBETRIEB: Nach dem Bau der Anlage findet zunächst die Inbetriebnahme statt. Bei der sogenannten „kalten Inbetriebnahme“ wird die Funktionstüchtigkeit der Anlage geprüft. Dabei wird noch kein Material aufgetragen, sondern es wird geprüft, ob alles in der Anlage funktioniert. Danach folgt die sog. „warme Inbetriebnahme“, bei der die Anlage mind. vier Wochen stabil laufen soll und verschiedene Durchsatz- und Qualitätstests durchgeführt

werden. Erst dann folgt der Probetrieb für ca. drei Monate, bei dem die Belegschaft alleine den Betrieb erprobt. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass nach dieser Zeit oft eine Nachschulung nötig ist. Es ist daher empfehlenswert, einen Service-Vertrag mit Nachbetreuung durch den Anlagenerrichter in Betracht zu ziehen.

DOKUMENTATION: Die genaue und detaillierte Dokumentation der Anlage ist für den späteren Betrieb sehr wichtig. Diese sollte nicht die ursprüngliche Planung sondern die tatsächlich ausgeführte Konstruktion („as-built“) berücksichtigen, damit auch nachträglich eingebaute Komponenten (Lampen, Schalter, Pumpen, etc.) dokumentiert sind.

VERSCHLEIß/WARTUNG: Auch beim Verschleiß und bei der Wartung spielt die gewählte Technologie eine entscheidende Rolle. Während Anlagenteile wie Förderbänder oder die Lüftungssysteme vernachlässigbar wenig Verschleiß aufzeigen, sind Shredder die wartungsintensivsten Aggregate. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Messer alle 4-6 Wochen ausgetauscht werden müssen, was sich auf die Kosten auswirkt. Eine Möglichkeit, die Wartungsarbeiten und -kosten geringer zu halten, ist die Fraktion, die geshreddert werden soll, klein zu halten.

MOBILE GERÄTE: Beim Betrieb einer MBA sind, zusätzlich zu der Anlage selbst, mobile Geräte (Stapler, Radlader, LKW, Container, evtl. Scherenhubbühnen, etc.) im Einsatz. Bei der Planung der Anlage sollte genügend Platz für das Agieren dieser Geräte eingeplant werden.

VERBRAUCH: Der Betriebsmittelverbrauch der MBA variiert stark und hängt sowohl vom Behandlungsprozess selbst als auch von der Prozess-Tiefe ab. So haben die unterschiedlichen Aggregate einen unterschiedlichen Verbrauch. Besonders stromintensiv sind beispielsweise Shredder sowie die Kompressoren der Nahinfrarotspektroskopie (NIR)-Trenntechnik.

In einer Untersuchung in Deutschland im Jahr 2012 [Ketelsen, 2015] zeigte sich, dass Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlagen mit Fermentation und Anlagen mit biologischer bzw. physikalischer Trocknung im Mittel etwa 20-30 kWh/t Input mehr Strom als MBA mit Rotteprozess verbrauchen. Dabei zeichnete sich allerdings eine hohe Bandbreite des spezifischen Stromverbrauchs innerhalb jeder Anlagengruppe ab, wie aus Abb. 6.18 zu entnehmen ist. Aus diesem Grund werden Energiemanagementsysteme sowie Prozesse zur Optimierung implementiert, um den spezifischen Stromverbrauch weiter zu reduzieren. Zum Vergleich: der spezifische Stromverbrauch von Müllverbrennungsanlagen liegt bei ca. 100-120 kWh/t Input.

In der gleichen Untersuchung wurde auch der spezifische Gasverbrauch von MBA und MBS ermittelt. Durchschnittlich betrug dieser 40 kWh/t (= 4 m³ Erdgas). Allerdings zeigte sich hier ebenfalls eine Bandbreite der Werte innerhalb jeder Anlagengruppe wie Abb. 6.19 zeigt.

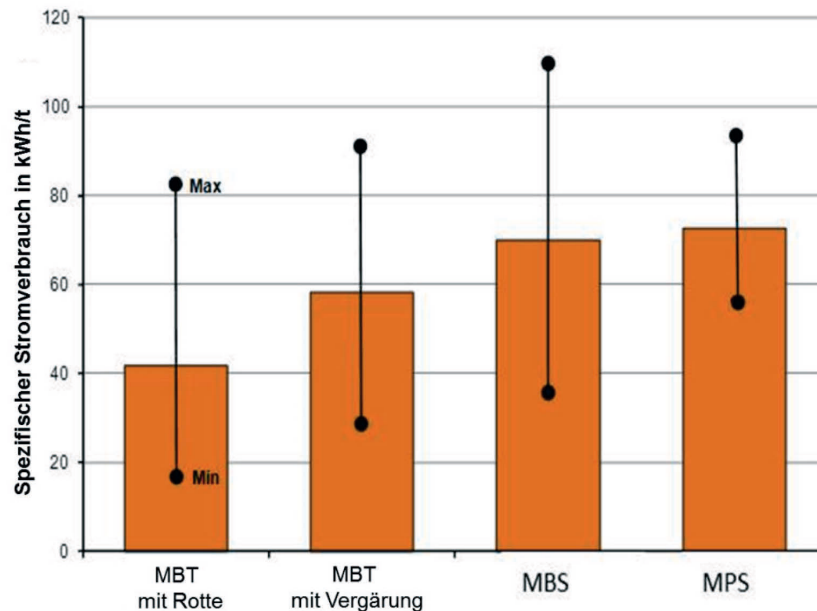


Abb. 6.18: Spezifischer Stromverbrauch der untersuchten MBA-Anlagen 2012 [Ketelsen, 2015]

Diese Unterschiede ergeben sich aus unterschiedlichen Konzepten für die Abluftbehandlung (Abspaltung von Abluft zur Regenerativen Thermischen Oxidation (RTO), Biofilter und Staubfilter, organische Abluftbelastung an der RTO) und der Betriebsführung. Der signifikant hohe spezifische Verbrauch von Erdgas in MPS-Anlagen ist auf die thermische Trocknung im Trommeltrockner zurückzuführen.

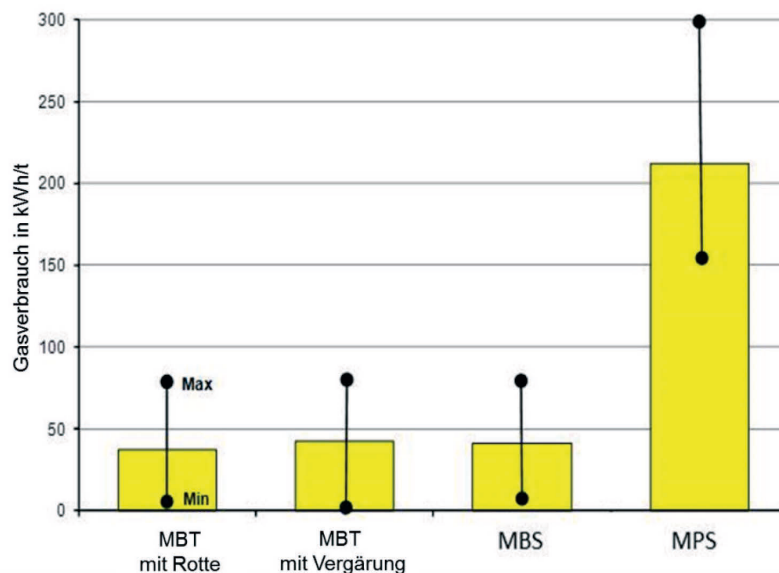


Abb. 6.19: Spezifischer Gasverbrauch der untersuchten MBA-Anlagen in 2012 [Ketelsen, 2015]

Die zusätzliche Energie, die in MBA mit Fermentation benötigt wird, wird hauptsächlich durch die Nutzung des Biogases aus der Fermentation ausgeglichen. Durch die Ausgasung von verbleibendem Biogas im Rotteprozess kann die RTO autotherm laufen.

6.2.4 Ausgewählte Referenzanlagen

Die nachfolgenden Datenblätter stellen einige realisiert Verfahren der MBA vor.

6.2.4.1 MBS-Anlage (biologische Trocknung in Boxen)

Name der Anlage:	A.R.T. Trier – Restmüllbehandlungsanlage		
Art der Anlage:	Mechanisch-Biologische Abfallstabilisierung		
Standort:	Trier, Rheinland-Pfalz, Deutschland		
Anlageneigentümer:	A.R.T. (Zweckverband Abfallwirtschaft Region Trier)	Design	
Anlagenbetreiber:	RegEnt GmbH		
Anlagenhersteller:	Fa. Herhof		
In Betrieb seit:	2007		
Fläche:	15.000m ²	Biologische Behandlung Trocknung	
Abfallart(en):	- 180.000 t/a Restabfälle aus Haushalten und Gewerbe - 40.000 t/a Sperrgutabfälle	Verfahren	Biologische Trocknung in 12 Rotteboxen mit je 600 m ³ Fassungsvermögen
Produkte:	- Metalle - Sekundärbrennstoff (SBS)	Abluftbehandlung	Luftwäscher, Regenerative thermische Oxidation (RTO),
Anzahl Schichten	- Rottetechnik 24/7	Dauer:	10 bis 14 Tage
Stunden/Tag:	- MA: 2 Schichten (Mo.-Fr.)	Anzahl Personal:	12
Investitionskosten:	13.000.000 €		


6.2.4.2 MBA-Anlage (mit Vergärung)

Name der Anlage:		Sortiva Alkmaar	
Art der Anlage:		Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung	
Standort:		Alkmaar, Niederlande	
Anlageneigentümer:	HVC		Design
Anlagenbetreiber:			
Anlagenhersteller:			Mech. Aufberei- tung: <ul style="list-style-type: none"> - Abtrennung von Grobgut und einer Organikfraktion durch Siebklassierung - Windsichtung - Handsortierung für Folien, optional auch Papier - Automatische Klaubesysteme für Folienkunststoffe, Hartkunststoffe sowie FKN und optional Papier - Überbandmagnete und Wirbelstromscheider zur Erzeugung der Metallprodukte
In Betrieb seit:			
Anzahl Schichten			
Abfallart(en):			
Produkte:	<ul style="list-style-type: none"> - Wertstoffvorprodukt zur weiteren Sortierung - Folie - Metalle - EBS - Organikfraktion zur Vergärung 	Biologische Behandlung Vergärung	
	Verfahren	Nassvergärung	

6.2.4.3 MBS-Anlage (biologische Trocknung mit Membranabdeckung)

Name der Anlage:	Wolan Ducka		
Art der Anlage:	Mechanisch-Biologische Abfallstabilisierung		
Standort:	Glinianka, Polen (30km SE von Warschau)		
<pre> graph LR MSW((MSW)) --> Shredder[Shredder <300mm] Shredder --> Screen80[Screen 80mm] Screen80 -- ">80mm" --> MS[Mechanical & Manual Sorting] MS --> Recyclables((Recyclables)) Screen80 -- "<80mm" --> BioDry[Bio-Dry™] BioDry --> Screen20[Screen 20mm] Screen20 -- ">20mm" --> RDF((RDF)) Screen20 -- "<20mm" --> BioStab[Bio-Stab™] BioStab --> Landfill((Landfill)) MS --> Landfill </pre>			
Anlageneigentümer:	P.P.H.U Lekaro	Design	
Anlagenbetreiber:		Mechanische Aufbereitung:	FHF Anlagentechnik GmbH (Horstmann)
Anlagenhersteller:	CONVAERO, FHF (Horstmann) & andere	Biologische Behandlung	CONVAERO Sales & Services GmbH
In Betrieb seit:	2006 (in Phasen)	Biologische Behandlung: Biologische Stabilisierung	
Abfallart(en)	Restabfall, trock. Wertstoffe	Prozess:	Abgedeckte Mieten, belüftet
Anlagenkapazität	86.700 t/a	Dauer:	28 Tage
Fläche	30.000 m ²	Abluftbehandlung:	Durch Membran
Produkte (Outputs):	Wertstoffe, RDF, stabili. Feinfrakton	Biologische Behandlung: Trocknung	
		Prozess:	Rotte mit Membranabdeckung
Anzahl Personal:	200 incl. Müllfahrzeug-fahrer	Dauer:	19 Tage
		Abluftbehandlung	durch Membrane
Anzahl Schichten	2 Arbeitsschichten + 1 Reinigungsschicht	Besonderheiten	Geeignet für Siedlungsabfall und < 80mm Fraktion

6.2.4.4 MBA-Anlage (Rotte)

Name der Anlage:	Zakład Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. in Bolesław		
Art der Anlage:	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung		
Standort:	Bolesław, Provinz Małopolskie		
			
Anlageneigentümer:	Zakład Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. in Bolesław	Design	
Anlagenbetreiber:	Zakład Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. in Bolesław	Mechanischer Prozess	Entworfen von Sutco-Polska Sp. z o.o.
Anlagenhersteller:	Sutco-Polska Sp. z o.o.		
In Betrieb seit:	02.06.2015	Biologische Behandlung : Rotte	
Abfallart(en)	Gemischte Siedlungsabfälle/ getrennt gesammelte Abfälle	Prozess:	Kompostierung im stat. System BIODEGMA Zeilenkompostierung Bodenbelüftung
Anlagenkapazität	Sortieranlage 138 t/d Rotteanlage 21.000 t/a	Dauer	3-4 Wo., mind. 21 Tage
Fläche	Technologie ca. 2300 m ²	Abluftbehandlung	durch Gore-Membran
Produkte:	FE- und nicht Fe-Metalle, Tetrapacks, Pappe, Papier, PET (gemischt oder nach Farben), PE Folien, heizwertreiche Fraktion Glas, PE/PP		
Anzahl Personal:	33 pro Schicht		
Investition	12.995.000,00 PLN netto (technische Komponenten)		

6.2.4.5 MBA-Anlage (Sortierung und Rotte)

Name der Anlage:	Zakład Utylizacji i Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych in Siedliska nahe Elk
Art der Anlage:	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung
Standort:	Siedliska nahe Elk, Provinz Warmińsko-Mazurskie



Anlageneigentümer:	Przedsiębiorstwo Gospodarki Odpadami „Eko–MAZURY” Spółka z o.o.	Design	
Anlagenbetreiber:	Spółka z o.o.	Mechanische Aufbereitung:	Sortier- & Kompostieranlage entworfen von Sutco-Polska Sp. z o.o.
Anlagenhersteller:	Sutco-Polska Sp. z o.o. – Sortier- und Kompostiertechnik		
In Betrieb seit:	28.11.2011	Biologische Behandlung: Kompostierung	
Abfallart(en)	Gemischte Siedlungsabfälle/ getrennt gesammelte Abfälle	Prozess:	Kompostierung: dynam. System BIOFIX Bodenbelüftung
Anlagenkapazität:	Sortieranlage 280 t/d Kompostieranlage 21.000 t/a	Dauer:	4 Wochen
Fläche:	Technologie ca. 4.000 m ²	Abluftbehandlung	Biofilter
Anzahl Personal:	45 pro Schicht	Produkte:	Fe- und nicht Fe-Metalle, Glas, Pappe, Papier, PET (grün, blau, weiß) Folien (gemischt, durchsichtig, weiß), heizwertreiche Fraktion
Anzahl Schichten:	2 Schichtsystem 13 h/Tag		
Investitionskosten:	57 040 795,82 PLN netto Preis der Industrieanlage		

7. Lösungsansätze zur Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung der biogenen Abfälle in China

Bei der Erarbeitung einer Strategie für die Abfallwirtschaft sollte berücksichtigt werden, dass dies nicht nur die Auswahl einer technischen Lösung darstellt. Die Entwicklung eines Abfallwirtschaftssystems muss viele andere mit der Technologie verbundene Aspekte berücksichtigen. Ein solches System muss die Administration und Verwaltung, die Gesetzgebung, finanzielle Aspekte, die Überwachung und die Technologie als Kernelement des Gesamtsystems betrachten. Ferner müssen alle beteiligten Akteure berücksichtigt werden: Abfallerzeuger, aber auch der informelle Sektor und das Personal der Abfallbewirtschaftung usw. Abbildung 7.1 zeigt die Aspekte und Beteiligten, die in einem Abfallmanagementsystem zu berücksichtigen sind.

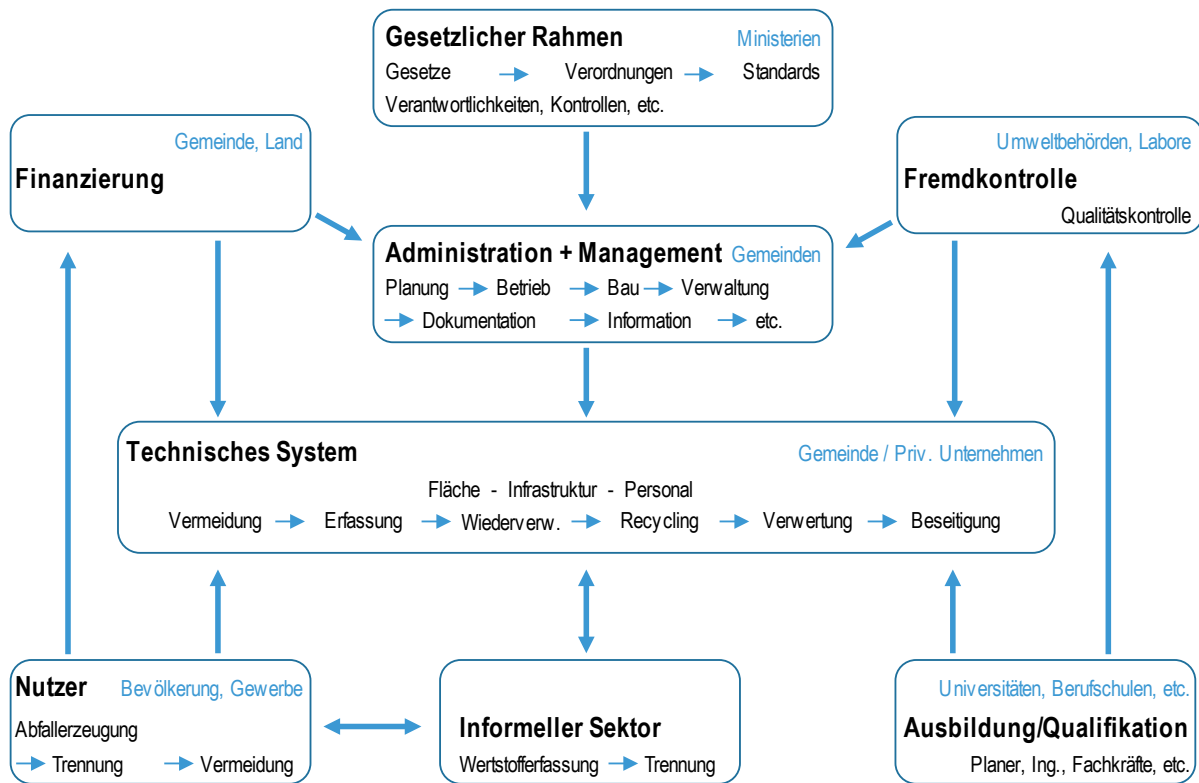


Abb. 7.1: Zu berücksichtigende Aspekte und Akteure in einem Abfallwirtschaftssystem

Die Gesetzgebung ist ein wichtiges Element in der Abfallwirtschaft. Die verschiedenen Gesetze, Verordnungen und Standards sind für die Festlegung und Regelung von Verantwortlichkeiten, Zeitrahmen, Grenzwerten, Produktqualität usw. unerlässlich. Die Gesetzgebung sollte auch präzisieren, welche Schritte bei Nichtbeachtung einer Vorschrift zu ergreifen sind. Fehlende Vorschriften könnten eine nicht funktionierende Strategie zur Folge haben. Meist sind die Ministerien für die Umsetzung des Rechtssystems zuständig.

In Deutschland sind die Gemeinden für die Abfallbewirtschaftung vor Ort zuständig. Dies bedeutet nicht nur den Abfall zu sammeln und zu behandeln, sondern beinhaltet vielmehr die Entwicklung eines Abfallplans für ihre Gebiete, die Planung, den Bau und den Betrieb von Behandlungs-

und Entsorgungsanlagen, die Dokumentation der damit zusammenhängenden Daten sowie die Information der Öffentlichkeit und nicht zuletzt die Verwaltung all dieser Aufgaben. Diese Pflichten sind stark mit dem technischen Abfallsystem verknüpft.

Das technische System umfasst alle Abfallbereiche: von der Vermeidung bis zur Entsorgung. Oft sind die Kommunen für die Administration und die Verwaltung der abfallwirtschaftlichen Aktivitäten verantwortlich, können sich aber Dritter (Privatunternehmen) bedienen, um einige ihrer Aufgaben zu erfüllen. Beispielsweise können private Unternehmen die Sammlung durchführen oder eine Abfallbehandlungsanlage betreiben.

Die Qualifikation und Ausbildung des Personals ist ein selten berücksichtigter Aspekt in der Abfallwirtschaft, der aber von großer Bedeutung ist. Fehlendes Wissen könnte in Fehlplanungen, falschen Entscheidungen oder unsachgemäßem Betrieb von Anlagen enden und zu schweren Umweltschäden sowie hohen Kosten zur Behebung der verursachten Schäden führen. Hier wäre es von Vorteil, wenn Universitäten mit entsprechenden Fachrichtungen, aber auch andere Ausbildungsstätten wie z.B. Berufsschulen, Abfallwirtschaftsthemen in die Lehrpläne für Ingenieure, Elektriker und andere Arbeiter, die in der Abfallwirtschaft benötigt werden, aufnehmen würden.

Zwei involvierte Interessengruppen sind für die Entwicklung und Umsetzung einer integrierten Abfallwirtschaftsstrategie besonders wichtig.

Zuerst die Nutzer: sie sind die Abfallerzeuger, aber auch die Hauptakteure bei der Abfalltrennung und -vermeidung. Es ist entscheidend, Öffentlichkeitsarbeit zu betreiben, um die Beteiligung der Bevölkerung zu gewinnen. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass Öffentlichkeitsarbeit keine einmalige Aktion, sondern eine kontinuierliche Aufgabe ist, die viel Arbeitsaufwand erfordert.

Die zweite beteiligte Akteursgruppe ist der informelle Sektor, der in vielen Ländern sehr gute Abfalltrenn- und Recyclingquoten erreicht, was bedeutend zum Ressourcen- und Klimaschutz beiträgt. Dieses wird jedoch selten anerkannt und dokumentiert. Bei der Verbesserung eines Abfallwirtschaftssystems sollte der informelle Sektor berücksichtigt werden, damit die Menschen, die in diesem Sektor arbeiten, ihr Einkommen nicht verlieren und die bisher durch sie erreichte Wertstoffausschleusung erhalten bleibt.

Darüber hinaus sollten die Finanz- und Überwachungsaspekte nicht vergessen werden. Ein Abfallmanagementsystem, das Sammlung, Betrieb, Ausrüstung, Anlagenbau usw. umfasst, ist kostspielig. In Deutschland zahlen Bevölkerung, Handel und Industrie für diese Dienstleistungen. Die Einführung eines Gebührensystems ist jedoch eine schwierige Angelegenheit, da die Bevölkerung die Notwendigkeit verstehen muss, für einen Dienst zu zahlen, der zuvor kostenlos oder billig war. Daher sollte bei der Einführung eines neuen Finanzierungssystems eine Verbesserung dieses Dienstes erreicht bzw. angestrebt werden. Die Überwachung in der Abfallwirtschaft ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die bestehenden Vorschriften eingehalten werden und somit die Abfallwirtschaft zum Ressourcen- und Klimaschutz beiträgt, anstatt die Umwelt weiter zu schädigen.

Die Abbildungen 7.2 und 7.3 fassen zusammen, welche der erläuterten Aspekte in einer weiterentwickelten Abfallwirtschaftsstrategie für China berücksichtigt werden sollten. Der rechtliche Rahmen in China wurde in Kapitel 3 beschrieben. Es gibt bereits zahlreiche Rechtsvorschriften in Bezug auf die Abfallwirtschaft, die von grundlegenden Gesetzen und Verordnungen bis Dokumenten, Standards und Spezifikationen reichen. Die Rechtsvorschriften berücksichtigen die Erzeugung, Sammlung und den Transport von Siedlungsabfällen, die Behandlung unsortierter Siedlungsabfälle, einschließlich Deponierung, Verbrennung und Kompostierung sowie die Mitverbrennung in Zementwerken. Die getrennte Sammlung von Abfällen ist nur für Restaurantabfälle geregelt, wird aber im 13. Fünf-Jahres-Plan auch für andere Abfallkategorien gefördert.

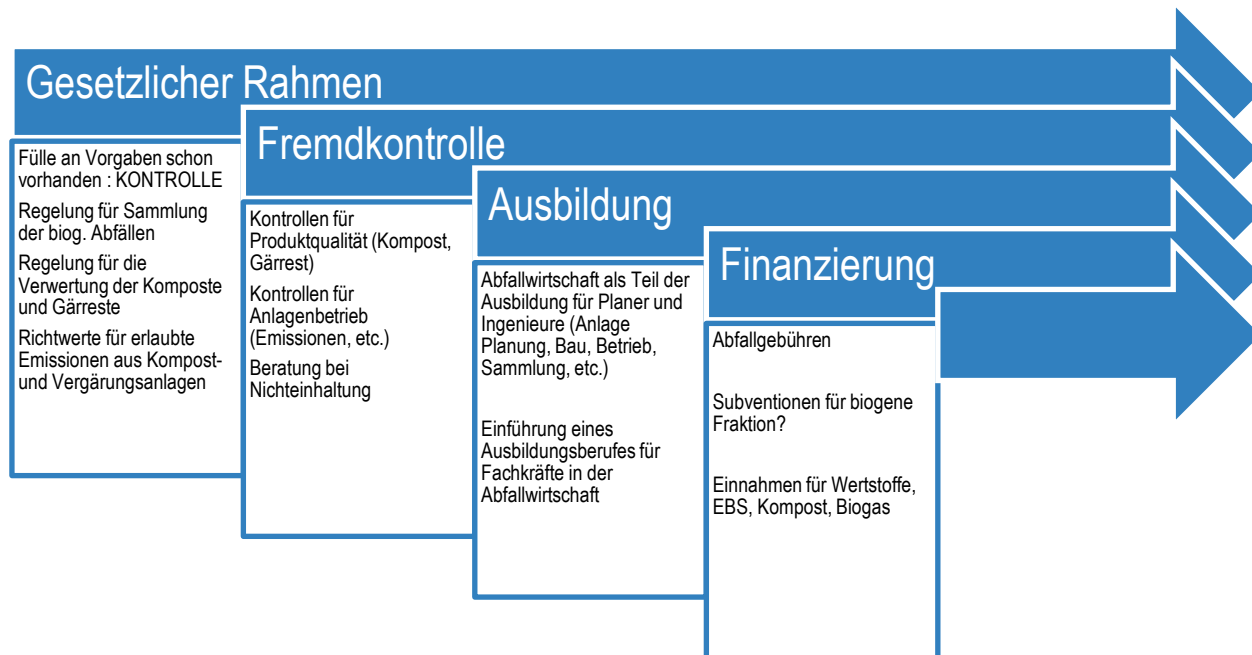


Abb. 7.2: Allgemeine Aspekte zur Berücksichtigung bei einer Abfallwirtschaftsstrategie für China

Die getrennte Sammlung, das Deponieverbot für unbehandelte Abfälle sowie eine energieeffiziente Abfallverwertung bildeten die Grundlage für eine nachhaltige Abfallwirtschaft in Deutschland und Europa. Dabei hat jedes Land seinen eigenen Weg gefunden, eine nachhaltige Abfallwirtschaft umzusetzen. Aber die Abfalltrennung ist immer ein wichtiger Teil davon, da sie u.a. die Kosten für die Deponierung senkt.

Sollte eine ähnliche Strategie in China verfolgt werden, müsste der Rechtsrahmen erweitert und die Kontrolle der bestehenden sowie neuen Regelungen verstärkt werden. Für die getrennte Sammlung der biogenen Fraktion von Siedlungsabfällen gibt es keine Richtlinien, so wie auch nicht für die Behandlung dieser Fraktion und ihrer Produkte. Auch Grenzwerte für Emissionen aus Behandlungsanlagen für biogene Abfälle sollten festgelegt werden. Die VR China ist gegenwärtig dabei, viele dieser Grundlagen zu schaffen.

Nach den Erfahrungen der an diesem Projekt beteiligten deutschen Unternehmen ist es schwierig, Fachkräfte für Abfallbehandlungsanlagen zu finden. Daher sollte eine neue berufliche Ausbildung in Abfallwirtschaft eingeführt oder verbessert werden.

Derzeit wird die Abfallwirtschaft in China durch das nationale Investitions- und Förderprogramm finanziert (siehe Kapitel 4.1). Dieses berücksichtigt jedoch nur den Bau der Infrastruktur, nicht aber die Betriebsführung und deren Kosten. Daher sollten für einen ordnungsgemäßen Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen die Einführung eines Gebührensystems, Subventionen für biogene Abfälle und mögliche Einnahmen aus Produkten aus der Abfallbehandlung in Erwägung gezogen werden.

Bei der Betrachtung der technischen Aspekte in der Abfallbewirtschaftungsstrategie sollte die Vermeidung eine wichtige Rolle spielen. Abfallvermeidung ist immer eine herausfordernde Aufgabe, aber die effektivste Methode, um umwelterhaltende Wirkungen zu erzielen. Wenn man den biogenen Abfallstrom in Siedlungsabfällen betrachtet, ist die Einführung einer getrennten Sammlung unentbehrlich, um wirklich zum Ressourcen- und Klimaschutz beizutragen. Nur getrennt gesammelt und behandelt, können biogene Abfälle zu hochwertigen Produkten umgewandelt werden.

Was den unvermeidbaren Mischabfallstrom betrifft, so kann die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA) als Ergänzungsbehandlung vor der Verbrennung berücksichtigt werden. Eine MBA kann die Eigenschaften dieses Abfallstroms verbessern: durch Verringerung des Volumens und der Emissionen, der Erhöhung des Heizwertes und der Rückgewinnung verwertbarer Abfälle. Abfallbehandlungstechnologien sollen auch für Groß-, Mittel- oder Kleinstädte oder Kreise geeignet sein.

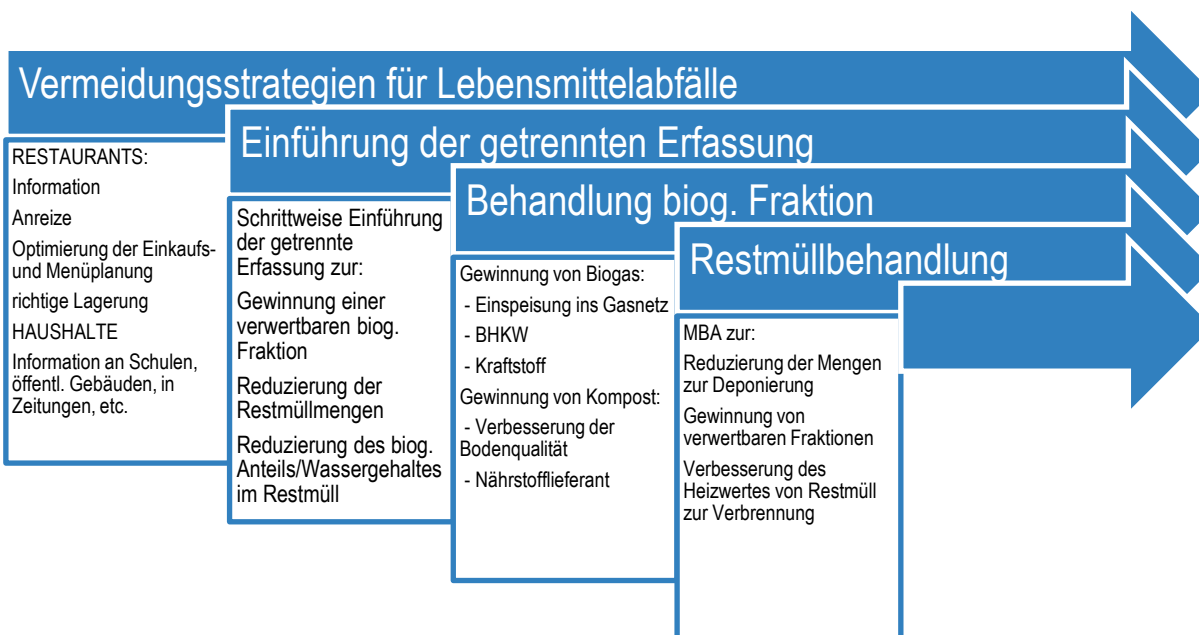


Abb. 7.3: Wichtige technische Aspekte in einer Abfallwirtschaftsstrategie für China

Die technischen Lösungen für die beiden Fraktionen – die saubere getrennt gesammelte biogene Fraktion und die Mischfraktion (Restmüll), die biogenen Abfall enthält – werden in den folgenden Kapiteln ausführlich behandelt und in Abbildung 7.4 dargestellt.

7.1 Biogene Abfälle aus der getrennten Sammlung

7.1.1 Gesetze, Regulierungen, Verwaltung und Kontrolle

Wenn eine getrennte Sammlung von biogenen Abfällen eingeführt werden soll, kann dieses schrittweise durchgeführt werden. Fehler und Probleme, die sich anfänglich einstellen, lassen sich im Verlauf der Ausweitung der getrennten Sammlung vermeiden. Neue Verfahren sind oftmals fehlerbehaftet und müssen immer wieder überarbeitet werden. In Deutschland wird seit 25 Jahren Bioabfall getrennt gesammelt, behandelt und verwertet und immer wieder sind Anpassungen nötig.

Die Sammlung, Behandlungsverfahren und die Verwertung der Komposte und Gärreste müssen gesetzlich geregelt werden. Die VR China ist hier auf einem guten Weg.

Für die getrennte Sammlung sind Sammelbehälter erforderlich, für welche die Wohnungseigentümer Stellplätze bereitstellen müssen. Entsprechende Regelungen und Gespräche mit den Eigentümern und Nutzern der Wohnungen sind dazu nötig.

Der Transport der Bioabfälle sollte in Fahrzeugen erfolgen, die nicht auch für andere Abfälle verwendet werden. Nur so ist eine Verunreinigung mit anderen Abfällen zu vermeiden.

Die Errichtung und der Betrieb der Behandlungsanlagen müssen geregelt werden. Richtwerte für erlaubte Emissionen sollten festgelegt werden (z.B. Lärm, Staub, Gerüche, Flüssigkeiten wie Sickerwasser, verunreinigtes Wasser von Anlagenflächen). Dadurch werden Beeinflussungen der Umwelt und der Anwohner minimiert. Ausreichende Abstandsregeln von Anlagen zu bewohnten Gebieten reduzieren Konflikte mit Anwohnern. Geregelt werden sollten u.a. Betriebsflächenabdichtungen, Einhausungen für Sortier- und Behandlungsaggregate und die Abluftreinigung.

Die VR China arbeitet an Regelungen, welche die Qualität der Komposte und Gärreste betreffen. Diese werden Schadstoff- und Störstoffkonzentrationen und Mengenbeschränkungen für die Ausbringung festlegen. Standort- und nutzungsbezogene Regelungen sollten diese „Bioabfall-Verordnung“ ergänzen. Eventuell sind Grenzen für Maximalkonzentrationen im Boden vorzusehen. Neben den Festlegungen von maximalen Schadstoff- und Störstoffkonzentrationen und -frachten, sollte Ähnliches auch für Nährstoffe erwogen werden.

Sehr wichtig ist die Einbindung der potenziellen Nutzer der Komposte und Gärreste. Nur wenn die Landwirte und Gärtner diese als nützlich und finanziell attraktiv erkennen, wird sich die Nutzung durchsetzen können. Eventuell muss der Staat die Landwirte und Gärtner mit Einsatzempfehlungen für bestimmte Kulturen, Böden und Anbaubedingungen unterstützen.

Wichtig wird dabei die Zusammenarbeit von Abfall- und Landwirtschaftsbehörden sein. Die Herstellung und Nutzung der Komposte und Gärreste betrifft beide Bereiche. Zuständigkeitsbereiche von Behörden und rechtlichen Regelungen müssen ebenfalls geklärt werden. Dies ist für eine effiziente und möglichst lückenlose Verwaltung und Kontrolle der Herstellung und Nutzung der Komposte und Gärreste sehr wichtig. Verwaltung und Kontrolle schließt auch die Beratung ein und bei Verstößen auch Sanktionen.

Die Einführung der getrennten Bioabfallsammlung kann durch ein Verbot der Deponierung nicht vorbehandelter Siedlungsabfälle unterstützt werden. Die Bioabfallsammlung reduziert den biogenen Anteil im Hausmüll (Restmüll). Dieser ist dann oftmals besser für die Vorbehandlungsverfahren geeignet.

7.1.2 Erfassung, Sammlung und Transport

Eine getrennte Sammlung der biogenen Abfallfraktionen ist eine Voraussetzung für ihr hochwertiges Recycling. Kapitel 5.3 beschreibt die Situation der Abfallsammlung in China. Obwohl einige Pilotstädte die getrennte Sammlung, vor allem für Restaurantabfälle eingeführt haben, sind die Mengen sehr gering im Vergleich zu den insgesamt erzeugten Abfallmengen. Um die Umweltauswirkungen aus dem Abfallwirtschaftssektor zu minimieren sowie um ein hochwertiges Recycling zu ermöglichen, sollte daher die getrennte Sammlung von biogenen Abfällen aus dem Hausmüll berücksichtigt werden.

Abbildung 7.4 zeigt die möglichen Lösungen für die Umsetzung der getrennten Sammlung der biogenen Abfallfraktion. In Institutionen wie Restaurants, Kantinen, Supermärkten, in der Lebensmittelindustrie usw., wo große Mengen an biogenen Abfällen zentral entstehen, ist eine getrennte Sammlung logistisch möglich und bereits auf dem Weg, zumal diese Abfälle bereits in der Vergangenheit getrennt gesammelt wurden (als Tierfutter). Die herkömmliche Sammlung im Holsystem (Sammlung am Erzeugungspunkt) in Abfallbehältern könnte mit der Dehydrierung des Abfalls kombiniert werden, um das Volumen zu reduzieren.

Die größte Herausforderung ist die Einführung einer getrennten Sammlung der biogenen Fraktion aus Haushalten. Dieser Abfall wird regelmäßig/täglich produziert, jedoch in relativ geringen Mengen (pro Haushalt) und kann nicht lange gelagert werden. Für die getrennte Sammlung dieser Fraktion ist die herkömmliche Sammlung im Holsystem, aber auch durch ein Bringsystem möglich.

In städtischen, dicht besiedelten Gebieten könnten alternative vertikale Systeme für Hochhäuser gefunden und weiterentwickelt werden. Das konventionelle Holsystem in diesen Gebäuden, in dem die Bewohner ihre Abfälle zu einem großen Container bringen, meist im Keller platziert, ist möglich. Aber Erfahrungen in Europa zeigen, dass Verunreinigungen durch Fehlwürfe in solchen Systemen hoch sind.

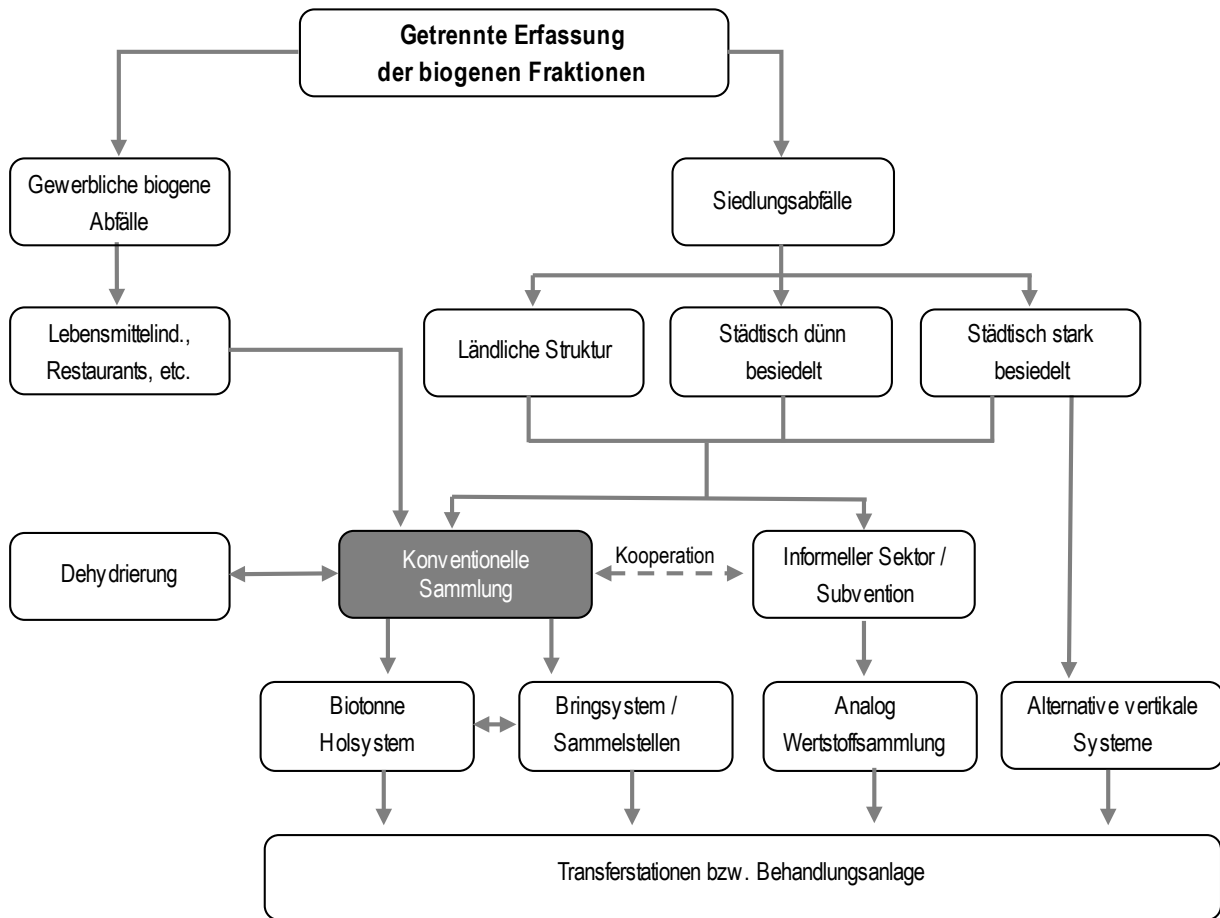


Abb. 7.4: Strategie zur getrennten biogenen Abfallsammlung in China

Die erfolgreiche Trennung von biogenen Abfällen hängt eher von der optimalen Gestaltung der Rahmenbedingungen entsprechend den Entsorgungsbedürfnissen der Bewohner ab als von expliziten Zielen. Hinsichtlich der gesammelten Mengen ist das Behältervolumen von entscheidender Bedeutung. Eine Analyse der vorhandenen Entsorgungsgebiete in Deutschland ergab, dass die Menge an gesammeltem Bioabfall mit der bereitgestellten Containergröße anstieg (UBA, 2014).

Dieser Aspekt ist vor allem in städtischen, dicht bevölkerten Gebieten von Bedeutung, wo die Sammlung in Hochhäusern stattfindet und der Platz rar ist. Tabelle 7.1 zeigt die berechneten Kapazitäten und die Anzahl an Mülltonnen für die Bereitstellung des erforderlichen Volumens. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass genügend Volumen für den Restmüll bereitgestellt werden muss, um Fehlwürfe zu vermeiden.

Aufgrund des geringen Anteils an Wertstoffen im Abfall, könnte die getrennte Sammlung der biogenen Fraktion als „nass-trockenes“ Sammelsystem durchgeführt werden. Die Bewohner könnten es logischer finden, ihre Abfälle in den Kategorien „nass-trocken“ als in „biologisch abbaubar – Rest“ zu sortieren.

Tabelle 7.1: Berechnete Kapazitäten und Behälterzahl zur Bereitstellung des nötigen Volumens

Organische Abfälle getrennte Sammlung von großen Gebäuden

	Täglich					alle 2 Tage					
Einwohnerzahl	1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000	Person
Abfallmenge pro Tag	1.0										kg / EW / d
Abfallmenge pro Sammelzeitraum	1000	2000	3000	4000	5000	2000	4000	6000	8000	10000	kg
Bioabfälle	60%										
Gesamter Bioabfall	600	1200	1800	2400	3000	1200	2400	3600	4800	6000	kg
Gesammelte Bioabfälle	30%										
	180	360	540	720	900	360	720	1080	1440	1800	kg
Schüttdichte	0.5										kg/l
Gesamtvolumen	360	720	1080	1440	1800	720	1440	2160	2880	3600	l
Größe des Abfallbehälters	240										l
Anzahl der Behälter	1.9	3.8	5.6	7.5	9.4	3.8	7.5	11.3	15.0	18.8	Behälter
	2	4	6	8	10	4	8	12	16	19	
Größe des Abfallbehälters	660										l
Anzahl der Behälter	0.7	1.4	2.0	2.7	3.4	1.4	2.7	4.1	5.5	6.8	Behälter
	1	2	3	3	4	2	3	5	6	7	

Ein Sammelsystem, das an einem Standort erfolgreich ist, kann nicht ohne Weiteres an einen anderen Ort übertragen werden, ohne die Unterschiede in der Struktur der Standorte zu identifizieren, zu untersuchen und zu berücksichtigen. Dennoch, werden im Folgenden die in einer Studie (BIPRO, 2015) präsentierten Erfahrungen, welche die getrennte Sammlung in Europa vergleicht, zusammengefasst, da sie in gewissem Umfang auf China anwendbar sein könnten.

- Länder haben die obligatorische getrennte Sammlung eingeführt, um ein hohes Abfallrecyclingniveau zu erreichen; MBA kann dazu beitragen, die Ziele der Deponierichtlinie zu erreichen, dies reicht aber allein nicht aus, um das 50 % Recyclingziel zu erreichen.
- Länder mit hohen Kompostierungs-/Vergärungsraten haben in den meisten Fällen eine separate haushaltsnahe Sammlung von Bioabfällen aufgebaut. Die Sammelkosten durch das zusätzliche Holsystem sind möglicherweise höher.
- Das Gebührensystem in Verbindung mit den kommunalen Vorschriften, die den Mindeststandard für die Sammlung festlegen, ist der primäre Erfolgsfaktor für die Sammlung von Bioabfällen.
- Mehrere legislative Instrumente (Deponie- und Verbrennungsverbote) haben einen deutlichen Einfluss auf die Sammlung von Bioabfällen.

- Die Einbeziehung des privaten Sektors in die Erfassung und Behandlung kann dazu beitragen, die Kosten und den Verwaltungsaufwand zu senken. Sollte der private Sektor involviert werden, sollten Minimum-Standards für die Sammlung und Behandlung festgelegt sowie ein robustes Berichtssystem über die Sammlung und Behandlung von Abfällen erstellt werden.
- Einige Entsorgungsträger haben ein auf Restmüll basierendes PAYT-Gebührensysteem (PAYT – Pay as You Throw), das die Sammlung von getrennt gesammelten biogenen Abfällen querfinanziert.
- Es gibt eine Korrelation zwischen der Art der angewandten Gebühren (PAYT, Pauschaltarif oder kommunale Gebühren) und der Sammelquote: Städte, die PAYT implementieren haben bessere Quoten als andere Städte. Die schlechtesten Quoten werden in Städten mit Pauschaltarif erzielt.
- Die Kommunikation mit den Haushalten darüber, was und was nicht in jedem Abfallbehälter entsorgt werden kann, ist sehr klar. Gut informierte Bürger sind entscheidend, um Verunreinigungen zu reduzieren und die Gewinnung eines hochwertigen, recyclebaren Materials zu erzielen.

In PAYT-Gebührensysteemen wird die Gebührenhöhe der Haushalte nach deren erzeugter Abfallmenge berechnet. Einige der PAYT-Systeme beinhalten eine Kombination von Pauschaltarifen oder Steuern (z.B. bestimmter jährlicher Betrag) und ein variables Element, das mit Behältergrößen (Volumen basiertes Schema), Anzahl der Säcke (Sack-basiertes Schema), Abholrhythmus (Frequenz), gesammelte Menge (Gewichts basiertes Schema) oder eine Kombination dieser Elemente. PAYT-Systeme werden üblicherweise für gemischten Restabfall verwendet. Es ist dabei beabsichtigt, dass die getrennte Sammlung von Bioabfällen (teilweise oder vollständig) durch eine höhere Gebühr für Restmüll mitfinanziert wird.

7.1.3 Mechanische Aufbereitung

Mechanische Prozesse bereiten den Input für den biologischen Prozess auf und unterstützen ihn so. Abschließend konditionieren mechanische Prozesse die Produkte der biologischen Umwandlung, so dass sie vermarktbar werden.

Auch getrennt gesammelte Abfallfraktionen enthalten Materialien, die nicht zur jeweiligen Abfallfraktion gehören. Diese fremden Materialien werden als Stör- oder Fremdstoffe bezeichnet. Wenn Stör- oder Fremdstoffe Substanzen freisetzen oder direkt auf den biologischen Prozess einwirken, kann dieser gestört oder gehemmt werden. In den Stör- und Fremdstoffen enthaltene Metallionen können u.U. während der biologischen Behandlung in das Produkt übergehen, dessen Qualität verschlechtern und die Vermarktung einschränken. Stör- und Fremdstoffe können Geräte beschädigen oder gar zerstören. Wenn Stör- und Fremdstoffe im Kompost oder Gärrest verbleiben, sind die Produkte nicht vermarktbar, da die Stör- und Fremdstoffe auf landwirtschaftliche Nutzflächen gelangen würden.

Stör- und Fremdstoffe in getrennt gesammelten Bioabfällen sind andere Abfälle, die fälschlicherweise (oder absichtlich) in die Bioabfallsammelbehälter geworfen wurden (Fehlwürfe). Stör- und

Fremdstoffe sind häufig Glas- und Metallverpackungen, Kunststoffe und vor allem Plastiktüten, in denen Bioabfälle gesammelt und gemeinsam mit den Bioabfällen entsorgt werden.

Verschiedene Stör- und Fremdstoffe haben verschiedenen Auswirkungen auf die Behandlung und Produktqualität:

- Natürliche mineralische Fraktionen (Sand, Kies, Steine) – Sedimentation bei Vergärungsverfahren, abrasiver Verschleiß an vielen Behandlungsapparaturen, Verschlechterung der Produktqualität,
- Übergroße verrottbare Bestandteile, z.B. Holz – Verstopfen von Aggregaten und Anlagenteilen,
- Verrottbare, aber potenziell kontaminierte Bestandteile, z.B. behandelte oder beschichtete Hölzer – Kontamination der Endprodukte,
- Metalle, z.B. Metallverpackungen und Besteckteile – Verschleiß oder Verstopfung an Behandlungsapparaturen; potenzielle Kontamination der Produkte mit Metallionen,
- Glas, hauptsächlich Verpackungsglas – Verletzungsgefahr bei händischer Sortierung; Sedimentation bei Vergärungsverfahren, abrasiver Verschleiß an Behandlungsapparaturen, Verschlechterung der Produktqualität,
- Kunststoffe und Kunststofffolien, hauptsächlich Verpackungsmaterial – Verstopfungen an Bändern, Sieben und Pumpen; Verschlechterung der Produktqualität,
- Pappe, Papier, Karton, – nicht vergärbare; schadstoffbelastet, wenn bedruckt oder beschichtet, Verschlechterung der Produktqualität.

Bioabfälle sind in sehr großen Bandbreiten mit Stör- und Fremdstoffen verunreinigt. Deren Abtrennung muss zur Sicherstellung der geforderten Produktqualität der biologischen Behandlung und/oder der Vermeidung von mechanischen Störungen im Prozessablauf erfolgen.

Zur Entfernung der Stör- und Fremdstoffe müssen die Bioabfallbehandlungsanlagen erhebliche Aufwendungen tätigen. Die Bioabfälle oder die Komposte bzw. Gärreste durchlaufen dazu verschiedene Technologien. Die Entfernung gelingt fast nie vollständig und ist technisch und finanziell aufwendig.

Biogene Abfälle werden u.U. vor der biologischen Behandlung zerkleinert, um sie für den biologischen Abbau aufzuschließen, die Oberfläche zu vergrößern und die Abbaugeschwindigkeit zu erhöhen. Stör- und Fremdstoffe führen zu höherem Verschleiß an den Zerkleinerungsaggregaten.

Zerkleinerungsaggregate werden auch für das maschinelle Entpacken der Bioabfälle aus den Plastiktüten eingesetzt. Langsam laufende Aggregate zerkleinern die Plastiktüten eher in größere Teile, die sich nach der biologischen Behandlung besser aus dem Produkt entfernen lassen.

Vor der biologischen Behandlung sollte eine Metallauslese mit einem Magnetabscheider erfolgen, wenn entsprechende Störstoffe im Bioabfall enthalten sind. Die Metallauslese sollte vor der Zerkleinerung erfolgen, damit die Zerkleinerungsaggregate nicht beschädigt werden.

Die Aussortierung von Stör- und Fremdstoffen kann auch durch händische Sortierung erfolgen. So lassen sich vor allem Kunststoffe und Glas vor der eventuellen Zerkleinerung und der biolo-

gischen Behandlung entfernen. Die Auslese von Glas ist besonders bei gärtnerischer Nutzung der Komposte und Gärreste wichtig, da sich die Mitarbeiter sonst bei händischer Arbeit im Boden verletzen können. Bei der händischen Sortierung von Stör- und Fremdstoffen müssen Belange des Arbeitsschutzes besonders berücksichtigt werden!

Nach der biologischen Behandlung wird das Endprodukt für den Einsatz in der Landwirtschaft und im Gartenbau konditioniert, das heißt, eine abschließende Aufbereitung entfernt verbliebene Stör- und Fremdstoffe und optimiert die Eigenschaften der Komposte und Gärreste für die weitere Verwendung. Häufig ist eine Siebung (20 mm oder gar 10 mm Siebdurchgang) der wichtigste Schritt der Konditionierung. Hartstoffauslese oder Trocknung können bei Bedarf eingesetzt werden. Ein Problem, das bei der Konditionierung nicht unterschätzt werden darf, ist, dass sich fein zerkleinerte Plastiktüten und Glasscherben kaum aus dem Kompost oder Gärrest entfernen lassen. Sie verbleiben nach der Ausbringung auf den landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzflächen.

Die mechanische Behandlung ist für den biologischen Prozess, die Anlagen- und Maschinenteknik und die Produktqualität von großer Bedeutung.

7.1.4 Biologische Verfahren

Wie bereits erläutert, gibt es zwei Möglichkeiten im Umgang mit biogenen Abfällen aus Siedlungsabfällen: eine saubere getrennt gesammelt biogene Fraktion und eine Mischfraktion mit einem Anteil an biogenen Abfällen. Abbildung 7.5 fasst die technischen Behandlungsmöglichkeiten dieser beiden Fraktionen zusammen. Für den gemischten Abfall ist die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA) eine gute Ergänzung vor der Verbrennung oder Deponierung. Diese Lösung wird im Detail in Kapitel 7.2.2 beschrieben.

Die getrennte Sammlung von biogenen Abfällen könnte Lebensmittelabfälle aus Restaurants und der Lebensmittelindustrie, Bioabfälle (hauptsächlich Küchenabfälle) aus Haushalten und Grünabfälle, hauptsächlich aus Parks und von öffentlichen Grünflächen, umfassen. Wie in Kapitel 5 beschrieben, erzeugen nur Haushalte in chinesischen Dörfern Grünabfälle. Für Landkreise und Städte gab es keine Daten über Grünabfälle. Nichtsdestotrotz wird dieser Strom auch berücksichtigt, da für eine abschließende Strategie in einer bestimmten Stadt, einem Landkreis oder Dorf eine detaillierte Analyse der lokalen Situation durchgeführt werden muss. Dabei kann nicht auszuschließen sein, dass auch Grüngut zu berücksichtigen ist.

Wie in Kapitel 6.1.3 beschrieben, sind Technologien nach dem Stand der Technik zur Behandlung der getrennt gesammelten biogenen Abfälle Kompostierung und Vergärung (Nass- und Trockenvergärung). Welche dieser Technologien für eine bestimmte Stadt, für einen Landkreis oder ein Dorf am besten geeignet ist, hängt von vielen Faktoren und vor allem von den **Abfalleigenschaften** ab. Ein wichtiger Parameter ist der Wassergehalt, da sein optimaler Bereich für die drei Technologien unterschiedlich ist. Tabelle 7.2 zeigt diese optimalen Bereiche und vergleicht sie mit dem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt von Abfällen in den verschiedenen Gebietstypen (siehe auch Kapitel 5.1.2). Da der Wassergehalt des Abfalls von der biogenen Fraktion abhängt, wird davon ausgegangen, dass der getrennt gesammelte biogene Abfall einen ähnlichen Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Es ist ersichtlich, dass der durchschnittliche Wassergehalt

alt von Abfällen aus Städten und Kreisen sehr ähnlich ist. Betrachtet man nur den Wassergehalt der Abfälle, scheinen biogene Abfälle aus beiden Gebieten entweder für die Trockenvergärung oder die Kompostierung geeignet zu sein. Wenn keine weiteren feuchten Materialien oder Flüssigkeiten zugesetzt werden, ist der Wassergehalt für die Nassvergärung nicht geeignet.

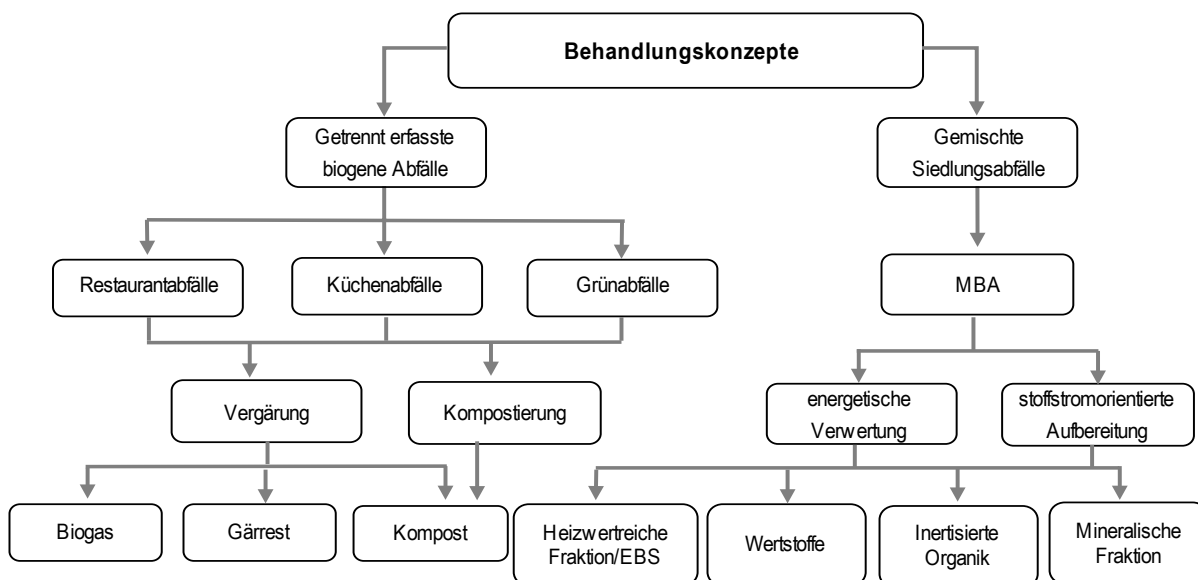


Abb. 7.5: Behandlungskonzepte für biogene Abfallströme in China

Die verfügbaren Daten der Abfallzusammensetzung aus Dörfern enthalten keine Daten zum Wassergehalt. Im Gegensatz zu den anderen Gebietstypen ist mit Grünabfall und Küchenabfällen zu rechnen. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der biogenen Abfälle aus den Dörfern aufgrund des Gehalts an Grünabfällen für die Kompostierung, aber auch für die Trockengärung geeignet sind.

Tabelle 7.2: Vergleich des durchschnittlichen Wassergehaltes der Abfälle in Städten, Kreisen und Dörfern (vergl. Kapitel 5.2.1) mit dem optimalen Bereich der unterschiedlichen Technologien

Wassergehalt	Optimaler Bereich	Städte $X_{0,75}-X_{0,25}$ ($X_{max}...X_{min}$)	Landkreise $X_{0,75}-X_{0,25}$ ($X_{max}...X_{min}$)	Dörfer
Nasse Vergärung	97-85 %	60-50 % (62...46 %)	58-50 % (68...44 %)	Keine Daten
Trockene Vergärung	85-55 %			
Kompostierung	65-50 %			

Um eine endgültige Entscheidung über die am besten geeignete Technologie zu treffen, müssen auch andere Parameter berücksichtigt werden. Weitere wichtige Parameter, sind z.B. die Struktur des Materials, das C:N-Verhältnis, der pH-Wert usw. Wichtige Parameter für die Kompostie-

Die Struktur des Abfalls ist für die Belüftung des Abfallmaterials wichtig und von besonderer Bedeutung, wenn eine passive Belüftung angewandt wird. Aufgrund des hohen Wassergehaltes kann davon ausgegangen werden, dass die Struktur des biogenen Abfalls gering ist. Daher werden bei einer Kompostierung Systeme mit aktiver Belüftung empfohlen. Die Struktur des Abfallmaterials ist auch für die Trockenvergärung mit Perkolationstechnik wichtig, da das Perkolat den Abfallkörper passieren muss. Für Pflropfenstromvergärung ist ein relativ geringer Anteil von Strukturmaterial dagegen vorteilhaft.

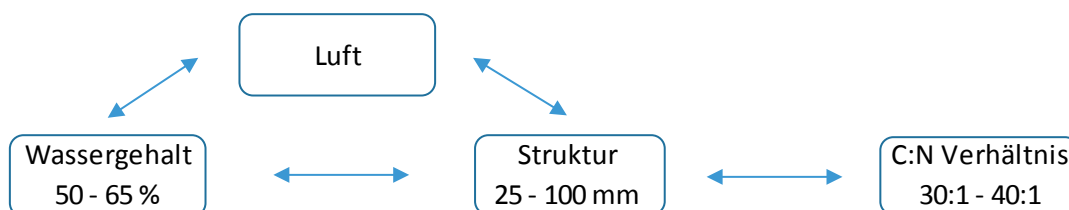


Abb. 7.6: Wichtige Parameter bei der Wahl biologische Abfallbehandlungstechnologien

Auch die **Abfallmengen** spielen in China eine wichtige Rolle bei der Betrachtung der geeigneten Technologie für ein Einzugsgebiet. Die Bevölkerungszahl und die Abfallmenge vor allem in den chinesischen städtischen Gebieten sind erheblich höher und nicht vergleichbar mit Zahlen und Mengen in Europa. In dicht besiedelten Gebieten muss die wahrscheinlich getrennt erfassbare Abfallmenge sorgfältig prognostiziert werden, um die Kapazität der Anlagen planen zu können.

Tabelle 7.3 zeigt die geschätzten Mengen an erzeugten und getrennt gesammelten Abfällen auf der Grundlage verschiedener Sammelquoten. Für die Schätzung wurden die durchschnittliche Abfallmenge von 1,1 kg/EW/d und der durchschnittliche Abfallanteil an biogenen Abfällen im Hausmüll von 60 % (vgl. Kap. 5.1) herangezogen.

Tabelle 7.3: Berechnete biogene Abfallmengen für unterschiedliche Sammelraten und Einwohnerzahlen

Bevölkerung	EW	100.000	250.000	500.000	750.000	1.000.000	2.000.000
Gesamtabfall	Mg/d	110	275	550	825	1.100	2.200
Anteil Bioabfall (60 %)	Mg/d	66	165	330	495	660	1.320
Erfassungsquote 10%	Mg/d	7	17	33	50	66	132
Erfassungsquote 20%	Mg/d	13	33	66	99	132	264
Erfassungsquote 30%	Mg/d	20	50	99	149	198	396
Erfassungsquote 40%	Mg/d	26	66	132	198	264	528
Erfassungsquote 50%	Mg/d	33	83	165	248	330	660
Erfassungsquote 60%	Mg/d	40	99	198	297	396	792

Die geschätzten Mengen an getrennt gesammelten biogenen Abfällen für unterschiedliche Bevölkerungszahlen werden in Tabelle 7.3 mit den Kapazitäten von zwei, sich in Betrieb befind-

lichen, Trockenvergärungsanlagen von zwei verschiedenen deutschen Unternehmen verglichen. Die Pfdropfenvergärungsanlage hat eine Kapazität von 219 t/d während die Perkulationsanlage eine Kapazität von 356 t/d hat. Dies sind nicht die typischen Kapazitäten für jede Technologie, sondern die höchste Kapazität der jeweiligen Technologie dieser Unternehmen.

Die grüne Fläche in Tabelle 7.3 markiert Mengen an gesammelten Abfällen, die sich im Bereich der konventionellen Kapazitäten der deutschen Anlagen befinden. Die beiden Bereiche, die orange hinterlegt sind, weisen höhere Werte auf als die konventionellen Kapazitäten und es wird angenommen, dass durch Anpassungsmaßnahmen auch diese höheren Mengen in Trockenvergärungsanlagen behandelt werden könnten. Erst ab einer Einwohnerzahl von 2 Mio. und einer Erfassungsrate von 30 % der biogenen Fraktion, stößt die konventionelle Trockenvergärung an ihre Grenzen. Die Mengen in den verbleibenden roten Bereichen der Tabelle sind deutlich höher als die konventionellen Kapazitäten.

Nach Information eines der Unternehmen (mündliche Kommunikation), ist die Erhöhung der Kapazität kein technisches Problem für die Trockenvergärung, da diese Technologien im modularen Design aufgebaut sind und eine Erhöhung der Fermenterzahl kein Problem ist. Allerdings ist die Logistik eine Herausforderung, da der Transport der Abfälle des fertigen Produkts und das Füllen der Fermenter (und Entleeren bei Garagenfermentern) mit konventionellen Geräten wie Lastwagen und Radladern durchgeführt werden.

Was die Kompostierungstechnologien und die zu behandelnden Mengen betrifft, so unterscheiden sich die Flächenanforderungen für die verschiedenen Technologien und eine Umsetzung könnte in dicht bevölkerten Gebieten mit hohen Abfallmengen und Platzmangel schwierig sein. Das betrifft vor allem die Box- und/oder Behälterkompostierung, welche für große Mengen nicht gut geeignet sind.

Lebensmittel- und Restaurantabfälle sind ein wichtiger Abfallstrom aufgrund der großen Mengen, die generiert werden. Eine Studie über Lebensmittelabfälle in Hongkong (EPD, 2009) schildert, dass vergleichsweise saubere organische Abfälle in einigen Märkten, in lebensmittelverarbeitenden Betrieben, Hotels und Restaurants entstehen und daher leicht an der Quelle getrennt werden könnten.

Die Studie erwähnte darüber hinaus, dass sich diese Abfälle durch den hohen Wassergehalt als Ausgangsmaterial für die Vergärung eignen. Tabelle 7.4 vergleicht verschiedene Parameter der Abfälle mit dem optimalen Bereich für die Vergärung.

Tabelle 7.4: Eigenschaften chinesischer Lebensmittelabfälle im Vergleich zu Vergärungsoptima [EPD, 2009]

Parameter	Optimaler Bereich	Alle Proben	
		Umfang	Median
pH-Wert	6,0-7,4	3,2-6,1	4,4
Wassergehalt (%)	Trockenv. < 70 % Nassv. > 85 %	28,6-94,4	74,15
C:N-Verhältnis	25-30	6,2-126	12,35
Natriumgehalt	<16,700 mg/kg	85,6-53,600	6,025

Verallgemeinernd kann man sagen, dass die analysierten Lebensmittelabfälle feucht genug für die Nassvergärung sind, aber auch die Trockenvergärung möglich scheint. Sollte die Nassvergärung bevorzugt werden, wäre ein vorheriges Mischen als Vorbehandlungsstufe vorteilhaft, um die Eigenschaften des Ausgangsmaterials zu optimieren. Sehr feuchte Lebensmittelabfälle (z.B. Restaurantabfälle) könnten auch verwendet werden, um den Feuchtigkeitsgehalt trockener Abfälle zu erhöhen.

Der analysierte Lebensmittelabfall war meistens saurer als für das typische Vergärungsverfahren geeignet und könnte damit den biologischen Abbau beeinträchtigen. Eine Optimierung des pH-Wertes kann daher notwendig sein. Beispielsweise kann bei saurem Rohmaterial Kalk den pH-Wert puffern.

Die C/N-Verhältnisse der Lebensmittelabfallproben fallen im Allgemeinen unter den optimalen Bereich von 25-30, können jedoch stark variieren. Es sollte angemerkt werden, dass ein hohes C/N-Verhältnis eine unzureichende Stickstoffversorgung für den Aufbau von Bakterienmasse bedeuten könnte, während ein niedriges C/N-Verhältnis zu einer Ammoniakbildung führen würde, wodurch die Bakterienaktivität gehemmt würde. Angesichts der hohen Streuung des C/N-Verhältnisses zwischen den Abfallquellen ist es ratsam, eine kontrollierte Vormischung umzusetzen. Mit dem Hinzufügen von kohlenstoff- bzw. stickstoffreichen biogenen Abfall- und Reststoffen kann bei Bedarf das C/N-Verhältnis optimiert werden.

Die Mehrheit der Lebensmittelabfallproben zeigte einen erheblich niedrigeren Natriumgehalt als die Grenze von 16.700 mg/kg. Dieses Ergebnis zeigt, dass das Risiko der Salzttoxizität gegenüber dem Vergärungsverfahren nicht unbedingt gegeben ist, muss jedoch für Quellen mit potenziell hoher Natriumbelastung, wie der Maximalwert zeigt, überwacht werden.

7.1.5 Verwertung und Entsorgung der Output-Ströme Kompost und Gärrest

Wie in Kapitel 6.1.3 beschrieben, kann Kompost in der Landwirtschaft und für weitere landbauliche Zwecke eingesetzt werden. Kompost gibt den Böden organische Substanz und Nährstoffe zurück, was ihn zu einer der besten Möglichkeiten des Recyclings von biogenem Material macht.

Um ein sicheres Recycling von organischer Substanz und Nährstoffen zu erreichen, müssen für das Produkt hohe Qualitätsstandards festgelegt werden. Tabelle 7.5 vergleicht die Grenzwerte

für Kompost in China und Deutschland. In der Regel werden nur geringe Mengen an Verunreinigungen wie Plastiktüten, Glas und Steinen vor und nach dem Prozess aussortiert und müssen entsorgt werden.

Tabelle 7.5: Vergleich der chinesischen und deutschen Grenzwerte für Kompost*

Chinesische Grenzwerte (Control standard for urban wastes for agricultural use - GB8172-87)			Deutsche Grenzwerte (BioAbfV und DüMV)			
Parameter	Einheit	Grenzwert	Grenzwert		Einheit	Parameter
			A	B	Mg TM/ha	Max. Gabe innerhalb 3 Jahren
			20	30		
			< 2		je l FM	keimfähige Samen
Partikelgröße	%	≤ 12	0		%	Fremdstoffe > 20mm
Fremdstoffe	%	≤ 3				
			0,1		%	nicht abgebaute Kunststofffolien > 2mm
			0,4		%	anderen Fremdstoffe > 2mm
			5		%	Steine > 5 mm
Wassergehalt, %	%	25 - 35	< 45		%	TM
Organische Substanz	(C, %)	10	15 - 40		%	Organische Substanz
Gesamt Pb	mg/kg	100	150	100	mg/kg	Pb
Gesamt Cd	mg/kg	3	1,5	1	mg/kg	Cd
Gesamt Cr	mg/kg	300	100	70	mg/kg	Cr
Cr (VI)	mg/kg		2	2	mg/kg	Cr (VI)
Gesamt Hg	mg/kg	5	1	0,7	mg/kg	Hg
Gesamt Ni	mg/kg		50	35	mg/kg	Ni
Gesamt Zn	mg/kg		400	300	mg/kg	Zn
Gesamt Cu	mg/kg		100	70	mg/kg	Cu
Gesamt Tl	mg/kg		1	1	mg/kg	Tl
Gesamt As	mg/kg	30	40	40	mg/kg	As
Perfluorierte Tenside (PFT)	mg/kg		0,1	0,1	mg/kg	Perfluorierte Tenside (PFT)
Dioxine/Furane (PCDD/PCDF)	ng WHO-TEQ/kg		Σ 30	Σ 30	ng WHO-TEQ/kg	Dioxine/Furane (PCDD/PCDF)
dI-PCB	ng WHO-TEQ/kg				ng WHO-TEQ/kg	dI-PCB
Gesamt N	(N, %)	0,5				
Gesamt P	(P ₂ O ₅ , %)	0,3				
Gesamt K	(K ₂ O, %)	1				
Ascariden Eier Mortalität		95 - 100				
Coliforme Bakterien		0,01 - 0,1				
pH		6,5 - 8,5				

* Anmerkung: Der chinesische Standard wird aktuell überarbeitet und wird durch einen neuen nationalen Standard ersetzt, der „Nationale Standard für die Verschmutzungsüberwachung der Kompostierung von Biomasse“ (MEP No. 2015-4).

Biogas als eines der Produkte aus der Vergärung (vgl. Kap. 6.1.3) wird sicherlich in China Anwendung finden. Die Situation für die Gärreste muss geklärt werden.

In beiden Fällen, Kompostierung und Vergärung, muss möglicherweise erst ein Markt für die Produkte geschaffen werden, so dass eine gewisse Übergangszeit in Betracht gezogen werden sollte.

7.1.6 Empfehlungen

Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und des Klimaschutzes aus der Abfallbewirtschaftung werden folgende Maßnahmen für China empfohlen:

- Berücksichtigung gesetzlicher Änderungen und/oder neuer Vorschriften zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Umgangs mit Abfällen und der Qualität des Produkts (z.B. Deponieverbot für unbehandelte Abfälle),
- Einführung der getrennten Sammlung biogener Abfälle, zur Verringerung des zu deponierenden Volumens (und der Masse) und der Emissionen,
- eine schrittweise Einführung der Abfalltrennung, verbunden mit einer starken Informationskampagne,
- Behandlung von getrennt gesammelten biogenen Abfällen auch zur Erzeugung von Energie (z.B. Biogas),
- Schaffung von Ausbildungsmöglichkeiten für den Sektor Abfallwirtschaft,
- Schaffung eines Finanzierungssystems für Sammlung und Verwertung biogener Abfälle.

Keine Technologie wird besonders empfohlen, da sowohl die Kompostierung als auch die Vergärung für den durchschnittlichen chinesischen biogenen Abfall geeignet sind. Für jede Stadt/jeden Landkreis/jedes Dorf ist eine detaillierte Abfallanalyse der Zusammensetzung und Mengen notwendig, um eine endgültige Entscheidung treffen zu können. Wegen des Wassergehaltes im Restaurantabfall scheint die Vergärung die beste Lösung für diese Fraktion zu sein. Aber auch hier ist immer eine detaillierte Abfallanalyse für die endgültige Entscheidung notwendig.

Wie in Kapitel 6.1.4 beschrieben (Betrieb von Anlagen), sowie in der Einleitung von Kapitel 7 erläutert, ist für den ordnungsgemäßen Betrieb von Einrichtungen qualifiziertes und erfahrenes Personal entscheidend. Praktische Erfahrungen sind unentbehrlich, denn vor allem für den biologischen Prozess reichen theoretische Kenntnisse nicht aus. Es wäre daher ratsam, eine Fortbildung für verschiedene Berufsgruppen (Techniker, Elektriker usw.) anzubieten, um geschultes Personal für den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen zu gewinnen. Diese Facharbeiter sollten in der Lage sein:

- Abfälle anzunehmen, zu identifizieren, zu untersuchen und zu deklarieren,
- Abfallbehandlungsanlagen zu bedienen, zu überwachen, zu inspizieren, zu warten und zu reparieren,
- den biologischen Prozess zu steuern und zu überwachen,
- Betriebsstörungen zu erkennen und selbstständig zu beheben (oder beheben zu lassen),
- Arbeits- und Betriebsabläufe zu dokumentieren und auszuwerten,
- Kunden zu beraten und zu informieren, z.B. in Fragen der Abfalltrennung und Entsorgung.

Da biogene Abfälle nicht so wertvoll sind wie Metalle oder Papier, kann ihre getrennte Sammlung nicht wie für diese Wertstoffe organisiert werden, allerdings könnte aber ein ähnliches System geschaffen werden. Subventionen oder aber ein Pay-as-you-throw-Modell sind möglich. Auf jeden Fall müssen die Umweltvorteile aus der getrennten Sammlung (Volumenreduktion auf

Deponien, Emissionsreduktionen etc.) berücksichtigt werden. Die Umweltkosten, die durch den nicht nachhaltigen Umgang mit biogenen Abfällen entstehen, werden langfristig bedeutend sein.

7.2 Biogene Abfälle aus der gemischten Sammlung

7.2.1 Gesetze, Regulierungen, Verwaltung und Kontrolle

Der Restmüll, der als Hausmüll abgefahren wird, enthält noch verwertbare Abfallfraktionen. Je nachdem, wie intensiv die verwertbaren Abfallfraktionen gesammelt werden, sind sie noch mehr oder weniger im Restmüll enthalten. In der VR China werden viele verwertbare Abfälle getrennt gesammelt, oftmals auch vom informellen Sektor. Im Hausmüll reichert sich dadurch der Bioabfall an, es wurden bis zu 75 % Anteil organischer Abfälle im Hausmüll gemessen (vergl. Kapitel 5.2). Die Einführung der getrennten Bioabfallsammlung würde dessen Anteil im Restmüll verringern.

Die Nutzung der im Hausmüll verbleibenden biogenen Abfälle ist nur sehr eingeschränkt möglich. Die Produkte aus der Behandlung der organischen Fraktion der Mechanisch-Biologischen Behandlung von Restmüll (Hausmüll, Mischmüll) werden im englischen Compost-like Output (CLO) genannt. In vielen Ländern der Erde wird CLO auch auf landwirtschaftlichen Nutzflächen eingesetzt. Die VR China sollte genau prüfen, ob die Produkte (CLO) der Behandlung von Mischmüll in und auf Böden einsetzbar sind (Grenzwerte für Schad- und Fremdstoffe und Böden; Abbaugrad) und entsprechende Regelungen schaffen. In Deutschland ist jegliche Verwertung dieses CLO verboten! Nur Produkte der getrennten Bioabfallsammlung dürfen in und auf Böden verwertet werden.

Soll CLO bzw. die stabilisierte Organikfraktion deponiert werden, werden Regelungen benötigt, die Ablagerungsanforderungen formulieren. Hier können Emissionen (Gasbildungsrate, Eluatkonzentrationen) begrenzt werden.

Auch für die Anlagen, in denen der Restmüll (Hausmüll, Mischmüll) behandelt werden soll, werden rechtliche Festlegungen benötigt. Anforderungen an den Standort der Anlage sollten Abstandsregelungen zu Wohnbebauungen und schützenswerter Natur enthalten. Weitere Regelungen sollten die Emissionen aus den Anlagen betreffen (Grenzwerte für emittierte Stäube, Gerüche, Abluft und Abgas, aber auch Abwässer; sowohl als Konzentration als auch Fracht).

Eine Möglichkeit gemischte Siedlungsabfälle zu nutzen, ist die Vergärung in einer anaeroben MBA-Stufe. Das entstehende Biogas lässt sich dann direkt verwerten oder zu Bio-Methan aufbereiten. Hier sollten Regelungen die Qualität der Gase vorgeben, vor allem dann, wenn Bio-Methan in das Erdgasnetz eingeleitet werden soll.

Der Staat kann die Produktion von Energie aus Abfall auch finanziell fördern und dadurch Anreize schaffen.

Wenn Gesetze und Verordnungen erlassen werden, dann müssen diese auch kontrolliert werden. Entsprechende Behörden sollten eingerichtet und mit den notwendigen Kompetenzen ausgestattet werden. Diese Behörden sollten auch Sanktionen aussprechen dürfen.

7.2.2 Mechanisch-Biologische Behandlung

Die Erfahrungen in Deutschland und Europa zeigen, dass auch nach Einführung der getrennten Sammlung von biogenen Abfällen diese nicht zu 100 % umsetzbar ist, da nicht alle Bewohner Regelungen befolgen oder nicht verstehen, wie genau getrennt werden soll. Ein bedeutender Anteil an biogenen Abfällen verbleibt nach wie vor im Restmüll. Um die Umweltauswirkungen von Mischabfällen zu reduzieren, gibt es hauptsächlich zwei Behandlungstechnologien nach dem Stand der Technik: Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen und die Behandlung mit MBA-Technologien (vgl. Kap. 6.2.2 und Abbildung 6.15).

Die Verbrennung von Hausmüll (Restmüll) in China trägt aufgrund ihres hohen Wassergehaltes und niedrigen Heizwertes nicht zur Ressourcenschonung bei [Dorn, 2015] und wird daher in dieser Studie nicht diskutiert. Jedoch würde die Behandlung von gemischtem Abfall in MBA-Technologien vor der Verbrennung den Heizwert erheblich erhöhen und die Energierückgewinnung ermöglichen.

Wie bereits in Kapitel 6 beschrieben, erlaubt die MBA die Trennung von Wertstoffen für Recycling oder die Energierückgewinnung, bevor die verbleibenden Abfälle entsorgt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die in der MBA behandelten Abfälle inertisiert sind und in der Deponie kaum Emissionen verursachen.

MBA-Technologien sind sehr flexibel und können an die spezifischen Anforderungen eines Einzugsgebietes und die abfallpolitischen Ziele angepasst werden. Daher können unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der betreffenden Stadt oder Region zwei Zieloptionen hinsichtlich der spezifischen Sortierfraktionen gewählt werden:

- Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung zur Wertstoffrückgewinnung,
- Mechanisch-Biologische Stabilisierung (MBS) oder biologische Trocknung zur energetischen Verwertung.

Der vereinfachte Prozessablauf beider Optionen ist in Abbildung 6.15 dargestellt. Die Unterschiede der Optionen sind erstens, ob das Hauptziel die Material- oder Energierückgewinnung ist, oder zweitens, ob die Materialtrennung vor oder nach dem biologischen Schritt erfolgt. Dieser letzte Aspekt betrifft die biologisch zu behandelnde Abfallmenge sowie die Sortierungseigenschaften des Abfalls.

Der stoffstromorientierte Ansatz/Ressourcenzurückgewinnungsansatz (MBA) kombiniert die biologische Behandlung (Vergärung und/oder Kompostierung oder biologische Trocknung) mit mechanischen Prozessschritten, um Produkte aus dem Abfall vor oder/und nach der biologischen Behandlung zu trennen. Bei diesem Ansatz erfolgt die Abfallsplittung zu Beginn des Prozesses. Der Großteil des biogenen Materials ist in der Feinfraktion enthalten und es wird nur diese Fraktion biologisch behandelt.

Der Hauptzweck des biologischen Prozessteils (Rotte) besteht im Abbau des biogenen Anteils des Abfalls, um eine inerte Fraktion zu erhalten, die bei der Deponierung fast keine Emissionen verursacht. Durch den Massenverlust während des biologischen Prozesses wird das Volumen der Fraktion reduziert und somit Deponieraum eingespart.

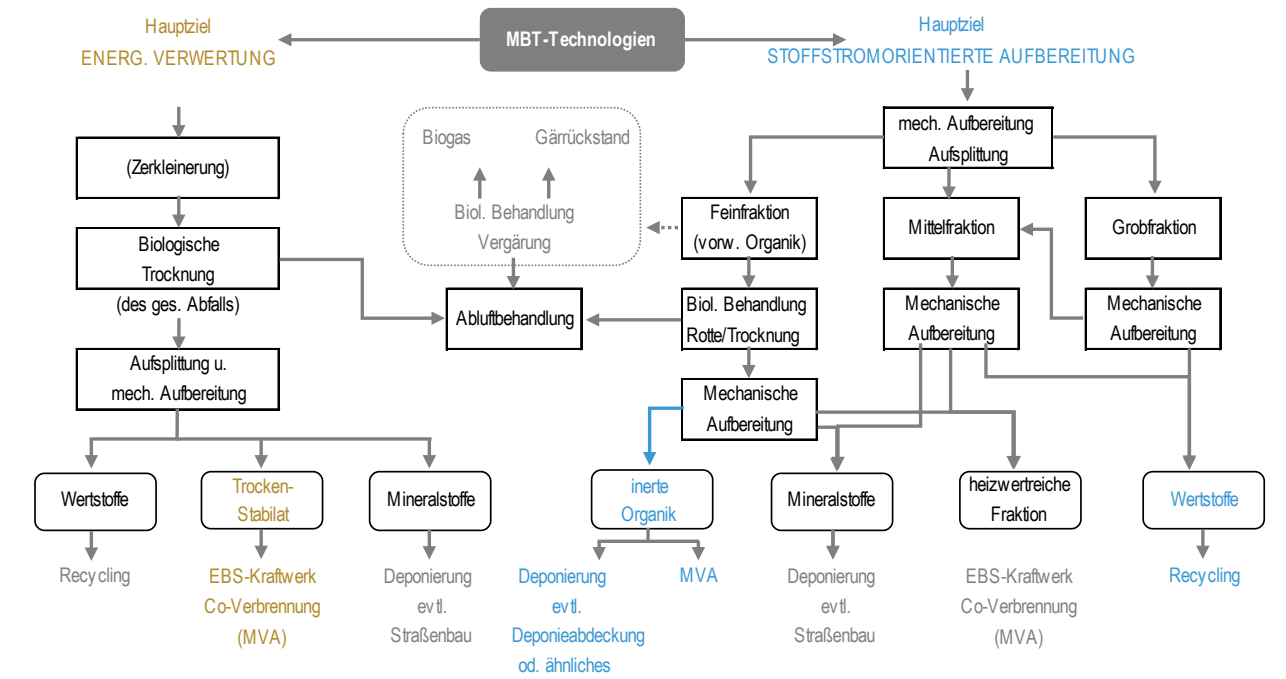


Abb. 7.7: Vereinfachtes Flussdiagramm für MBA und MBS

Statt der Rotte kann auch eine biologische Trocknung oder Vergärung als biologische Behandlung angewendet werden. Die Vergärung zielt darauf ab, Biogas zu gewinnen und Energie aus der biogenen Fraktion zurückzugewinnen. Der Hauptzweck des biologischen Trocknungsprozesses besteht darin, Wärme zu erzeugen, um den Wassergehalt des Abfalls zu reduzieren und so biogenes Material zur Energierückgewinnung zu gewinnen (als Teil der heizwertreichen Fraktion (EBS; SBS)).

Das Hauptziel des energieorientierten Ansatzes/Energierückgewinnungsansatzes (MBS) besteht darin, die im aeroben Verfahren erzeugte Wärme zu verwenden, um Wasser aus dem Abfall zu entfernen, dabei wird der gesamte Abfall getrocknet (biologische Trocknung). Bei dieser Vorgehensweise erfolgt die Abfallsplattung nach der biologischen Behandlung.

Der Hauptzweck des biologisch-trocknenden Teils des Prozesses ist die Erzeugung von Wärme, um das Wasser aus dem Abfall zu verdunsten und so eine einfachere und effizientere mechanische Trennung zu ermöglichen. In diesem Fall wird die Trennung nach der biologischen Behandlung durchgeführt und die Abfälle vor der biologischen Behandlung eventuell nur zerkleinert. Der Großteil des biogenen Materials im Abfall wird in die heizwertreiche Fraktion überführt.

MBA kann zur Lösung eines China-spezifischen Problems beitragen (Siedlungsabfälle mit hohem Wassergehalt und niedrigem Heizwert). Welche der beiden MBA-Optionen am besten für eine bestimmte Region geeignet ist, hängt unter anderem davon ab, ob und welche Industrieanlagen als Abnehmer des Outputs (EBS, Wertstoffe) in der Nähe vorhanden sind. Eine Studie über Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in der VR China sprach sich aufgrund der höheren Kosten gegen die physikalische Trocknung als mögliche Vorbehandlung aus (Ausnahme: Verwendung von Abwärme). Aus diesem Grund wurde diese Technologie in dieser Studie nicht weiter untersucht [Nelles et al., 2014].

7.2.3 Verwertung und Entsorgung der Output-Ströme

Nach der abschließenden mechanischen Behandlung wird in den MBA-Konzepten ein organikreiches Material abgeschieden und verwertbare Fraktionen wie Eisen- und Nichteisenmetalle gewonnen. Auch unbrennbare, inerte Mineralstoffe wie Glas, Sand und Steine werden abgetrennt (siehe Abb. 7.8). Zusätzlich zu den Wertstoffen wird auch eine heizwertreiche Fraktion hergestellt, welche aus allen brennbaren Abfallteilen wie Kunststoff, Holz, Papier, Karton besteht und auch die auf einen ausreichend hohen Heizwert getrocknete Bioabfallfraktion enthält (bei MBS).

Organische Abfallfraktion nach der Behandlung

Aerobe MBA und Kompostierung wenden sehr ähnlichen Technologien an. Allerdings müssen beiden Prozesse hinsichtlich des Inputmaterials und der Nutzungsmöglichkeiten des Outputs unterschieden werden. Ziel der Kompostierung von organischem Material ist es, qualitativ hochwertigen Kompost zu erhalten. Kompostierung benötigt „sauberes“ organisches Material als Eingangsmaterial, wie getrennt gesammelten Bioabfall. Während die MBA gemischte Siedlungsabfälle als Inputmaterial verwendet und darauf abzielt, das organische Material im Rest- bzw. Mischabfall zu trocknen, stabilisieren und vorzubehandeln. Eine Nutzung des vorbehandelten Abfalls ist möglich, unterliegt jedoch bestimmten Beschränkungen.

Die nationalen Gesetzgeber müssen die Nutzungsmöglichkeiten der aus dem Mischabfall erzeugten stabilisierten organischen Fraktion (Compost Like Output – CLO) regeln.

In Deutschland ist die Nutzung des CLO in und auf Böden verboten!

Nur Komposte aus getrennt gesammelten biogenen Fraktionen dürfen in Deutschland als organische Düngemittel, Humusdünger oder Bodenhilfsstoffe in der gärtnerischen und landwirtschaftlichen Produktion eingesetzt werden.

Die Kompostqualität wird durch eine Reihe von Merkmalen bestimmt; z.B. Gehalt an Nährstoffen, Wasser, organischer Substanz und Kohlenstoff, Schwermetallen, organischen Schadstoffen, Salz und Verunreinigungen.

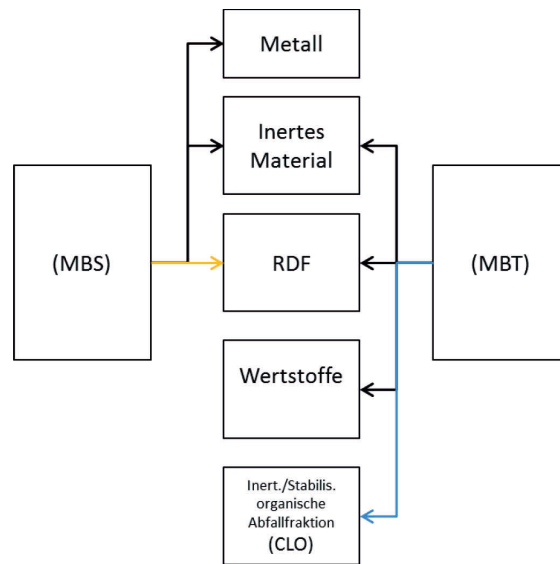


Abb. 7.8: Outputs von MBA von gemischten Siedlungsabfällen

Wertstoffe

Die von den verschiedenen MBA-Verfahren zurückgewonnenen Recyclingprodukte sind typischerweise von geringerer Qualität als solche, die aus einem getrennten Sammelsystem aus Haushalten oder Recyclingzentren stammen und weisen daher ein geringeres Potenzial für hochwertige Märkte auf. Allerdings können MBA-Anlagen das Recyclingniveau insgesamt erhöhen und ermöglichen die Rückgewinnung bestimmter Bestandteile, die sonst nicht effizient in Haushaltssystemen gesammelt werden können. Recyclingfähige Komponenten im Hausmüll Siedlungsabfall sind PPK (stark eingeschränkt), Kunststoffe, Glas (stark eingeschränkt), Metall und biogene Stoffe.

Ersatzbrennstoffe (EBS) – Refuse Derived Fuel (RDF)

Nach ausreichender (Vor-)Behandlung in verschiedenen Aufbereitungsanlagen und unter Anwendung streng definierter Qualitätssicherungsmaßnahmen können verschiedene nicht gefährliche und/oder gefährliche Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Industrie als heizwertreiche Fraktion (hwrF) abgeschieden werden.

Als sog. Ersatzbrennstoffe (EBS) kann diese heizwertreiche Fraktion in (Mit)verbrennungsanlagen eingesetzt werden. Die Hauptanwendung von EBS ist die Nutzung als Brennstoff im Industrie- und Energiesektor. Es wird zur Energieversorgung eines Produktionsprozesses in (Mit)verbrennungsanlagen genutzt.

Ersatzbrennstoffe (EBS), die die Güte- und Prüfbestimmungen des RAL-Gütezeichens 724 (Sekundärbrennstoffe aus heizwertreichen Abfällen) erfüllen, werden als Sekundärbrennstoffe (SBS) bezeichnet.

Im europäischen Rechtsrahmen gibt es eine ähnliche Einteilung der heizwertreichen Fraktionen. Feste Sekundärbrennstoffe (Solid Recovered Fuels – SRF) sind eine Untergruppe von RDF (Refuse Derived Fuel), sie bezieht sich nur auf feste Abfälle, die aus nicht gefährlichen, sortierten oder gemischten festen Abfällen hergestellt werden.

Sekundärbrennstoffe (Solid Recovered Fuel – SRF) wurden in Übereinstimmung mit CEN/TC 343 als Unterkategorie der Ersatzbrennstoffe (RDF) definiert.

Refuse Derived Fuel und Solid Recovered Fuel können in Übereinstimmung mit dem Europäischen Abfallverzeichnis beschrieben und durch drei Abfallschlüssel klassifiziert werden:

- 19 12 10: brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen),
- 19 12 12: sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen.

Zusätzlich gibt es auch potenziell stärker schadstoffbelastete heizwertreiche Fraktionen:

- 19 12 11* sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten.

Abfall ist kein Standardbrennstoff und kann während der Verbrennung Schadstoffe bilden und/oder freisetzen, die die Umwelt schädigen können. Um die negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren, ist eine gesetzliche Kontrollregelung für Waste-to-energy-Anlagen erforderlich.

Die EBS/SBS-Produzenten, potenzielle Kunden und die zuständigen Behörden sind verantwortlich für die Einhaltung von Produkteigenschaften und Qualitätsstandards im Zusammenhang mit der Abfallbehandlung mit Ersatzbrennstoffproduktion. Der Schutz der Umwelt, der EBS-Verbrennungsanlagen sowie der mit EBS erzeugten Produkte (z.B. Zement) sind zu sichern.

Biogas

Eine Mechanisch-Biologische Behandlungsanlage, die Vergärung als biologische Prozessstufe verwendet, produziert Biogas. Biogas kann direkt verwertet oder nach Aufbereitung als Erdgasersatz eingespeist oder als Kraftstoff verwendet werden. Überwiegend wird das Biogas derzeit in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zur Erzeugung von Elektrizität sowie Wärme verwendet.

7.2.4 Empfehlungen

In Anbetracht des hohen biogenen Anteils und Wassergehalts in chinesischen Mischabfällen (Hausmüll, Restmüll), Abbildung 7.9, kann die Vorbehandlung in MBA vor der Deponierung oder Verbrennung eine gute Option sein, um die abfallbedingten Umweltbelastungen zu reduzieren. Die MBA kann zur Rückgewinnung von Ressourcen und zur Minimierung der Emissionen von Deponien angewandt werden. Die Mechanisch-Biologische Behandlung kann aber auch vor der Verbrennung genutzt werden, um den Heizwert der Abfälle zu verbessern und eine Energierückgewinnung zu ermöglichen.

MBA-Technologien sind sehr flexibel und können und müssen an die lokalen Anforderungen und Ziele angepasst werden. Daher wird keine spezielle Technologie empfohlen. Jede Stadt, jeder Landkreis und jedes Dorf muss entsprechend der lokalen Bedürfnisse und Ziele eine geeignete Lösung entwickeln.

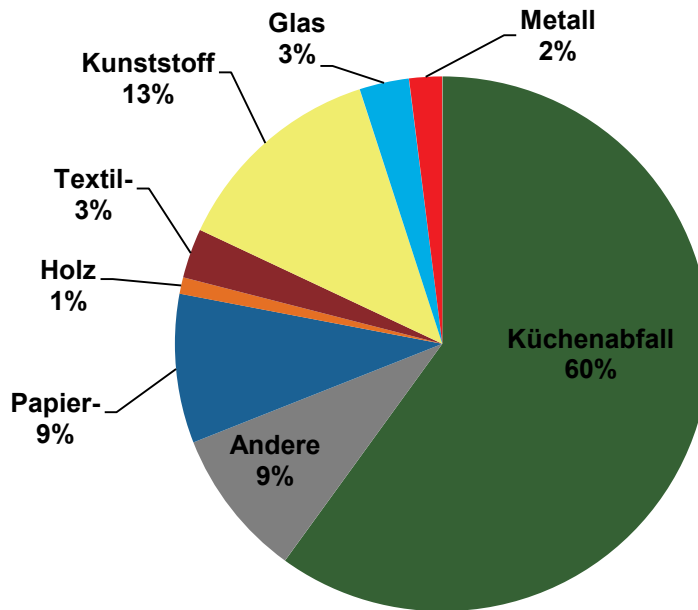


Abb. 7.9: Typische Zusammensetzung gemischter Abfälle aus chinesischen Stadtgebieten

Die Abbildung 7.10 zeigt die Abfallzusammensetzung des deutschen Restmülls und die mit den MBA-Ansätzen (Stoff oder Energieträger orientiert) erzielten Outputs.

In Anbetracht der durchschnittlichen Abfallzusammensetzung in China können folgende Schätzungen bezüglich der Outputs einer MBA gemacht werden (Vergleich zu deutschen MBA und deutschem Hausmüll):

- der Massenverlust könnte bedingt durch eine hohe organische Fraktion und den hohen Wassergehalt höher ausfallen,
- die Energierückgewinnung könnte geringer sein,
- die Materialrückgewinnungsquote kann je nach Art und Qualität des verwertbaren Materials gleich oder geringer sein,
- der Anteil an Material für die Deponierung könnte höher sein oder gleich ausfallen.

Der Markt für MBA-Output (Ersatzbrennstoffe, Recyclingmaterial) ist in China nur eingeschränkt vorhanden, daher sollte eine gewisse Übergangszeit für die Marktentwicklung in Erwägung gezogen werden. Gleichzeitig sollten auch andere Industriebetriebe in der Region berücksichtigt werden, welche den Output nutzen könnten.

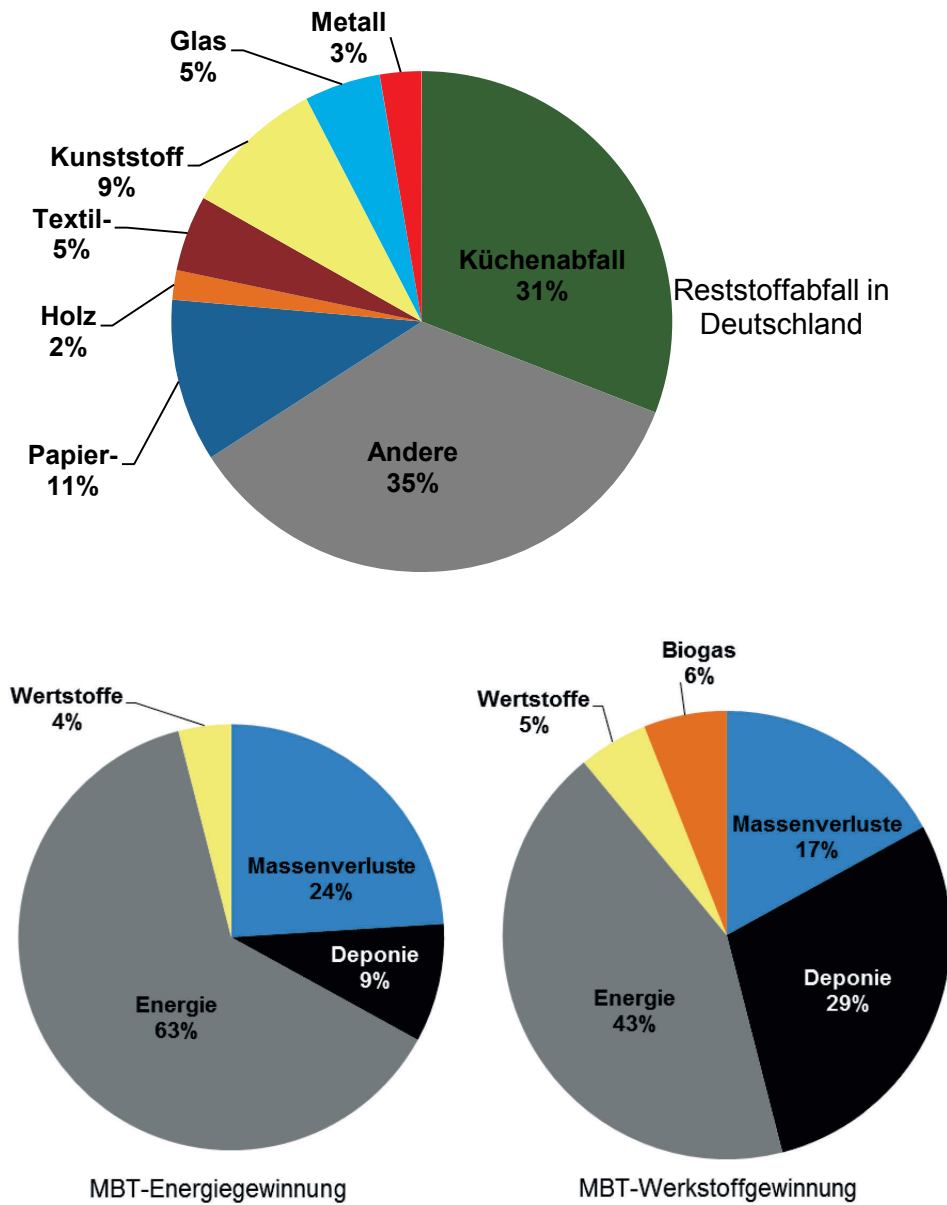


Abb. 7.10: Abfallzusammensetzung von deutschem Restabfall und die daraus gewonnenen Outputs in zwei MBA-Konzepten [Ketelsen, 2015]

8. Zusammenfassung

Die nachhaltige Behandlung biogener Abfälle ist der Schlüssel für eine nachhaltige Abfallwirtschaft, da diese Abfälle für viele Umweltbelastungen verantwortlich sind, wenn sie nicht richtig behandelt werden. Die Erzeugung klimarelevanter Emissionen sowie Sickerwasser und der niedrige Heizwert der Abfälle sind dabei die Hauptprobleme. Es gibt zwei Hauptanteile von biogenen Abfällen in festen Siedlungsabfällen: eine saubere Fraktion, wenn eine getrennte Sammlung stattfindet und eine gemischte Fraktion im Restmüll/Hausmüll. Werden diese beiden Fraktionen mit technologischen Lösungen nach dem Stand der Technik behandelt, können damit wichtige Ressourcen- und Klimaschutzmaßnahmen erreicht werden.

Die getrennte Sammlung von biogenen Abfällen ist eine Voraussetzung, um diese wiederzuverwerten und qualitativ hochwertige Komposte herzustellen und damit organische Substanz und Nährstoffe in den Kreislauf zurückzuführen. Die getrennte Sammlung verringert ferner die Menge an Restabfall, die deponiert oder verbrannt werden muss und reduziert den Wassergehalt in den verbleibenden Restabfällen, was eine effektivere Verbrennung zulässt.

Kompostierung und Vergärung sind die Haupttechnologien nach dem Stand der Technik, um getrennt gesammelte biogene Abfälle zu recyceln. Beide nutzen natürliche Abbauprozesse. Während Kompostierung ein aerober Prozess ist, arbeitet die Vergärung unter Abwesenheit von Sauerstoff. Die Kompostierung ermöglicht das Recycling der Abfälle, indem die organische Substanz in Kompost umgewandelt wird. Bei der Vergärung wird die organische Substanz in Biogas und Gärrest umgewandelt, was die energetische Nutzung in Kombination mit der anschließenden stofflichen Nutzung des Gärrestes (Mehrfachnutzung) ermöglicht. Sowohl der Ersatz von Mineraldünger durch Kompost und Gärrest als auch die energetische Nutzung des Biogases tragen zum Schutz des Klimas und der Ressourcen bei. Welche Technologie am besten geeignet ist, hängt von der Zusammensetzung des biogenen Abfalls ab. Für nasse biogene Abfälle sowie für Nahrungsmittelabfälle ist die Vergärung eine gute Option. Für lignin- und zellulosehaltiges Pflanzenmaterial in Grün- und Bioabfällen ist eine Kompostierung, auch ggf. in Kombination mit einer Trockenvergärung, die beste Option.

Das Deponierungsverbot für unbehandelte Abfälle war der Hauptgrund für den Erfolg der getrennten Sammlung und Behandlung biogener Abfälle in Deutschland. Des Weiteren waren energieeffiziente Anlagen zur energetischen Nutzung und die neu eingeführte obligatorische bundesweite getrennte Sammlung die Grundlage für eine nachhaltige Abfallwirtschaft.

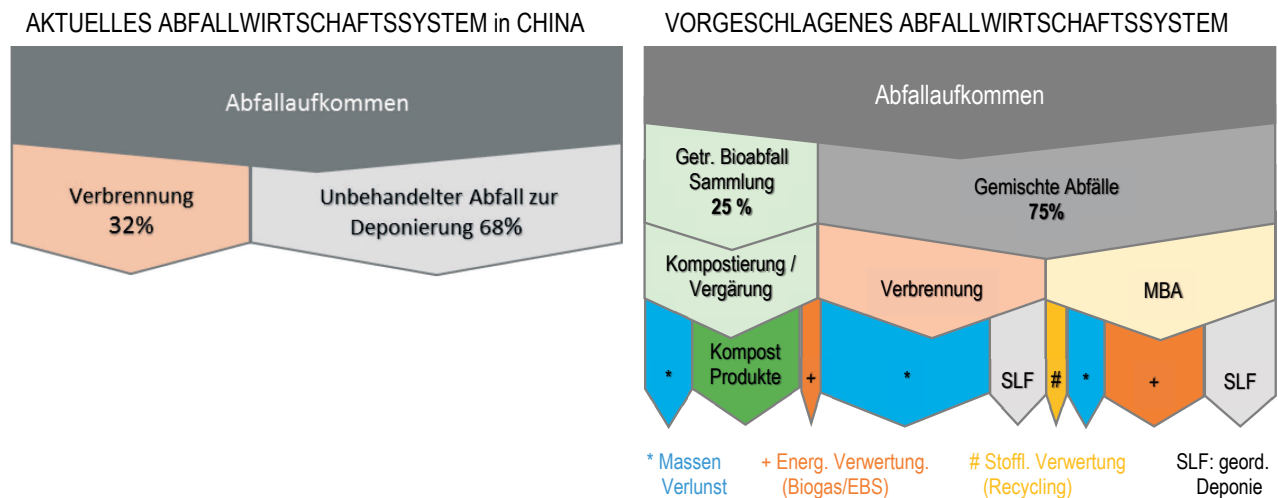
Derzeit sind nur die Müllverbrennung und Mechanisch-Biologische Behandlungs-Technologien (MBA) die verfügbaren Technologien nach dem Stand der Technik als Vorbehandlungsoptionen für gemischte Siedlungsabfälle vor der Deponierung. Die Verbrennung wird in China bereits praktiziert und wird hier nicht weiter diskutiert. Ein MBA-System ist eine Abfallbehandlungsanlage, die eine mechanische Abfalltrennanlage mit biologischen Behandlungsmethoden (Vergärung und/oder Rotte) kombiniert. Diese sind dafür ausgelegt, gemischten Hausmüll zu verarbeiten und die Abfälle in geeigneten Output und marktfähige Produkte umzuwandeln.

Typische Outputs sind: eine inertisierte/stabilisierte Fraktion zur Entsorgung/Deponierung, Wertstoffe zum Recycling, Ersatzbrennstoff (EBS), der als alternativer Brennstoff verwendet werden

kann, aber auch ein geringer Anteil kontaminierter fester Abfälle sowie kontrollierte Wasser- und Gasemissionen. Daher ermöglichen MBA-Anlagen eine stoffliche und energetische Verwertung von gemischten Siedlungsabfällen, die zu einem nachhaltigen Ressourcenmanagement und zur Reduzierung von Treibhausgasen beiträgt.

Die Abfallwirtschaft in China hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Die Sammlung und Behandlung von Siedlungsabfällen erstreckt sich auf Stadt- und Landkreisebene und nimmt auf Dorfebene schrittweise zu. Die Abfallbehandlung ist jedoch auf die Verbrennung oder Deponierung beschränkt (Deponierung gilt als Abfallbehandlung in China), was Energie und Materialressourcen verschwendet und zu Umweltproblemen führt. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Rechtsvorschriften, die von grundlegenden Gesetzen und Verordnungen bis zu politischen Dokumenten, Standards und Spezifikationen reichen und verschiedene Aspekte der Abfallwirtschaft berücksichtigen. Die getrennte Sammlung von organischen Abfällen ist nur für Restaurantabfälle geregelt. Insgesamt gibt es technisch und rechtlich sehr gute Voraussetzungen für die Weiterentwicklung der nachhaltigen Abfallwirtschaft in der VR China.

Um in China den Ressourcen- und Klimaschutz der Abfallwirtschaft unter Berücksichtigung des biogenen Abfallstroms zu erhöhen, könnten verschiedene Aspekte und Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Die Abbildung 8.1 veranschaulicht und vergleicht die Abfallströme für das in China derzeit implementierte Abfallwirtschaftssystem für den Hausmüll und die vorgeschlagene Weiterentwicklung (Schätzung der Anteile). Es ist klar ersichtlich, dass das weiterentwickelte System die Abfallmenge, die deponiert werden müsste, erheblich reduzieren würde. Weitere Vorteile sind in der Abbildung zusammengefasst.



- Niedrige Effizienz der Verbrennung wegen einem hohen biogenen Anteil und Wassergehalt
- Hohes Abfallvolumen zur Deponierung
- Emissionen von unbehandeltem deponiertem Abfall

- Getrennte Sammlung vermindert den biogenen Anteil im Abfall, wodurch die Verbrennung effizienter wird
- MBA und getrennte Sammlung reduzieren das Abfallvolumen zur Deponierung und erhöhen die stoffliche und energetische Verwertung
- Der Abfall wird vor der Deponierung stabilisiert und erzeugt nahezu keine Emissionen

Abb. 8.1: Vergleich der Abfallströme für das aktuelle und das vorgeschlagene Abfallwirtschaftssystem in China

RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN: Es sollten gesetzliche Änderungen und/oder neue Regelungen erwogen werden, um eine ordnungsgemäße Behandlung der Abfälle und eine hohe Qualität der Endprodukte zu gewährleisten (z.B. Deponieverbot für unbehandelte Abfälle, Grenzwerte, Normen usw.). Ferner sollten die Umsetzung und die Kontrolle der bestehenden sowie der neuen Vorschriften verstärkt werden.

GETRENNTE SAMMLUNG: Die Einführung einer getrennten Sammlung ist entscheidend, um wirklich zu Ressourcen- und Klimaschutz beizutragen. Nur getrennt gesammelte und behandelte biogene Abfälle können zu hochwertigen Produkten umgewandelt werden. Ferner verringert die getrennte Sammlung die Menge an Abfall, die deponiert oder verbrannt werden muss. Pilotprojekte zur getrennten Sammlung sollten schrittweise eingeführt und von einer starken Öffentlichkeitsarbeit-Kampagne begleitet werden und mindestens 5 Jahre lang laufen, um signifikante Ergebnisse zu erzielen. Für die Sammlung in Hochhäusern werden innovative Lösungen für vertikale Systeme benötigt.

KOMPOSTIERUNG/VERGÄRUNG: Um getrennt gesammelte biogene Abfälle zu recyceln, scheinen beide Technologien für die durchschnittliche chinesische Abfallzusammensetzung geeignet zu sein. Für jede Region ist eine detaillierte Analyse der Abfallsituation notwendig, um eine endgültige Entscheidung treffen zu können. Ein Markt für hochwertigen Kompost ist vorhanden. Die Verwendung von Gärresten als Dünger ist zu empfehlen und zu unterstützen.

MECHANISCH-BIOLOGISCHE ABFALLBEHANDLUNG: Für den gemischten Abfallstrom hat die MBA Potenzial als dezentrale Lösung aber auch als Ergänzungsbehandlung vor der Verbrennung und/oder Deponierung. Die MBA kann zur Rückgewinnung von Ressourcen und zur Minimierung der Emissionen von Deponien eingesetzt werden, kann aber auch vor der Verbrennung genutzt werden, um den Brennwert der Abfälle zu erhöhen und eine energetische Verwertung zu ermöglichen (und die Anzahl der benötigten Verbrennungsanlagen zu reduzieren). Der Markt für MBT-Outputs ist noch nicht vorhanden, daher sollte eine gewisse Übergangszeit für die Marktentwicklung in Betracht gezogen werden. Gleichzeitig sollten Industrieanlagen in der Region, wie Zementwerke, welche die Ersatzbrennstoffe nutzen könnten, berücksichtigt werden.

RESTAURANTABFÄLLE: Für diese Abfälle scheint eine neue Entsorgungsmöglichkeit gesucht zu werden. Wegen des hohen Wassergehalts des Restaurantabfalls kann die Vergärung ein geeigneter Ansatz sein. Die Nutzung oder Behandlung der Gärreste muss als ein Teil des Lösungskonzepts berücksichtigt werden.

BETRIEB UND PERSONAL: Für den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlagen ist qualifiziertes und erfahrenes Personal von entscheidender Bedeutung. Eine gezielte Ausbildung für verschiedene Berufsgruppen der Abfallwirtschaft könnte dazu beitragen, fachlich geschultes Personal zu generieren.

FINANZIERUNG: Die Abfallwirtschaft in China wird durch das nationale Investitions- und Förderprogramm finanziert, das vor allem den Bau von Anlagen berücksichtigt. Für einen ordnungsgemäßen Betrieb des Abfallwirtschaftssystems sollten die Einführung eines Gebührensystems, Subventionen für biogene Abfälle und mögliche Einnahmen aus Produkten aus der Abfallbehandlung in Erwägung gezogen werden. Auch die Umweltvorteile der MBA und der

getrennten Sammlung müssen berücksichtigt werden, da ihre Betriebskosten in der Regel niedriger sind als die Sanierungskosten, die durch Umweltverschmutzung und Klimawandel verursacht werden.

ZUSAMMENARBEIT: Eine enge Zusammenarbeit zwischen chinesischen und deutschen Akteuren, bei der Wissen und Erfahrungen geteilt werden, kann zu einer nachhaltigen Abfallwirtschaft beitragen.

9. Literatur

- BGK, 2010, Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
- BGK, 2016. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
<http://www.kompost.de/themen/bioabfallwirtschaft-in-deutschland/> Retrived Aug. 2016.
- Bilitewski, Bernd; Härdtle, Georg; 2013. Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre 4., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990, 1993, 2000, 2013. ISBN 978-3-540-79530-8.
- BMUB, 2015. Bundesministerium für Umwelt
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/abfallwirtschaft_2016.pdf. Retrived Aug. 2016.
- BMUB, 2016. Bundesministerium für Umwelt, <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallwirtschaft-abfallpolitik-in-d-eu-und-international-kurzinfo/#>. Retrived Aug. 2016
- BMUM, 2009, Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen, Bundesministerium für Umwelt
- CMC, 2004. Law on Prevention and Control of Environmental Pollution Caused by Solid Waste. Chinese Ministry of Construction. <http://www.cin.gov.cn/law/other/2005040807.htm>. (In Chinese).
- CMC, 2005. Regulations Regarding Municipal Construction Waste, Chinese Ministry of Construction. www.cin.gov.cn/law/depart/2005041102.htm. (In Chinese).
- COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste
- Deffree, S., 2007. "Supply Chain Outlook: Bracing for China RoHS." Electronic News. <http://www.edn.com/article/CA6401435.html?partner=enews>.
- DepV (Verordnung über Deponien und Langzeitlager - Deponieverordnung) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. März 2016 (BGBl. I S. 382) geändert
- DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives
- Dorn, T., 2015. Principles, Opportunities and Risks associated with the transfer of environmental technology between Germany and China using the example of thermal waste disposal. Doctoral thesis at University of Rostock, 2015.

- EC, 2001. Document Biological treatment of Biowaste, European commission, directorate-general environment DG ENV. biowaste, 2nd draft” of 12 February 2001
- EPD - Environmental Protection Department, 2009. Provision of Services for Source-separated Organic Waste Surveys and collection Arrangement Study. Food Sampling and Composition Suvey – Summary Report. March 2009
- Gendebien, A., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., Whiting, K. J. et al. (2003). Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives Final Report. European Commission.
- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG); Ausfertigungsdatum: 24.02.2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 4.4.2016 I 569
- He Pinjing, Zhang Chunyan, Yang Na, etc., 2010. Present situation and technical treatment route of rural domestic waste treatment in China. Journal of Agro-Environment Science. 29:2049-2054.
- He Pinjing, Zhang Hua, Lv Fan, etc., 2014. Pattern classification of methods and feasible technology route for household waste management in villages and towns. Journal of Agro-Environment Science. 33:409-414.
- Kern, M., Funda, K. and Mayer, M. (1998) Stand der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. Teil I: Kompostierung. Müll und Abfall J., 11, 694–699.
- Ketelsen, K. and Nelles, M., 2015. Status and new trends / perspectives of MBT in Germany. In proceeding of Waste-to-Resources 2015. 6th International Symposium MBT, MRF & Recycling.
- MEP, 2014. Environmental Statistical Annual Report 2013, Ministry of Environmental Protection. <http://zls.mep.gov.cn/hjtj/nb/2013tjnb/> (Chinese only)
- MEP, 2015. China Statistical Yearbook on Environment, “2015 China Statistical Yearbook”, Ministry of Environmental Protection, National Bureau of Statistics of China. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>
- Mewes F., 2011. Comparison of the thermal waste disposal between Germany and China, Master thesis published with University of Rostock dated 20. July 2011.
- MOHURDa, 2016, 2000 - 2015. China urban and rural construction statistics yearbook. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. China statistics press, Beijing.
- MOHURD, 2016b. National Plan on Municipal Solid Waste Harmless Treatment Facilities Construction in the 13th Five-Year, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the

People's Republic of China.

- MOHURD, 2016c. Urban and rural construction statistical bulletin (2015), Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, China statistics press, Beijing.
- Müller, W., H. Bulson, 2007. Stabilisation and Acceptance Criteria of Residual Wastes - Technologies and their Achievements in Europe. 2. Internationale Tagung MBA 2007 - Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung und automatische Abfallsortierung, Hannover, 22.-24.05.2007.
- Nelles, M., 2013. Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Deutschland – Entwicklung, Status und Ausblick, Beitrag in: Thomé-Kozmiensky, K.; Pomberger, R. (Hrsg.): O. Universitätsprofessor Dr. Karl E. Lorber – Festschrift zur Emeritierung, S. 191-199, ISBN 978-3-944310-03-9 (10/2013).
- Nelles, M. Morscheck, G., Zhou, H.-J & Nassour, A. (2014). Technical Report: ALBA's Green Fuel Technology. University of Rostock, Envero and China university of Petroleum. Unpublished.
- Nelles, M., Morscheck, G., Lemke, A. and El Naas, A., (to be published), Chapter 18: Treatment of the municipal and industrial waste water. In: Applied Bioengineering: Innovations and Future Directions, (to be published), First Edition. Edited by Toshiomi Yoshida. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Rettenberger, G. et al. (2012) Handbuch Bioabfallbehandlung. Erfassung des Anlagenbestands Bioabfallbehandlung, Umweltbundeamt (UBA) Texte, p. 54.
- RICHTLINIE 1999/31/EG DES RATES vom 26. April 1999 über Abfalldeponien
- Rynk, R. et al., 1992, On-Farm Composting Handbook, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-54.
- Schriefe T, 1998. Kommunale Kompostierung und Qualitätssicherung – ein Handbuch. Bremen. Bodenökologische Arbeitsgemeinschaft e.V.
- Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz - TASI) vom 14. Mai 1993 (BAAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993)
- UBA, 2010. Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft; Umweltbundesamt, UBA Text 06/2010
- UBA, 2014. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft>, retrieved Aug. 2016.
- UBA, 2015, Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, TEXTE 39/2015. Umweltbundesamtes, UBA-FB 002084

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-der-emissionssituation-bei-der-ISSN-1862-4804>.

- UCIS, 2009. Sampling and analysis methods for domestic waste. Urban construction industry standard of the People's Republic of China. CJ/T313-2009.
- VHE, 2016. Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e.V., <http://www.vhe.de/kompost/kompostprodukte/>, retrived November 2016
- Wang, Jingmin, et al., 2015. Review and Outlook of Municipal Solid Waste Management in China. (unpublished).
- World Bank, 2005. Waste Management in China: Issues and Recommendations Solid Waste. Washington, DC: World Bank.
<http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTOPURBDEV/Resources/China-Waste-Management1.pdf>.
- Yang N, Damgaard A, Kjeldsen P, Shao L-M, He P-J. 2015. Quantification of regional leachate variance from municipal solid waste landfills in China. Waste Management 46:362-372.
- Yang Na. 2014. Environmental anaylsis of municipal solid waste landfilling in China based on life cycle perspective. Doctor degree thesis. Tongji University.
- Zachäus, D. (1995) Kompostierung, in Biologische Abfallbehandlung (ed. K.J. Thome-Kozmiensky).

10. Anhang

Production, collection, and transportation of MSW

Basic Laws and Regulations	<p>Law of the People's Republic of China on the Prevention and Control of Environmental Pollution by Solid Waste released in 1995 as PD No.58, revised quartic in 2004, 2013, 2015 and 2016</p> <p>The regulation of urban city appearance and environmental sanitation management released in 1992 as Decree of State Council (SC) No.101; revised in 2011</p> <p>Notice on the application of charge system to promote industrialization of MSW treatment released in 2002 by the State Development Planning Commission(SDPC), Ministry of Finance (MoF), MoC, and StateEnvironmentalProtectionAdministration (SEPA) as SDPC-Price [2012] No.872</p> <p>Notice on opinions about further improvement of MSW treatment released in 2011 by SC as Document of SC.[2011] No.9</p>
Policy Documents	<p>Letter on public review of "compulsory waste classification system (exposure draft)" released in 2016 by General Office of the NDRC and MO-HURD as Document No. [2016]1467 of Department of Resource Conservation and Environmental Protection (DRCEP), NDRC</p> <p>The method of calculate and forecast about municipal domestic refuse output(CJ/T106-2016, alternative version of CJ/T 106-1999)</p> <p>Standard for terminology of city appearance and environmental sanitation (CJJ/T 65-2004)</p> <p>Standard for figure symbols of environmental sanitation(CJJ/T 125-2008)</p> <p>Standard for setting of environmental sanitation facilities (CJJ 27-2012)</p> <p>Technical specifications of domestic pollution control for town and village (HJ574-2010)</p>
Standards and specifications	<p>Classification and evaluation standard of municipal solid waste (CJJ/T 102-2004)</p> <p>The classification signs for municipal solid waste (GB/T 19095-2008)</p> <p>Classification of municipal solid waste generation source and discharge (CJ/T 368-2011)</p> <p>Sampling and analysis methods for domestic waste (CJ/T313-2009, alternative version of CJ/T3039-1995)</p>
Waste production and facility planning	<p>General detecting methods for the chemical characteristic of domestic refuse(CJ/T96-2013, alternative version of CJ/T96-1999, CJ/T97-1999, CJ/T98-1999, CJ/T99-1999, CJ/T100-1999, CJ/T101-1999, CJ/T102-1999, CJ/T103-1999, CJ/T104-1999, and CJ/T105-1999)</p> <p>Specific equipment for municipal environmental sanitation (CJ/T 16-1999)</p>
Waste classification	<p>Plastic refuse sack (GB/T 24454-2009)</p> <p>Biodegradable plastic refuse sack (GB/T 28018-2011)</p> <p>General technical specifications for plastic waste container (CJ/T 280-2008)</p> <p>Indoor plastic trash bin(GB/T 28797-2012)</p>
Product standards for waste collection containers and devices	

	Buried garbage collection device (CJ/T 483-2015)	
	Metal trash bin (QB/T 4902-2016)	
	Waste container-Five-ton truck used freight container (CJ/T 5025-1997)	
	Compression refuse collector (CJ/T 127-2000)	
	Plate waste conveyor (CJ/T 390-2012)	
	Compact electric refuse collecting vehicle (CJ/T 419-2012)	
	Kitchen garbage vehicle (QC/T 935-2013)	
	Detachable container garbage collector (QC/T 936-2013)	
	Refuse collection vehicle (QC/T 52-2015)	
	Refuse transfer station facilities (JB/T 10855-2008)	
	Compactor for refuse transfer station (CJ/T 338-2010)	
	Compactor for refuse collection station (CJ/T391-2012)	
	Technical specification for collection and transportation of municipal solid waste (CJJ205-2013)	
	Technical specification for operation and maintenance of municipal solid waste transfer station (CJJ 109-2006)	
	Technical specification for municipal solid waste collecting station (CJJ 179-2012)	
	Construction standards for refuse transfer station (Project construction standard 117-2009)	
	Construction standards for refuse collection station (Project construction standard 154-2011)	
	Evaluation standards for refuse transfer station (CJJ/T 156-2010)	
Technical specification for MSW collection and transportation		
Construction standards for MSW collection and transportation facilities		
Evaluation standards for MSW collection and transportation facilities		

Unsorted MSW treatment

	<p>Policy documents</p> <p>Policy on MSW treatment and pollution prevention/control technologies (released in 2000 by MOC, SEPA, and Ministry of Science and Technology (MoST) as Jiancheng No. [2000]120)</p> <p>Guidelines for MSW treatment technologies (released in 2010 by MOHURD, NDRC, and Ministry of Environmental Protection (MEP) as Document No. [2010]61 of Department of Urban Construction, MOHURD)</p> <p>Opinions on improving co-processing of municipal and industrial waste in production processes (released in 2014 by NDRC, MoST, Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), and so on as Document No. [2014]884 of DRCEP, NDRC)</p> <p>Notice on carrying out pilot work in co-processing of MSW by cement kiln (released in 2015 by General Office of MIIT, General Office of MOHURD, and NDRC as Document No. [2015]28 of General Office, MIIT)</p>
--	--

<p>Sanitary landfill</p>	
<p>Standard for project construction</p>	<p>Project construction standard for MSW sanitary landfill site (Project construction standard 124-2009)</p>
<p>Standard for pollution control</p>	<p>Project construction standard for closure of MSW sanitary landfill site (Project construction standard 140-2010)</p>
<p>Technical Specification for Project Design</p>	<p>Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste (GB 16889-2008)</p> <p>Technical Guideline for Projects of Municipal Solid Waste Sanitary Landfills (RISN-TG014-2012)</p> <p>Technical code for municipal solid waste sanitary landfill (GB 50869-2013, alternative version of CJJ17-2004)</p> <p>Technical code for liner system of municipal solid waste landfill (CJJ 113-2007)</p> <p>Technical code for geotechnical engineering of municipal solid waste sanitary landfill (CJJ 176-2012)</p> <p>Leachate treatment project technical specification of municipal solid waste landfill (HJ564-2010)</p> <p>Technical code for ecological restoration technologies of old municipal solid waste landfill (under preparation)</p>
<p>Technical specification for operation and maintenance</p>	<p>Technical specification for operation and maintenance of municipal solid waste sanitary landfill (CJJ 93-2011)</p> <p>Technical code for municipal solid waste sanitary landfill closure (CJJ 112-2007)</p> <p>Technical specification for operation and maintenance of landfill gas collection, treatment and utilization projects (CJJ 175-2012)</p> <p>Technical requirements for site utilization after stabilization in municipal solid waste landfill (GB/T 25179-2010)</p>
<p>Evaluation standard</p>	<p>Standard of assessment on municipal solid waste landfill (CJJ/T 107-2005)</p> <p>Monitoring and testing in municipal solid waste landfill degradation treatment (GB/T 23857-2009)</p> <p>Technical specification for soil test of landfilled municipal solid waste (CJJ/T 204-2013)</p>

	<p>Technical specification for leak location surveys of geomembrane in municipal solid waste landfill (CJJ/T 214-2016)</p> <p>Technical requirement for environmental monitor on sanitary landfill site of domestic refuse (GB/T 18772-2008)</p> <p>Specific equipments for municipal environmental sanitation-Sanitary landfill of refuse (CJT 18-1999)</p> <p>Sanitary landfill compactor (JB/T 10668-2006)</p> <p>Technical requirements of compactor for landfill (CJT 301-2008)</p> <p>Sanitary landfill compactor (GB/T 27871-2011)</p> <p>High density polyethylene geomembrane used for landfills (CJT 234-2006)</p> <p>Liner low density polyethylene geomembrane used for landfills (CJT 276-2008)</p> <p>High density polyethylene pipe used for landfills (CJT 371-2011)</p> <p>Nonwoven geotextiles used for landfills (CJT 430-2013)</p> <p>Geomats for landfills (CJT 436-2013)</p> <p>Geofiltration fabrics for landfills (CJT 437-2013)</p> <p>Geonets Drain for Landfills (CJT 452-2014)</p> <p>Disc-tube reverse osmosis equipment for domestic waste leachate treatment (CJT 279-2008)</p> <p>Spiral-wound reverse osmosis equipment for municipal solid waste leachate treatment (CJT 485-2015)</p> <p>Equipment for Renewing the Plant Cover for Sanitary Landfills Closure (GB/T 29150-2012)</p>
Product Standard	

Incineration	
Standards for project construction	Construction standard for Municipal solid incineration treatment plant (Jianbiao 142-2010)
Standard for pollution control	Standard for pollution control on municipal solid waste incineration GB18485-2014 (replace of GB 18485-2001)
Technical Specification for Project Design	Technical Code for Municipal Solid waste incineration projects (CJJ 90-2009)
Technical Specification for Operation & Maintenance	Technical specifications for bag filters of municipal solid waste incineration (HJ 2012-2012)
	Technical specification for operation maintenance and safety of municipal solid waste (CJJ 128-2009)
Evaluation Standard	Specification for maintenance of municipal solid waste incineration plant (CJJ 231-2015)
	Standard for supervision on operation of municipal solid waste incineration plants (CJJ/T 212-2015)
Product Standard	Standard for assessment on municipal solid waste incineration plant (CJJ/T137-2010)
	Specific equipment for municipal environmental sanitation - incineration, gasification, pyrolysis of refuse (CJT 20-1999)
	Technical requirements of waste grab cranes in domestic waste incineration plant (CJT 432-2013)

	Specification of MSW incineration boilers (JB/T 10249-2001)
	Municipal solid waste incinerator and boiler (GB/T 18750-2008)
	Technical requirements for grate of huge type MSW incinerator (JB/T 12121-2015)
	MSW incineration exhaust gas treatment equipment (GB/T 29152-2012)
	Fabric for bag filter of exhaust gas treatment in solid waste incinerator (JB/T 11310-2012)
Standard for Product (Residue) Utilization	Municipal solid waste incineration bottom ash aggregate (GB/T 25032-2010)
Composting	
Standards for project construction	Construction standard for waste composting treatment plant (Construction standard 141-2010)
Standard for pollution control	Pollutant control standard of bioorganic waste composting (under preparation, plan to publish on 2018)
Technical Specification for Project Design	Technical code for the composting of municipal solid waste CJJ 52-2014 (replace of CJJ/T52-93)
Technical Specification for Operation & Maintenance	Technical specification for operation and maintenance of municipal solid waste composting plant CJJ 86-2014 (replace of CJJ/T86-2000)
Evaluation Standard	Technical evaluation targets on municipal solid waste composting plant (CJ/T 3059-1996)
Product Standard	Standard for assessment on municipal solid waste compost plant (CJJ/T 172-2011)
	Specific equipment for municipal environmental sanitation – compost of refuse (CJ/T 19-1999)
	Bio-chemical processor for organic waste (CJ/T 227-2006)
	Equipment for automatic monitoring and control of composting (CJ/T 369-2011)
	Automatic equipment of oxygen monitoring for aerobic composting (CJ/T408-2012)
	Real-time on-line detection equipment for odor from municipal solid waste (CJ/T465-2015)
	Pile turning machine for composting (under preparation)
	Integrated aerobic composting equipment (under preparation)
Standard for Product (Residue) Utilization	Control standards for urban wastes for agricultural use (GB 8172-1987)
	Organic fertilizer (NY 525-2002)
	Organic-inorganic compound fertilizer (NY481-2002)
	Organic-inorganic compound fertilizer (GB18877-2002)
	Microbial organic fertilizers (NY884-2004)
	Compound microbial fertilizers (NY/T798-2015)
	Organic media for greening use (LY/T1970-2011)

<p>Quality of sludge from municipal wastewater treatment plant (GB24188-2009) Disposal of sludge from municipal wastewater treatment plant – quality of sludge used in garden or parks (GB/T 23486-2009) Disposal of sludge from municipal wastewater treatment plant –sludge quality for land improvement (GB/T 24600-2009)</p>	
<p>co-processing of solid waste in cement kiln</p>	
<p>Technology policy of pollution prevention and control on co-processing of solid waste in cement kiln (released in 2016 by Ministry of Environmental Protection No.72) Standard for pollution control on co-processing of solid waste in cement kiln (GB 30485-2013) Standard for technology on co-processing of solid waste in cement kiln (GB30760-2014) Standard for engineering design on co-processing of waste in cement kiln (GB50954-2014) Standard for design on co-processing of industrial waste in cement kiln (GB50634—2010) Standard for environmental protection technology on co-processing of solid waste in cement kiln (HJ662-2013)</p>	