TEXTE
39/2018

Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung

Informationssammlung über Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung der kommunalen Abfallbewirtschaftung und dafür geeignete Technologien und Ausrüstungen

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 39/2018

Sachverständigengutachten

Projektnummer 56401
UBA-FB 002527/CD

Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung

Informationssammlung über Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung der kommunalen Abfallbewirtschaftung und dafür geeignete Technologien und Ausrüstungen

von

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Bernd Bilitewski
INTECUS Dresden GmbH, Dresden

Dipl. –Ing. Jörg Wagner
INTECUS Dresden GmbH, Dresden

Dipl. –Ing. Jan Reichenbach ppa.
INTECUS Dresden GmbH, Dresden

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
INTECUS Dresden GmbH – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management
Pohlandstraße 17
01309 Dresden

Abschlussdatum:
Juni 2017

Redaktion:
Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer
Ralf Menzel

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2018

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Leitprinzipien für das Ressourcen- und Abfallmanagement und ihre Umsetzung 4

Horizontaler Rahmen des EU-Abfallrechts.. 7

Abfallstrombezogene Richtlinien der EU .. 11

Technologieorientierte Richtlinien der EU 17

Abfallvermeidung 19

Gebietstypisierung 26

Abfallbehandlungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung lokaler Voraussetzungen 32

- Option 1 34
- Option2 35
- Option3 36
- Option4 37
- Option5 38
- Option 6 39
- Option 7 40
- Option 8 41
- Option 9 42
- Option 10 43
- Option 11 44
- Option 12 45
- Option 13 46
- Option 14 47

Lokalspezifische Anwendung verschiedener Abfallbehandlungsmöglichkeiten 48

Finanzierung der Abfallwirtschaft und Möglichkeiten der Kostendeckung 57

Sammlung und Abfuhr sowie Umschlag und Transport von Siedlungsabfällen 71

- Abrollcontainer 77
- Absetzcontainer 80
- Mobiler Abfallsammelbehälter 83
- Depotcontainer 87
- Abfallsäcke 91
- Big Bag 94
- Hecklader 97
- Frontlader 101
- Seitenlader 104
- Saugsysteme 108
- Behälteridentifizierungen 112
- Schubbodentransporter 117
- Wechselcontainer 120
- Umladestation 124

Aufbereitung, Behandlung und Verwertung von Siedlungsabfällen 128

- Aufbereitung und Sortierung von Altpapier 138
- Aufbereitung und Sortierung von Altglas 144
- Aufbereitung und Sortierung von Leichtverpackungen 148
- Aufbereitung und Sortierung von Sperrmüll 155
- Bioabfallkompostierung 160
- Anaerobe Vergärung 168
- Mechanisch-biologische Behandlung 176
- Solartrocknung von Abfällen und Klärschlamm 187
- Industrielle Mitverbrennung 191
- Rostfeuerung 196
- Wirbelschichtverbrennung 202

Rauchgasreinigung 209
Phosphorrückgewinnung 216
Zwischenlagerung und Deponierung von Abfällen..... 224
Zwischenlagerung..... 226
Inertstoffdeponie 230
Deponie für nicht gefährliche Abfälle . 234
Deponie für gefährliche Abfälle 240
Umgang und Verwertung spezieller Abfallströme 246
Bau- und Abbruchabfälle..... 249
Altfahrzeuge 256
Altreifen 261
Altöl 266
Altbatterien und Akkumulatoren 270
Eltro- und Elektronikaltgeräte 279
Altlampen..... 287
Krankenhausspezifische Abfälle..... 291
Altfarben/-lacke..... 297
Altteppiche..... 299
Kommunaler Klärschlamm..... 302

Einleitung

Die zunehmende Notwendigkeit zum Umweltschutz, insbesondere vor dem Hintergrund, dass der Verknappung natürlicher Ressourcen und dem Klimawandel begegnet und der wachsenden Erdbevölkerung ein gesunder Lebensraum mit ausreichend trinkbarem Wasser, fruchtbaren Böden und sauberer Luft gesichert werden muss, erhöht auch die Anforderungen an eine effektive und nachhaltige Abfallwirtschaft. Dies betrifft alle Länder unabhängig vom jeweiligen Entwicklungsstand gleichermaßen. Eine Vielzahl von Ländern steht deshalb derzeit vor der Aufgabe, einen Transformationsprozess einleiten zu müssen, welcher von der einfachen Ablagerung schrittweise zu einer Bewirtschaftung von Abfällen führen soll.

Deutschland hat in den vergangenen Jahrzehnten diesen Prozess bereits durchlaufen und sich weltweit einen hervorragenden Ruf bei der Umsetzung einer modernen, zukunftsorientierten Abfallwirtschaft erarbeitet. Selten sind in Deutschland technische, organisatorische oder rechtliche Bestimmungen für die Abfallwirtschaft verfasst worden, ohne dass diese die Entwicklung von Abfallbehandlungstechnologien erheblich vorangebracht haben. Die für die Abfallentsorgung zuständigen Akteure wurden damit im Verlauf der Jahre immer besser befähigt, sich der Herausforderungen und Bedürfnisse, welche durch die neue Orientierung und später insbesondere auch die EU-Gesetzgebung entstanden, anzunehmen und geeignete Maßnahmen und Lösungsansätze dafür zu entwickeln. Deutsche Technologieanbieter gelangten auf diesem Weg in eine Vorreiterrolle, welche bis heute nicht nur auf der Innovation, Verlässlichkeit und Wirksamkeit ihrer Technologie fußt sondern auch darauf, dass jahrzehntelange Anwendungserfahrungen bewirkt haben, dass deutsche Hersteller- und Dienstleistungsunternehmen die Notwendigkeit zu Einführung einer bestimmten Technologie einzuschätzen gelernt haben, deren Einschränkungen kennen und auf dieser Basis ein effektives Abfallmanagement zu planen in der Lage sind.

Vor dem Hintergrund der globalen Herausforderungen und des hohen Bedarfes beim Umweltschutz in vielen Ländern ist es ein Ziel Deutschlands, den Wissens- und Technologietransfer und damit den Export bewährter und leistungsfähiger Umwelttechnik im Allgemeinen und von Abfallbehandlungstechnik im Besonderen zu unterstützen. Wesentlicher Bestandteil des Wissens- und Technologietransfers ist die Information über den Stand der Abfalltechnik in Deutschland und über die von deutschen Firmen zur Bewirtschaftung von Abfällen angebotenen Verfahren, Maschinen, Anlagen, Container oder Fahrzeuge. Die vorliegende Informationssammlung soll die in Deutschland erfolgreich eingesetzten abfallwirtschaftlichen Verfahren und Techniken in einer komprimierten, systematischen Art dokumentieren, ihre Anwendungsmöglichkeiten skizzieren und Interessenten aus dem In- und Ausland in einer benutzerfreundlichen elektronischen Form die Möglichkeit eröffnen, wesentliche Einblick in die technologischen Rahmendaten zu erhalten sowie Anbieter der jeweiligen Technologien kennen zu lernen.

Leitprinzipien für das Ressourcen- und Abfallmanagement und ihre Umsetzung

Einführung

Im Ergebnis der heutigen Lebensgestaltung und wirtschaftlichen Aktivitäten ist es unvermeidlich geworden, dass Abfälle entstehen zu denen unter anderem auch besonders gefährliche und giftige Abfälle gehören. Zur Sicherung der Lebensqualität und des ökologischen Gleichgewichtes ist es erforderlich, sich einerseits dieser Abfälle anzunehmen, sie im Sinne der Ressourcenschonung zu nutzen und wo dies nicht durchführbar ist, sie möglichst schadlos zu entsorgen. Gleichzeitig muss aber auch die Erzeugung von Abfällen verringert werden. Es ist eine besondere Herausforderung, den Schutz der Umwelt mit dem Erhalt der Wirtschaftskraft so zu verbinden, dass eine nachhaltige Entwicklung erreicht werden kann.

Die Europäische Union nimmt in Fragen des Umweltschutzes und im Streben um eine nachhaltige Entwicklung weltweit eine wichtige Rolle ein und versucht in vielen Bereichen Vorreiter zu sein und ein Vorbild für andere Regionen zu bieten. Dabei setzt sie nicht auf eine reine Verbotspolitik sondern versucht eine Umweltpolitik zu etablieren die in der Überzeugung gründet, dass strenge Umweltschutznormen Innovationen und Geschäftsmöglichkeiten stimulieren und dass Wirtschafts-, Industrie-, Sozial- und Umweltpolitik eng miteinander verknüpft werden müssen. Die Entwicklung und Anwendung von Leitprinzipien für das politische und praktische Handeln ist ein wichtiger Prozess der auch die Grundlagen für die Formulierung der Gesetzgebung liefert. Hinsichtlich des Ressourcen- und Abfallmanagements findet der Prozess in der Festlegung von Umweltaktionsplänen, Initiativen und Strategien seinen Ausdruck. Diese spiegeln den Grundsatz der Vorsorge[1] und das des Verursacherprinzips[2] als Leitprinzipien für die Umweltpolitik in der EU wieder.

Durch Anwendung dieser Prinzipien soll dafür gesorgt werden, dass der Verbrauch erneuerbarer und nicht erneuerbarer Ressourcen die Tragfähigkeitsgrenzen der Umwelt nicht übersteigt. Dies soll erreicht werden, indem das Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch abgekoppelt wird, die Ressourcen effizienter genutzt werden und das Abfallaufkommen reduziert wird. Das Ziel speziell für Abfall besteht in einer Verminderung des endgültig zu entsorgenden Abfalls um 50 % bis zum Jahr 2050.

Die hierfür entwickelte Strategie verfolgt die Verringerung der Umweltbelastungen durch Abfälle über deren gesamte Lebensdauer hinweg, von der Erzeugung über das Recycling bis zur Beseitigung. Abfall wird bei diesem Konzept nicht nur als eine Ursache für die Umweltverschmutzung betrachtet, die es zu verringern gilt, sondern auch als ein potenziell verwertbarer Rohstoff. Die Abfallwirtschaft wird zur Stoffstrom- und Kreislaufwirtschaft, deren Ziel die stoffstromorientierte Ressourcenschonung ist.

Vor diesem Hintergrund stellt insbesondere die Deponierung von Abfällen langfristig keine praktikable Lösung zur Abfallentsorgung dar. Auch die einfache Verbrennung unsortierter Abfälle ist wegen der damit verbundenen Materialverluste, Emissionen sowie der verbleibenden Rückstände mit hoher Schadstoffkonzentration nur eine unbefriedigende Alternative. Nach der Abfallvermeidung als oberstem Handlungsgrundsatz zur Ressourcenschonung und Verringerung der Umweltbelastungen besteht der nächste zu präferierende Ansatz für ein nachhaltiges Abfallmanagement in der Vorbereitung zur Wiederverwendung. Produkte bzw. Erzeugnisse, die zu Abfall geworden sind, sollen nach einem vorbereitenden Zwischenschritt einer Wiederverwendung zugeführt werden. Der dritte Ansatz fordert eine Abfallverwertung durch Recycling der im Abfall enthaltenen Wertstoffe und ihre Wiedereinführung in den Produktkreislauf. Hierbei kommt der Trennung bestimmter Abfallstoffe am Anfallort bzw. im Zuge ihrer Sammlung und Erfassung eine wichtige Bedeutung zu. Bei der beschriebenen Prioritätenfolge spricht man auch von der

[1] Bei eher potenziellen als nachgewiesenen Umweltgefahren handelt die Europäische Kommission nach dem Vorsorgeprinzip, d. h. sie schlägt Schutzmaßnahmen vor, wenn ein reelles Risiko vorliegt – auch dann, wenn die letzte wissenschaftliche Gewissheit noch aussteht

[2] Nach dem Verursacherprinzip hat derjenige, welcher Umweltbelastungen durch sein Handeln herbeiführt für die Kosten zur Sicherung der Umwelt vor den davon ausgehenden Gefahren und/oder zur Beseitigung der Auswirkungen einzustehen. Gegebenenfalls werden auch Investitionen vom Verursacher verlangt, um höhere Normen einzuhalten. Er kann auch verpflichtet werden, bestimmte Produkte nach Gebrauch zurück zu nehmen, wiederzuverwerten oder zu entsorgen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Verfahren die den Ressourcenverbrauch befördern sowie Unternehmen oder Verbraucher, die umweltschädliche Produkte verwenden, speziell zu besteuern. Produkt- und Herstellerverantwortung sind Teil des Verursacherprinzips

Anwendung der Abfallhierarchie, auf die man sich in der EU als Grundsatz für rechtsetzende Maßnahmen für den Bereich der Kreislaufwirtschaft geeinigt hat. Nach dieser Hierarchie sind Abfälle

- in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch Verminderung der Menge und Schädlichkeit,
- in zweiter Linie für eine Wiederverwendung vorzubereiten,
- in dritter Linie zu recyceln und
- in vierter Linie einer sonstigen Verwertung zu unterziehen z. B. einer energetischen Verwertung.
- Die verbleibenden Restabfälle sind gemeinwohlverträglich zu beseitigen

Wesentliches Merkmal des daran ausgerichteten Abfallrechts in der Europäischen Union ist die identische Grundorientierung ausgedrückt durch die Zielstellungen:

- Begrenzung der Abfallmenge und der Abfallintensität
- Entkopplung des Wirtschaftswachstum vom Abfallaufkommen,
- Förderung der Wiederverwendung, des Recyclings und der Verwertung.

Die Rangfolge der Ziele soll allerdings die unterschiedlichen Umweltfolgen, die verschiedene Abfallbehandlungsmethoden nach sich ziehen können, berücksichtigen. Das Ziel einer Recycling- und Verwertungsgesellschaft bedeutet aber, nach oben gerichtete Fortschritte in der Rangfolge zu erzielen, weg von der Deponierung und hin zu mehr Recycling und Verwertung. Darin besteht der Kern des Konzeptes, das die Umweltfolgen und den Lebenszyklus von Ressourcen berücksichtigt.

Das Gesamtgebäude der europäischen Abfallpolitik einschließlich der Gesetzgebung kann wie in Abbildung 1 abgebildet werden. Den Überbau bilden Regelungen für eine integrierte Umweltpolitik und ein koordinierter Rahmen für die Abfallbewirtschaftung durch den das Abfallaufkommen begrenzt und die Aufbereitung und Entsorgung der Abfälle bestmöglich erreicht werden sollen. Den Unterbau liefern Strategien welche Ziele und Maßnahmen aufzeigen, mit denen die Umweltbelastungen aus der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen reduziert werden sollen (Horizontaler Rahmen für das EU-Abfallrecht).

Abbildung 1: Grundstruktur des europäischen Rechtsgebäudes für die Abfallwirtschaft

Zur Umsetzung dienen verschiedene Richtlinien, wobei unterschieden werden kann in

- Richtlinien die sich auf bestimmte abfallwirtschaftliche Technologien und Anlagen beziehen,
- Richtlinien die sich auf bestimmte Abfallarten bzw. Abfallströme beziehen und
- Richtlinien die Überwachungs- und Kontrollmechanismen regeln.

Die auf EU-Ebene verabschiedeten Richtlinien geben den einzelnen Mitgliedsstaaten, darunter auch Deutschland, einen Rechtsrahmen vor, welcher von diesen mit eigenen nationalen Gesetzgebungen und Maßnahmen ausgefüllt wird (Tabelle 1). Ausgehend von den spezifischen Bedingungen und Besonderheiten vor Ort treffen die lokalen Gesetzgeber und Behörden also ihrerseits Regelungen, die sowohl den speziellen Erfordernissen vor Ort als auch den für Europa formulierten Zielstellungen gerecht werden. Die für die EU entwickelten und in ihr praktizierten Leitprinzipien zum Abfallmanagement können also auch an jeder anderen Stelle in der Welt als Orientierung zur Herbeiführung

einer nachhaltigen Entwicklung und zur Förderung und Verwirklichung von besten Praktiken dienen.

Die praktische Umsetzung unterstützen und wichtige Referenzdokumente zum Verständnis der in den EU-Rechtsdokumenten geforderten Normen und Praktiken bilden sogenannte BAT oder BREF-Dokumente (Best available techniques REFerence documents).

In diesen Dokumenten werden die in der Gemeinschaft bei industriellen Tätigkeiten angewandten Verfahren beschrieben und die im Zuge der Anwendung auftretenden Umweltwirkungen und Verbrauchswerte dargestellt. Diese Angaben sind nicht als verbindlich anzustrebende Limits sondern als orientierende Informationen über fortschrittliche und anstrebenswerte Techniken und Vorgehensweisen zu verstehen.

- BREF – Abfallbehandlung (de / en)
- BREF – Abfallverbrennung (de / en)
- BREF – Halden und Restgestein aus Bergbauaktivitäten (de / en)
- BREF – Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie (de / en)
- BREF –Schlachtbetriebe und tierische Nebenprodukte (de / en)

Tabelle 1: Überblick zu Rechtsrahmen und wesentlichen Grundlagenakten für die Abfallwirtschaft in der EU

Horizontaler Rahmen für das EU Abfallrecht (Grundsatzregelungen)		
Richtlinie über Abfälle (EG-Abfallrahmenrichtlinie) (2008/98/EG) Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft COM(2015) 614 final EU-Leitinitiative Ressourcenschonendes Europa COM (2011)0021 final 7. EU-Umweltaktionsprogramm 1386/2013/EU		
Abfallstromspezifische Regelungen	**Überwachung und Kontrolle**	**Technologieorientierte Regelungen**
▸ Verpackungen und Verpackungsabfälle (94/62/EC) ▸ Altfahrzeuge (2000/53/EC) ▸ Elektro- und Elektronik-Altgeräte (2012/19/EU) ▸ Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren (2006/66/EC) ▸ Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT) (96/59/EC) ▸ Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft (86/278/EEC) ▸ Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie (2006/21/EC)	▸ Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der Europäischen Gemeinschaft (EC) Nr. 1013/2006 ▸ Überwachung und Verbringungen radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (2006/117/Euratom)	▸ Abfalldeponien (99/31/EC) ▸ Hafenauffangeinrichtungen für Schiffsabfälle und Ladungsrückstände (2000/59/EC) ▸ Richtlinie über Industrieemissionen (2010/75/EU)

Horizontaler Rahmen des EU-Abfallrechts

- Abfallrahmenrichtlinie
- Abfallverbringungsverordnung
- EU-Leitinitiative für ein ressourcenschonendes Europa
- 7. Umweltaktionsprogramm

Abfallrahmenrichtlinie

Abfallrahmenrichtlinie 2008 / 98/EG	
Referenz	OJ L 312/3, 22.11.2008 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:de:PDF
Hauptanliegen/ -zielstellung	Gibt einen koordinierten Rahmen für die Bewirtschaftung von Abfällen in den Mitgliedstaaten vor, durch den das Abfallaufkommen begrenzt die Aufbereitung und die Entsorgung dieser Abfälle bestmöglich organisiert werden sollen.
Definitionen	Abfälle sind nach Artikel 3 der Abfallrahmenrichtlinie jeder Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Der Abfallbesitzer ist dabei der Erzeuger der Abfälle oder die natürliche oder juristische Person, in deren Besitz sich die Abfälle befinden. Die Abfallrahmenrichtlinie definiert des Weiteren die Sammlung, die Behandlung und weitere Aspekte der Abfallbewirtschaftung zur Schaffung eines gemeinsamen Konsenses hinsichtlich der EU-weiten Kommunikation in der Kreislaufwirtschaft.
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ verpflichtet jeden Abfallbesitzer zum ordnungsgemäßen Umgang mit Abfällen ▸ ein zusammenhängendes System zur Bewirtschaftung von Abfällen ist zu errichten welches illegale Ablagerung verhindert und es Abfallbesitzern ermöglicht Abfälle ordnungsgemäß zu verwerten und zu entsorgen ▸ legt eine fünfstufige Abfallhierarchie fest: 1) Vermeidung 2) Vorbereitung zur Wiederverwendung, 3) Recycling, 4) sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung, 5) Beseitigung. ▸ die Mitgliedsstaaten sollen Maßnahmen treffen, um im Rahmen der Abfallhierarchie ein integriertes und angemessenes Netz von Abfallbeseitigungsanlagen und Anlagen zur Verwertung von gemischten Siedlungsabfällen zu errichten (Grundsatz der Entsorgungsautarkie) ▸ die Verwertung von Abfällen sowie die Verwendung wiedergewonnener Materialien als Rohstoffe sind im Interesse der Erhaltung der natürlichen Rohstoffquellen zu fördern ▸ Mitgliedstaaten sollen Abfallbewirtschaftungspläne und Abfallvermeidungsprogramme erstellen ▸ Unternehmen, die Abfälle beseitigen und verwerten sollen der Genehmigung und Kontrolle unterliegen ▸ Kosten, die nicht durch die Verwertung der Abfälle gedeckt werden, sollen entsprechend dem Verursacherprinzip getragen werden.

Abfallverbringungsverordnung

Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 über die Verbringung von Abfällen (Abfallverbringungsverordnung)	
Referenz	OJ L 190/1, 12.7.2006 Internet: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1013:EN:NOT
Hauptanliegen/ -zielstellung	Vorrangiger Zweck und Gegenstand dieser Verordnung ist der Umweltschutz. Das Ziel besteht insbesondere in der Errichtung eines einheitlichen Systems zur Überwachung und Kontrolle aller Vorgänge zur Verbringung von Abfällen.
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ Verbringung gefährlicher Abfälle ist durch geeignete Maßnahmen auf ein Mindestmaß zu beschränken ▸ bei der Verbringung von zur Beseitigung bestimmten Abfällen sollen die Grundsätze der Nähe, des Vorrangs für die Verwertung und der Entsorgungsautarkie Beachtung finden ▸ ein integriertes und angemessenes Netz von Abfallbeseitigungsanlagen ist zu errichten ▸ zur Verwertung bestimmte Abfällen sollen nur zu Abfallbehandlungsanlagen verbracht werden die in Übereinstimmung mit der für sie erteilten Genehmigung die besten verfügbaren Techniken nutzen ▸ Abfälle, deren Verbringung illegal erfolgt oder nicht wie vorgesehen abgeschlossen werden kann, sind vom Versandstaat zurückzunehmen und auf andere Weise zu verwerten oder beseitigen ▸ trifft Bestimmungen zu Möglichkeiten und Einschränkungen von Abfallverbringungen bzw. Verbote der Verbringung bestimmter Abfälle in Staaten außerhalb der EU ▸ verfügt die Gruppierung der Abfälle in Listen (grün, gelb, rot) woran sich die Möglichkeiten, Einschränkungen und anzuwendenden Prozeduren für die Verbringung knüpfen. ▸ trifft Anweisungen bezüglich eines einheitlichen und verbindlichen Notifizierungsprozesses für die Abfallverbringung. ▸ organisiert Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen mit dem Ziel Umwelt und Gesundheit zu schützen und eine gemeinschaftsweit einheitliche Anwendung der Verordnung zu fördern.

EU-Leitinitiative für ein ressourcenschonendes Europa

EU -Leitinitiative für ein ressourcenschonendes Europa COM (2011) 0021 final	
Referenz	COM (2011) 0021 final Internet: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:52011DC0021
Hauptanliegen/ -zielstellung	In Anbetracht einer sich verstärkenden Ressourcenknappheit setzt die Europäische Union Ressourcenschutzstrategien verstärkt auf die politische Agenda. Die Leitinitiative Ressourcenschonendes Europa fordert dahingehend das Ergreifen von Maßnahmen der Mitgliedsstaaten, die die Umstellung auf eine ressourcenschonende und kohlenstoffarme Wirtschaft erleichtern, so dass ▸ eine Stärkung der Wirtschaftsleistung bei gleichzeitiger Verringerung des Ressourceneinsatzes (Entkopplung), ▸ eine Ermittlung und Schaffung neuer Wachstums- und Innovationsmöglichkeiten sowie Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der EU ▸ eine Sicherung der Versorgung mit wesentlichen Ressourcen und

EU -Leitinitiative für ein ressourcenschonendes Europa COM (2011) 0021 final	
	▸ eine Bekämpfung des Klimawandels und Eindämmung der Umweltauswirkungen der Ressourcennutzung erreicht werden kann.
Wesentliche Regelungs-bereiche	Ein wichtiges Ziel der Leitinitiative ist die langfristige Einbeziehung von Ressourceneffizienz in ausgewogener Weise in alle einschlägigen Maßnahmen. Als wesentliche Komponenten der langfristigen Ressourcensicherung werden Fahrpläne für die u.a. folgenden Aktivitäten vorgesehen: ▸ Skizzierung, was die EU zur Umstellung auf eine emissionsarme Wirtschaft bis zum Jahr 2050 tun muss, wenn die Kohlenstoffemissionen im Rahmen der internationalen Klimaschutzanstrengungen um 80-95% gesenkt und gleichzeitig die Energieversorgungssicherheit verbessert und ein nachhaltiges Wachstum und die Beschäftigung gefördert werden sollen; ▸ Untersuchung, wie die EU bis 2050 auf ein Energiesystem umstellen kann, das kohlenstoffarm, ressourcenschonend, sicher und wettbewerbsfähig ist. Dies sollte Investoren, Wissenschaftlern, politischen Entscheidungsträgern und Regulierungsbehörden Planungssicherheit geben; ▸ Vorlage einer Zukunftsvision für ein kohlenstoffarmes, ressourcenschonendes, sicheres und wettbewerbsfähiges Verkehrssystem mit dem Zeithorizont 2050, die die Beseitigung aller Hindernisse für den Binnenmarkt für Verkehr, die Förderung umweltfreundlicher Technologien und die Modernisierung der Verkehrsnetze vorsieht; ▸ Festlegung mittel- und langfristiger Ziele und darauf ausgelegte Maßnahmen zur Entkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcennutzung und deren Umweltauswirkungen Die Fahrpläne, die zur Umsetzung der folgenden Aktivitäten dienen, sind im Anhang der Leitinitiative gelistet. Einige zu nennende Fahrpläne und Strategien als Teil der Leitinitiative sind: ▸ die Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz (Energieeffizienzplan 2020), ▸ Maßnahmen für die Grund- und Rohstoffmärkte (Mitteilung über die Herausforderungen auf den Grund- und Rohstoffmärkten) ▸ der Übergang zu einer CO_2-armen Wirtschaft (Fahrplan für eine CO_2-arme Wirtschaft bis 2050), ▸ die Abkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcennutzung (Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa),

7. Umweltaktionsprogramm

7. Umweltaktionsprogramm: Beschluss Nr. 1386/2013/EU des Parlaments und des Rates vom 20. November 2013 über ein allgemeines Umweltaktionsprogramm der Union für die Zeit bis 2020 „Gut leben innerhalb der Belastbarkeitsgrenzen unseres Planeten“	
Referenz	L 354/171 Internet: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32013D1386
Hauptanliegen/ -zielstellung	Aufeinanderfolgende Umweltaktionsprogramme bilden seit 1973 den Rahmen für die Tätigkeit der Union im Umweltbereich. Das 7. Umweltaktionsprogramm (laufend bis 2020) umfasst neun prioritäre Ziele und die grundsätzlich erforderlichen Aktivtäten der EU, um diese Ziele bis 2020 zu erfüllen. Das Umweltaktionsprogramm statuiert entsprechend die notwendigen Anstrengungen zum Schutz der natürlichen Ressourcen zu verstärken, Anreize zu schaffen, um Wachstum und Innovationen so ressourceneffizient und CO_2-arm wie möglich zu gestalten, zu Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen beizutragen und dabei die natürlichen Grenzen der Erde nicht aus den Augen zu verlieren.
Wesentliche Regelungs-bereiche	Das Programm soll als strategische Grundlage für künftige Maßnahmen der EU-Organe und der Mitgliedstaaten dienen, die gemeinsame Verantwortung für dessen Umsetzung und die Erreichung der prioritären Ziele tragen. Die prioritären Ziele des 7. Umweltaktionsprogramms sind: ▸ Schutz, Erhaltung und Verbesserung des Naturkapitals der Union ▸ Übergang zu einer ressourceneffizienten, umweltschonenden und wettbewerbsfähigen CO_2-armen Wirtschaftsweise in der Union ▸ Schutz der Unionsbürger vor umweltbedingten Belastungen, Gesundheitsrisiken und Risiken für die Lebensqualität, ▸ Maximierung der Vorteile aus dem Umweltrecht der Union durch verbesserte Umsetzung, ▸ Verbesserung der Wissens- und Faktengrundlage für die Umweltpolitik der Union, ▸ Sicherung von Investitionen für Umwelt. Und Klimapolitik und Berücksichtigung von Umweltkosten unter Beachtung etwaiger nachteiliger sozialer Auswirkungen ▸ Verbesserung der Einbeziehung von Umweltbelangen in andere Politikbereiche und kohärente Gestaltung von Politikansätzen ▸ Förderung der Nachhaltigkeit der Städte in der Union ▸ Verbesserung der Fähigkeit der Union, wirksam auf internationale Umwelt- und Klimaprobleme einzugehen.

Abfallstrombezogene Richtlinien der EU

- Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle
- Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte
- Richtlinie über Altfahrzeuge
- Richtlinie über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren
- Richtlinie zur landwirtschaftlichen Verwendung von Klärschlamm und Sonstige Richtlinien

Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle

Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle ergänzt durch Richtlinien 2004/12/EG, 2005/20/EC und 2013/2/EU	
Referenz	OJ L 365, 31.12.1994; OJ L 284, 31.10.2003; OJ L 47, 18.2.2004; OJ L 70, 16.3.2005; OJ L 87, 31.3.2009; OJ L 37/10, 08.02.2013; OJ L 115, 6.5.2015 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:31994L0062
Hauptanliegen/-zielstellung	Ziel der Direktive ist es, die unterschiedlichen Maßnahmen der Mitgliedstaaten im Bereich der Verpackungen und der Verpackungsabfallbewirtschaftung zu harmonisieren, um einerseits Auswirkungen dieser Abfälle auf die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern und andererseits das Funktionieren des Binnenmarkts zu gewährleisten und zu verhindern, dass es in der Gemeinschaft zu Handelshemmnissen und Wettbewerbsverzerrungen und -beschränkungen kommt.
Definitionen	alle Arten von in der EU im Verkehr befindlichen Verpackungen und alle Verpackungsabfälle unabhängig vom Ort ihres Entstehens sollen durch die Direktive erfasst werden. Eine eindeutigere Klärung des Verpackungsbegriffes wird durch die Richtlinie 2004/12/EC verfügt.
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ die Vermeidung von Verpackungsabfall wird zur obersten Priorität für die Verpackungs- und die Verpackungsabfallwirtschaft erklärt, d.h. geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Verpackungsabfällen sind zu ergreifen ▸ Mitgliedstaaten haben Rückgabesysteme für gebrauchte Verpackungen und/oder Verpackungsabfälle einzurichten, und eine Infrastruktur an Rücknahme-, Sammel- und Verwertungssystemen zu schaffen ▸ Zur Unterstützung des Verwertungsgedankens werden Zielvorgaben für die zu erfassende und zu verwertende Verpackungsmenge sowie einzelne Materialströme gemacht. Spätestens seit dem 31. Dezember 2008 sind für die in Verpackungsabfällen enthaltenen Materialien demnach folgende Mindestziele der stofflichen Verwertung einzuhalten: *- 60 Gewichtsprozent für Glas,* *- 60 Gewichtsprozent für Papier und Karton,* *- 50 Gewichtsprozent für Metalle,* *- 22,5 Gewichtsprozent für Kunststoffe, wobei nur Material berücksichtigt wird, das durch stoffliche Verwertung wieder zu Kunststoff wird,* *- 15 Gewichtsprozent für Holz.* ▸ bis 31. Dezember 2019 muss der Verbrauch an leichten Kunststofftragetaschen auf höchstens 90 Stck./EW und bis 31. Dezember 2025 auf 40 Stck./EW gesenkt werden. Leichte Kunststofftragetaschen dürfen ab 2019 in Geschäften nicht mehr kostenlos angeboten werden, es sei denn die Verbrauchsreduzierung wird anderweitig gesichert.

	▸ eine harmonisierte Datenbasis und weitere Mechanismen zur Überwachung der Umsetzung der Direktive sind einzuführen ▸ es werden grundlegende Anforderungen an die Zusammensetzung der Verpackungen und die Möglichkeit ihrer Wiederverwendung und stofflichen Verwertung gestellt, insbesondere zu begrenzen sind die Gehalte an schädlichen Metallen und sonstigen Substanzen mit relevanten Umweltauswirkungen

Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte

Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte	
Referenz	OJ L 197, 24.07.2012 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019&qid=1438929351669
Hauptanliegen/-zielstellung	Hauptanliegen ist die Vermeidung und Verminderung der Entstehung von Abfällen aus elektrischen und elektronischen Geräten (WEEE) in Verbindung mit der Festlegung bzw. Förderung von Maßnahmen die zur Wiederverwendung, Verwertung und anderen Formen der Nutzung von WEEE und damit zur Abnahme der zu entsorgenden Abfälle dieser Art führen. Ebenfalls in diesem Zusammenhang angestrebt wird die an der Herstellung und Nutzung von elektrischen Geräten beteiligten Akteure zu einem Verhalten zu bewegen, durch das die Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus dieser Produkte reduziert werden.
Definitionen	Abfälle aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten, Elektro- und Elektronik-Altgeräte aus dem Haushaltsbereich und aus dem Gewerbebereich, die zu ihrem ordnungsgemäßen Betrieb von elektrischen Strömen oder elektromagnetischen Feldern abhängig sind. Ausgenommen von der Richtlinie sind z.B. speziell für militärische Zwecke oder Forschungszwecke bestimmte Elektro- und Elektronikprodukte
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ Konzeptionen und die Produktion von Elektro- und Elektronikgeräten, die deren Reparatur, mögliche Nachrüstung, Wiederverwendung, Zerlegung und Recycling umfassend berücksichtigen und erleichtern sollen durch geeignete Maßnahmen befördert werden ▸ fordert die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten und Schaffung geeigneter Systeme für die Rückgabe von Elektro- und Elektronik-Altgeräten aus privaten Haushalten ▸ fordert die kostenlose Rücknahme von Elektrokleingeräten durch Geschäfte mit einer bestimmten Verkaufsfläche für Elektrogeräte ▸ Festigung der Herstellerverantwortung, Hersteller sollen die Sammlung sowie die Behandlung, Verwertung und Beseitigung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten finanzieren ▸ verlangt eine Sammelquote für Elektro- und Elektronik-Altgeräte aus privaten Haushalten um Aufbau wirkungsvoller Sammelkonzepte zu unterstützen (bis 2019 45% der auf den Markt gebrachten Geräte, ab 2019 beträgt die Sammelquote 65% oder 85% der angefallenen Elektroaltgeräteabfälle) ▸ verlangt die Verwertung der gesammelten Altgeräte, je nach Gerätekategorie zu mindestens 75%/85% ab 2016 ▸ verlangt das Recycling der gesammelten Altgeräte, je nach Gerätekategorie zu mindestens 55%-80% ab 2016

	▸ fordert die spezifische Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, dabei sollen die besten verfügbaren Behandlungs-, Verwertungs- und Recyclingtechniken eingesetzt und ein festgelegtes Mindestmaß an bestimmten Stoffen entnommen werden ▸ stellt Mindestanforderungen für die Unterscheidung zwischen Gebrauchtgeräten und Elektroaltgeräten bei deren Verbringung ▸ Installation einer Inspektions- und Überwachungsinfrastruktur womit die ordnungsgemäße Durchführung dieser Richtlinie überprüft werden kann ▸ Informationspflicht für Hersteller über die Verwertungsmöglichkeiten der auf den Markt gebrachten Produkte ▸ Erbringung des Nachweises über die Menge in Verkehr gebrachter Produkte, die auf verschiedenen Wegen erfassten Altgeräte und die Art ihrer Verwertung

Richtlinie über Altfahrzeuge

Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge	
Referenz	OJ L 269, 21.10.2000; zuletzt geändert durch OJ L 128, 19.05.2016 betreffs Kommissionsrichtlinie 20 16/774/EU http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2016_128_R_0002
Hauptanliegen/-zielstellung	Ziel der Direktive ist es die unterschiedlichen Maßnahmen der Mitgliedstaaten in Bezug auf Altfahrzeuge zu harmonisieren, um einerseits Auswirkungen dieser Abfälle auf die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern, Energie zu sparen und andererseits das Funktionieren des Binnenmarkts zu gewährleisten und zu verhindern, dass es in der Gemeinschaft zu Handelshemmnissen und Wettbewerbsverzerrungen kommt..
Definitionen	Altfahrzeuge sind Fahrzeuge der Klassen M1 (Personenkraftwagen) und N1 (leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t), die Abfälle im Sinne der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG sind
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ Schaffung eines Rahmens, um die recycling- und verwertungsgerechte Konstruktion von Fahrzeugen, ein Netz an Rücknahmestellen und Verwertungsanlagen und die Einhaltung der Zielvorgaben für die Wiederverwendung, das Recycling und die Verwertung gemeinschaftsweit zu gewährleisten ▸ Herbeiführung von Maßnahmen, die sicherstellen, dass die Wirtschaftsbeteiligten Systeme zur Rücknahme, Behandlung und Verwertung von Altfahrzeugen einrichten ▸ Letzthalter sollen Altfahrzeug bei einer zugelassenen Verwertungsanlage ohne Kosten abliefern können ▸ Einführung eines Verwertungsnachweises ▸ Rücknahme- und Behandlungsstellen unterliegen der Pflicht der Genehmigung bzw. Registrierung ▸ Separationspflicht für bestimmte Fahrzeugteile und gefährliche Komponenten bei der Altfahrzeugbehandlung ▸ Zielvorgaben für die Wiederverwendung und das Recycling (85 % seit 2015) bzw. die Wiederverwendung und die Verwertung (95 % seit 2015) von Altfahrzeugen ▸ Ausschluss bzw. Begrenzung des Einsatzes bestimmter Schwermetalle wie z.B. Quecksilber, Cadmium, Blei, Chrom VI bei der Fahrzeugherstellung ▸ Hersteller müssen Demontageinformationen bereitstellen

	▸ Die Hersteller von Kraftfahrzeugen müssen entsprechend Richtlinie 2005/64/EG bei Neufahrzeugen Mindestanteile für die Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit von Bauteilen und Werkstoffen nachweisen

Richtlinie über Batterien und Akkumulatoren

Richtlinie 2006/66/EG über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren	
Referenz	OJ L 266, 26.9.2006; OJ L 76, 11.03.2008; OJ L 327, 5.12.2008; OJ L 329, 10.12.2013 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0066:EN:NOT
Hauptanliegen/-zielstellung	Das Hauptziel dieser Richtlinie besteht darin, die Umweltbelastung durch Batterien und Akkumulatoren so-wie Altbatterien und -akkumulatoren auf ein Mindestmaß zu beschränken und so zum Schutz und Erhalt der Umwelt beizutragen. Darüber hinaus sollen die Anforderungen an den Schwermetallgehalt und die Kenn-zeichnung von Batterien und Akkumulatoren harmonisiert und dadurch das reibungslose Funktionieren des Binnenmarktes sichergestellt und Wettbewerbsverzerrungen in der Gemeinschaft verhindert werden.
Definitionen	▸ Unterschiedliche Batterietypen ▸ Ausdrückliche Geltung der Direktive für alle Batterien und Akkumulatoren die in der Gemeinschaft in Verkehr gebracht werden
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ Verbot des Inverkehrbringens aller Batterien und Akkumulatoren, die mehr als 0,0005 Gew.-% Quecksilber enthalten, unabhängig davon, ob sie in Geräte eingebaut sind oder nicht und von Gerätebatterien/ -akkumulatoren, die mehr als 0,002 Gew.-% Cadmium enthalten einschließlich solcher, die in Geräte eingebaut sind. ▸ fordert bessere Umweltschutzleistung aller in den Lebenskreislauf von Batterien und Akkumulatoren einbezogenen Stellen, z. B. der Hersteller, der Vertreiber und der Endnutzer, und insbesondere der unmittelbar mit der Behandlung und dem Recycling von Altbatterien und -akkumulatoren befassten Stellen ▸ untersagt die Beseitigung von Industrie- und Fahrzeugbatterien und -akkumulatoren in Deponien oder durch Verbrennung ▸ fordert den Aufbau von Sammelsystemen und legt hohe Sammelquote fest (Sammelquote von 45 % der auf den Markt gebrachten Batterien und Akkumulatoren seit dem 26. September 2012) ▸ Dazu sind Rücknahmesysteme einzurichten durch die sich Endnutzer kostenfrei aller Geräte-Altbatterien und -akkumulatoren entledigen können ▸ es werden Mindestrecyclingziele festgelegt: a) Recycling von 65 % des durchschnittlichen Gewichts von Blei-Säure-Batterien und Akkumulatoren b) Recycling von 75 % des durchschnittlichen Gewichts von Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkumulatoren bei c) Recycling von 50 % des durchschnittlichen Gewichts sonstiger Altbatterien und -akkumulatoren. ▸ bei den Behandlungs- und Recyclingsystemen sind die besten verfügbaren Techniken einzusetzen Die Definition des Begriffs "Recycling" soll bei Altbatterien und Altakkumulatoren die energetische Verwertung nicht umfassen

Richtlinie 2006/66/EG über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren	
	▸ detaillierte Regeln für ein Kennzeichnungssystem sollen eingeführt werden ▸ Einführung der Herstellerverantwortung, Sämtliche Hersteller im Sinne dieser Richtlinie sollen registriert werden. Sie sollen die Kosten für die Sammlung, die Behandlung und das Recycling aller gesammelten Batterien und Akkumulatoren tragen

Sonstige Richtlinien

Richtlinie 86/278/EWG über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft	
Referenz	OJ L 181, 04.07.1986 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:31986L0278
Hauptanliegen/-zielstellung	Die Europäische Union regelt die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft mit dem Ziel, schädliche Auswirkungen auf Böden, Vegetation, Tier und Mensch zu verhindern. Insbesondere wird die Grenzwerte der Konzentrationen bestimmter Stoffe in diesen Schlämmen festgelegt, die Verwendung dieser Schlämme in bestimmten Fällen verboten und die Aufbereitung der Schlämme geregelt. *Anmerkung:* Neue Erkenntnisse und technische Fortschritte, welche durch die Richtlinie aufgrund ihres Entstehungszeitpunktes bislang noch nicht widergespiegelt werden, haben zu Überlegungen und Ansätzen geführt, die Richtlinie inhaltlich in naher Zukunft zu ändern oder in anderen Regelungen aufgehen zu lassen. Auf nationaler Ebene sind daher einzelne Festlegungen und Zielrichtungen teils schon erweitert und verändert worden, dazu gehört auch, wie im Falle Deutschlands, eine langfristige Minimierung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung bzw. deutlich erhöhte Restriktionen gegenüber den Richtlinienvorgaben.
Definitionen	Im Sinne der Richtlinie sind Schlämme: ▸ Schlämme, die aus Kläranlagen zur Behandlung von Haushalts- oder städtischen Abwässern bzw. aus anderen Kläranlagen zur Behandlung von Abwässern in entsprechender Zusammensetzung stammen, aus Klärgruben und anderen ähnlichen Anlagen zur Behandlung von Abwässern stammen und aus anderen, nicht genannten Kläranlagen stammen

Richtlinie 96/59/EG über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT)	
Referenz	OJ L 243, 24.09.1996 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0059:EN:NOT
Hauptanliegen/-zielstellung	In dieser Richtlinie werden die Regeln festgelegt, nach denen die Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die kontrollierte Beseitigung von PCB und die Dekontaminierung und Beseitigung von PCB-haltigen Geräten und/oder die Beseitigung von PCB-Abfall mit dem Ziel ihrer vollständigen Beseitigung herbeigeführt werden soll.

2006/21/EG über die Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie und zur Änderung der Richtlinie 2004/35/EG	
Referenz	L 102/15, 15.03.2006 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32006L0021
Hauptanliegen/-zielstellung	Das Ziel der Richtlinie über Bergbauabfälle ist die Einführung von Maßnahmen, Verfahren und Leilinien, die die negativen Auswirkungen auf Wasser, Luft, Boden, Fauna und Flora und das Landschaftsbild , die durch den Bergbau verursacht werden, minimieren bzw. soweit wie möglich vermeiden
Definitionen	Die Richtlinie gilt für fast alle Abfälle, die beim Aufsuchen, Gewinnen, Aufbereiten und Lagern von mineralischen Rohstoffen sowie beim Betrieb von Steinbrüchen entstehen

Technologieorientierte Richtlinien der EU

- Richtlinie über Industrieemissionen
- Deponierichtlinie

Richtlinie über Industrieemissionen

Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen	
Referenz	OJ L 334/17, 17.12.2010 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32010L0075
Hauptanliegen/ -zielstellung	Hauptanliegen ist es Verschmutzungen der Umwelt durch Emissionen aus Industrietätigkeiten zu vermeiden, zu verringern und auf lange Sicht nach Möglichkeit gänzlich auszuschließen. Die Richtlinie sieht zusätzlich Vorschriften zur Abfallvermeidung vor.
Definitionen	Abfallverbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen werden definiert. Bestimmte Anlagen werden aus der Geltung der Direktive entnommen, insbesondere Versuchsanlagen für Forschungs-, Entwicklungs- und Prüfzwecke.
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ die Richtlinie regelt u. a. die Vorschriften für das Errichten und Betreiben von Abfallbehandlungsanlagen zur Verwertung und Beseitigung von Abfällen u. a. Deponien, Verbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen (andere adressierte Industriezweige sind die Energiewirtschaft, metallverarbeitende Industrie usw.) ▸ Festlegung einer Genehmigungspflicht für u. a. Abfallbehandlungsanlagen ▸ zu genehmigende Anlagen müssen u. a. geeignete Vorsorgemaßnehmen gegen Umweltverschmutzungen treffen, die besten verfügbaren Techniken anwenden, Abfälle gemäß Richtlinie 2008/98/EG vermeiden und Energie effizient nutzen ▸ zu genehmigende Anlagen müssen Emissionsgrenzwerte für Schadstoffe sowie Auflagen zum Schutz des Bodens und des Grundwassers als auch Maßnahmen zur Überwachung und Behandlung der erzeugten Abfälle einhalten

Deponierichtlinie

Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien	
Referenz	OJ L 182, 16.7.1999; Corrigendum: OJ L 282, 05.11.1999 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:EN:NOT
Hauptanliegen/ -zielstellung	Durch die Festlegung strenger technischer Anforderungen in Bezug auf Abfalldeponien und Abfälle will die Europäische Union erreichen, dass negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen auf die Umwelt weitest möglich vermieden oder vermindert werden.
Definitionen	Deponiearten, Emissionen beim Deponiebetrieb und verschiedenen Abfallkategorien (Siedlungsabfall, gefährliche und nicht gefährliche Abfälle, inerte Abfälle) werden definiert
Wesentliche Regelungs-bereiche	▸ Festlegung technischer Normen für die Abfalldeponierung damit diese kontrolliert und sachgemäß erfolgen kann ▸ Handhabung der Abfälle und ihre Verwertung soll gefördert sowie das Volumen als auch die gefährlichen Eigenschaften der abzulagernden Abfälle gegebenenfalls verringert werden. Zu diesem Zweck soll Abfallvorbehandlung erfolgen und gefördert werden. ▸ Festlegung von Standardprozeduren für die Zuordnung/Annahme von Abfällen auf bestimmte Deponien

Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien	
	▸ Untersagung der Vermischung von verschiedenen Abfällen insbesondere von Siedlungsabfällen mit gefährlichen oder inerten Abfällen ▸ verfügt Ausschluss bestimmter Abfallarten von der Deponierung ▸ Festlegung eines Zeitplanes zur schrittweisen Reduzierung des organischen bzw. biologisch aktiven Anteils im abzulagernden Abfall ▸ Festlegungen der Nachweisführung bei der Abfallablagerung ▸ Forderungen bezüglich der Durchführung und Anforderungen an einen Mess- und Überwachungsbetrieb ▸ verfügt die Schließung/Umwandlung nicht regelungskonformer Deponien innerhalb eines bestimmten Zeitraums

Abfallvermeidung

Einführung zum Themenbereich

Auf Produktionsebene verursachen wachstumsorientierte Wirtschaften einen immensen und oft die natürlichen Belastungsgrenzen überschreitenden Ressourcenverbrauch. Nach der sich teilweise auch stark verkürzenden Gebrauchsphase der Produkte generiert die Gesellschaft ein entsprechend hohes Aufkommen an Abfällen. Um einer notwendig gewordenen, nachhaltigen Entwicklung gerecht zu werden, sollte ein zentrales umweltpolitisches Ziel die Entkoppelung des Wirtschaftswachstums vom Abfallaufkommen sein. In Europa wird diesem Ansatz mit der Abfallhierarchie Rechnung getragen, wobei die Abfallvermeidung als das primär anzustrebende Ziel in einer Kreislaufwirtschaft definiert wird.

Die Abfallvermeidung wird gemäß der Abfallrahmenrichtlinie mittels Maßnahmen erklärt, die ergriffen werden, bevor ein Stoff, ein Material oder ein Erzeugnis zu Abfall geworden ist. Die getroffenen Maßnahmen sollen eine Verringerung

- der Abfallmengen durch die Wiederverwendung von Erzeugnissen bzw. die Verlängerung der Lebensdauer,
- des Gehalts an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen oder/und
- der schädlichen Auswirkungen des erzeugten Abfalls auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit erwirken.[3]

Die Integration der Abfallvermeidung in die Wertschöpfungsketten einer Wirtschaft erfordert Initiativen seitens des Staates und des Marktes.

Beide Institutionen können im Rahmen ihres Wirkungsbereiches Bedingungen gestalten und Maßnahmen ergreifen, deren Wirkungen sich zumeist gegenseitig beeinflussen (Abbildung 2). Für die Wirtschaft bzw. den Markt verbindliche Vermeidungsmaßnahmen sind im Rahmen der abfallrechtlichen Produktregelung (siehe Datenblatt „Abfallstrombezogene Richtlinien der EU“) getroffen.

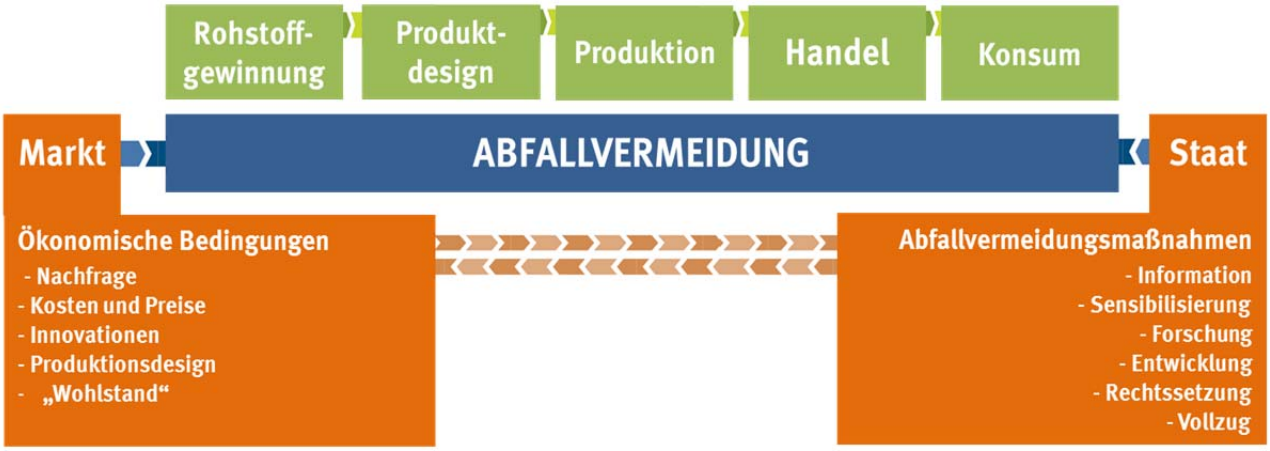
Die Ausgestaltung dieser Maßnahmen steht jedoch auch immer in Abhängigkeit einer wirtschaftlichen Zumutbarkeit und einer technischen Umsetzungsfähigkeit, so dass freiwillige Maßnahmen und Selbstverpflichtungen („weiche“ Instrumente) ein breiteres Spektrum an Handlungsmöglichkeiten bieten. Darüber hinaus ist ein bewusstes, abfallvermeidendes Handeln des Einzelnen sowie gesellschaftlicher Institutionen (z.B. Verwaltungen, Schulen) von außerordentlicher Bedeutung. Durch Praktiken einer umweltbewussten Beschaffung („Green Procurement“) und Konsumption (z.B. Mieten statt Besitzen, Reparieren, Kauf tatsächlich verbrauchbarer Mengen) ist ein wesentlicher Beitrag zur Abfallvermeidung leistbar. Im Rahmen des deutschen Abfallvermeidungsprogramms sind Vermeidungsmaßnahmen mit freiwilligem Charakter präsentiert und zur Umsetzung empfohlen. Diese lassen sich wie folgt kategorisieren und werden in den sich anschließenden Tabellen konkretisiert:[4]

- Maßnahmen, die sich auf die Rahmenbedingung im Zusammenhang mit der Abfallerzeugung auswirken können
- Maßnahmen, die sich auf Konzeptions-, Produktions-, und Vertriebsphase auswirken können
- Maßnahmen, die sich auf die Verbrauchs- und Nutzungsphase auswirken können

[3] Artikel 3 (12) der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

[4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder, BMU (Hrsg.), Referat WA II 1, Bonn, Juli 2013

Abbildung 2: Zielformulierung der Abfallvermeidung nach dem Abfallvermeidungsprogramm für Deutschland[4]



Maßnahmen, die sich auf die Rahmenbedingungen der Abfallerzeugung auswirken können

Abfallvermeidungsmaßnahme	Initiatoren	Adressat der Maßnahme	Umsetzungsbeispiel
Nr. 1: Einsatz von Planungsmaßnahmen oder sonstigen wirtschaftlichen Instrumenten, die die Effizienz der Ressourcennutzung fördern			
Entwicklung von Abfallvermeidungskonzepten und -plänen durch die Kommunen	Kommunen	Einwohner von Kommunen, kommunale Stellen, Unternehmen	Bereitstellen von z.B. onlinebasierten Informationen sowie telefonische Beratung zum abfallvermeidenden Einkaufen, Hinweise auf Reparaturwerkstätten, Second-Hand-Läden, usw. in der Region Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept Landkreis Mittelsachsen 2014 - 2020 ebenso Integration in die Abfallwirtschaftspläne und -konzepte der Länder:
Akteurskooperationen	Bund, Länder	Repräsentanten der Wertschöpfungskette einer bestimmten Branche	Im Bereich Lebensmittelabfallvermeidung kooperieren die Nahrungsmittelbank Tafeln e.V. und der Großhändler Metro. Unter anderem wird durch die Metro Group das Kochbuch „Das gute Essen“ , ein Kochbuch zum Thema Nachhaltigkeit, vertrieben, dessen Einnahmen an die Nahrungsmittelbank gespendet werden.
Abbau von Subventionen	Bund, Länder	Produzenten, Konsumenten, Handel	-

Nr. 2: Förderung einschlägiger Forschung und Entwicklung mit den Ziel, umweltfreundlichere und weniger abfallintensive Produkte und Technologien hervorzubringen, sowie Verbreitung und Einsatz dieser Ergebnisse aus F&E			
Forschung zur Entwicklung von abfallvermeidenden Technologien und Nutzungskonzepten	Bund, Länder	*Bei Technologieentwicklung:* Forschungseinrichtungen, Industrie und KMU, *bei Nutzungskonzepten:* Forschungseinrichtungen und Interessensverbände	In der Kunststofftechnik erfolgte eine intensive Forschung zu biologisch abbaubaren Werkstoffen, die aus organischen Substanzen bestehen und sich biologisch abbauen und wieder in den Kreislauf integrieren lassen. Forschungsvorhaben wurden insbesondere an folgenden Forschungseinrichtungen betrieben: Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe der Hochschule Hannover Forschungsförderungsprogramme, die die Abfallvermeidung integrativ bearbeiten sind u.a.: „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ des BMBF “Vom Material zur Innovation“ des BMBF
Förderprogramme und -maßnahmen zur Umsetzung abfallvermeidender Konzepte und Technologien	Bund, Länder, KfW Bankengruppe	*Bei Technologieanwendungen*: Industrie und KMU, *bei Nutzungskonzepten*: Handel und Interessenverbände	Die breite Anwendung bzw. Umsetzung in der Praxis von erfolgreich abgeschlossenen Forschungsergebnissen wird bspw. gefördert durch: Umweltinnovationsprogramm des BMUB KfW-Umweltprogramm der KfW Bankengruppe
Nr. 3: Entwicklung wirksamer und aussagekräftiger Indikatoren für die Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Abfallerzeugung als Beitrag zur Vermeidung der Abfallerzeugung auf sämtlichen Ebenen, vom Produktvergleich auf Gemeinschaftsebene über Aktivitäten kommunaler Behörden bis hin zu nationalen Maßnahmen			
Entwicklung und Anwendung von Indikatorsystemen mit dem Ziel Benchmarking	Bund, Länder	Industrie, örE, statistische Landesämter, Statistisches Bundesamt	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger erfassen und dokumentieren die generierte Abfallmenge pro Kopf und Jahr. Über den Vergleich der pro-Kopf-Mengen können Best-Practice-Beispiele, die durch erfolgreich umgesetzte Maßnahmen die generierte Abfallmenge senkten, veröffentlicht und dargestellt werden. Ein Beispiel zur Heranziehung von Vergleichsdaten der entstandenen Abfallmenge pro Kopf ist der „Kartendienst Abfallwirtschaft“

Maßnahmen, die sich auf die Konzeption, Produktion, und den Vertrieb auswirken können

Abfallvermeidungsmaßnahme	Initiatoren	Adressat der Maßnahme	Umsetzungsbeispiel
Nr. 4: Förderung von Ökodesign (systematische Einbeziehung von Umweltaspekten in das Produktdesign mit dem Ziel, die Umweltbilanz des Produkts über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu verbessern)			
Identifizierung produktspezifischer Anforderungen an eine abfallvermeidende Produktgestaltung im Rahmen von Durchführungsmaßnahmen der EU-Ökodesign Richtlinie	EU-Kommission, Koordination: Bund	Inverkehrbringer von Produkten	Die nationale Diskussion zu produktspezifischen Anforderungen erfolgt über das vom BMUB initiierten „EuP-Netzwerk“ .

Abfallvermeidungsmaßnahme	Initiatoren	Adressat der Maßnahme	Umsetzungsbeispiel
Verbreitung von Informationen und Stärkung der Aufmerksamkeit für die abfallvermeidende Produktgestaltung z.B. durch Innovationswettbewerbe	Verschiedene staatliche Stellen in Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Umweltverbänden	Produktdesigner, -entwickler und -hersteller, Handelsketten	Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg zeichnet mit dem „Umwelttechnikpreis“ Unternehmen aus, die mit innovativen Technologien einen Beitrag u.a. zur Materialeffizienz und damit zur Ressourcenschonung beitragen.
Regelungen zur abfallwirtschaftlichen Produktverantwortung	Bund	Hersteller und Vertreiber von bestimmten Produkten	Umgesetzt bei den Abfallströmen: Elektroaltgeräte, Batterien und Akkumulatoren, Verpackungen (siehe auch Datenblätter “Elektroaltgeräte“, “Altbatterien und -akkumulatoren“)
Normung, die eine abfallvermeidende und ressourcenschonende Produktgestaltung unterstützen	Bund; Behörden, die in Normungsausschüssen des CEN oder DIN vertreten sind	Produzenten, Handel	Die Vergabe des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“ an Elektrogeräte erfordert beispielsweise eine Reparaturfähigkeit der Geräte (vgl. RAL-UZ 78c für Monitore), zur Gewährleistung einer Produktlanglebigkeit
Nr. 5: Bereitstellung von Informationen über Techniken zur Abfallvermeidung im Hinblick auf einen erleichterten Einsatz der besten verfügbaren Techniken in der Industrie			
Anpassung der Vollzugs- und Handlungshilfen für genehmigungsbedürftige Anlagen an den Stand der Technik zur Abfallvermeidung	Bund, Genehmigungsbehörden, Betreiber genehmigungspflichtiger Anlagen	Betriebe und Unternehmen	-
Beratung von Betrieben mit Blick auf Potenziale zur Abfallvermeidung durch öffentliche Einrichtungen	Bund, Länder, Kommunen	Industriesektoren und KMU im verarbeitenden Gewerbe, insbesondere etwa Betriebe, die auf große Massen von Primärressourcen zurückgreifen.	In Deutschland wurden verschiedene Einrichtungen und Zentren gegründet, die spezielle Beratungsleistungen für Unternehmen zur Ressourceneffizienz anbieten. Das sind u.a.: Deutsche Materialeffizienzagentur VDI Zentrum für Ressourceneffizienz
Nr. 6: Schulungsmaßnahmen für die zuständigen Behörden hinsichtlich der Einbeziehung der Abfallvermeidungsanforderungen bei der Erteilung von Genehmigungen			
Fortbildung für die zuständigen Behörden hinsichtlich der Abfallvermeidungsanforderungen bei der Erteilung von Genehmigungen	Länder	Genehmigungsbehörden	-
Nr. 7: Einbeziehung von Maßnahmen zur Vermeidung der Abfallerzeugung in Anlagen, die nicht den Regelungen der Richtlinie (2010/75/EU) unterliegen. Hierzu könnten gegebenenfalls Maßnahmen zur Bewertung der Abfallvermeidung und zur Aufstellung von Plänen gehören			
Forcierung der einheitlichen Umsetzung der Abfallvermeidungspflichten in genehmigungsbedürftigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen	Bund	Genehmigungsbehörden der Länder, Anlagenbetreiber	-
Nr. 8: Sensibilisierungsmaßnahmen bzw. Unterstützung von Unternehmen bei der Finanzierung, Entscheidungsfindung o. ä. Besonders wirksam dürften derartige Maßnahmen sein, wenn sie sich gezielt an kleine und mittlere Unternehmen richten und auf diese zugeschnitten sind und auf bewährte Netzwerke des Wirtschaftslebens zurückgreifen			
Gründung, Fortführung und Vernetzung von bestehenden Programmen, die Unternehmen im Bereich Abfallvermeidung sensibilisieren und beraten	Umwelt- und Wirtschaftsministerien der Länder sind Hauptinitiatoren dieser Programme	Betriebe und Unternehmen	Das Projekt „EffCheck“ ist ein Projekt des Effizienznetzes Rheinland Pfalz und steht KMUs als Informations- und Beratungsplattform für Fragen zu Energie und Ressourceneffizienz zur Verfügung

Nr. 9: Rückgriff auf freiwillige Vereinbarungen, Verbraucher- und Herstellergremien oder branchenbezogene Verhandlungen, damit die Unternehmen oder Branchen eigene Abfallvermeidungspläne bzw. -ziele festlegen oder abfallintensive Produkte /Verpackungen verbessern.			
Abfallvermeidende Kooperationen unter Industriebetrieben	Industriebetriebe einer Region als operative Kraft, Länder können Prozesse begleiten und befördern	Industriebetriebe, KMU	Die Vernetzung von Betrieben erfolgte im Gewerbegebiet Henstedt-Ulzburg/ Kaltenkirchen erfolgte über ein gefördertes Projekt und erzielte eine Zusammenlegung der Logistikströme und eine Bündelung von Abfallströmen
Freiwillige Vereinbarung mit dem Einzelhandel und der Gastronomie zu Schulungsmaßnahmen mit Blick auf eine bedarfsgerechtere Belieferung der Geschäfte und Restaurants mit Lebensmitteln	Bund, Länder in Zusammenarbeit mit öffentlichen Einrichtungen und/oder Branchenverbänden des Einzelhandels und der Gastronomie	Einzelhandel, Gastronomie	-
Vereinbarungen zwischen Industrie/Handel und staatlichen Stellen zur Abfallvermeidung	Bund, Länder in Zusammenarbeit mit Branchenverbänden, Logistikunternehmen, etc.	Unternehmen verschiedener Art	-
Nr. 10: Förderung anerkannter Umweltmanagementsysteme, einschließlich EMAS und ISO 14001			
Erweiterung bestehender Umweltmanagementsysteme um Aspekte der Abfallvermeidung	Länder, Kommunen in Zusammenarbeit mit privaten Consultingunternehmen	Betriebe	Das „greentable“ -Zertifikat zeichnet Gastronomieeinrichtungen aus, die sich hinsichtlich bewusster Ernährung, nachhaltigem Einkauf, Umweltschutz und sozialem Engagement auszeichnen. Zur Erlangung des Zertifikats müssen verschiedene Kriterien eingehalten werden, u.a. ein Abfallmanagement, das u.a. eine Lebensmittelabfallvermeidung beinhaltet

Maßnahmen, die sich auf die Verbrauchs- und Nutzungsphase auswirken können

Abfallvermeidungsmaßnahme	Initiatoren	Adressat der Maßnahme	Umsetzungsbeispiel
Nr. 11: Wirtschaftliche Instrumente wie zum Beispiel Anreize für umweltfreundlichen Einkauf oder die Einführung eines vom Verbraucher zu zahlenden Aufpreises für einen Verpackungsartikel oder Verpackungsteil, der sonst unentgeltlich bereitgestellt werden würde			
Förderung abfallvermeidender Produktdienstleistungssysteme	Länder, Gemeinden	Unternehmen, Vereine, Genossenschaften, Konsumenten	Car-Sharing (DriveNow): Förderung des Car-Sharing beinhaltet eine Befreiung von Parkgebühren
Förderung von Abfallentsorgungsstrukturen und -systemen, die die Abfallvermeidung fördern	Kommune, öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger	Abfallerzeuger und -besitzer	Abfallgebühren setzen sich aus einer fixen Grundgebühr und einer variablen Leistungsgebühr für Restabfall zusammen. Die variable Leistungsgebühr sinkt, je geringer die entsorgte Abfallmenge ist. Dies wird beispielsweise durch den Zweckverband Abfall- und Wertstoffeinsammlung für den Landkreis Darmstadt-Dieburg durchgeführt (siehe auch Datenblatt “Finanzierung“)
Nr. 12: Sensibilisierungsmaßnahmen und Informationen für die breite Öffentlichkeit oder eine bestimmte Verbrauchergruppe			
Stärkung des Aspekts Abfallvermeidung bei Einkaufsempfehlungen	Bund und Länder als Sponsoren, Verbraucherorganisationen als operativer Akteure.	Konsumenten	Im Bereich der Lebensmittel initiierte das BMEL die Kampagne „Zu gut für die Tonne!“ und sensibilisiert Konsumenten für eine Vermeidung von Lebensmittelabfällen. Dazu werden verschiedene

Abfallvermeidungsmaßnahme	Initiatoren	Adressat der Maßnahme	Umsetzungsbeispiel
			Empfehlungen und Informationen bereitgestellt.
Bildungsmaßnahmen und Öffentlichkeitsbeteiligung zur Abfallvermeidung	Kultusministerien der Länder in Zusammenarbeit mit dem BMU und dem BMBF	Lehrkräfte, Schüler, Auszubildende	Die Verbraucherzentralen der Länder bieten verschiedene Workshops, Lehrgänge und Ausstellungen zum Thema Abfallvermeidung an.
Praktische Einführung und Umsetzung von nachhaltigen, ressourcenschonenden Abfallkonzepten an Schulen	Schulministerien der Länder geben die Anforderungen vor, einzelne Schulen erarbeiten die Konzepte autonom	Lehrkörper von Grund- und weiterführenden Schulen, Schüler, Kommunen	Das Gymnasium Dresden-Cotta führt seit dem Jahr 2000 eine nachhaltige Umwelterziehung durch, wobei die Abfallvermeidung ein zentrales Thema ist.
Förderung von Kommunen sowie Umwelt- und Verbraucherverbänden zur Entwicklung von Abfallvermeidungskampagnen	Bund, Länder, Kommunen	Konsumenten, Unternehmen	Der Freistaat Sachsen rief die Initiative „Lebensmittel sind wertvoll“ zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen ins Leben
Nr. 13: Förderung glaubwürdiger Ökozeichen			
Nutzung von Produktkennzeichen für ressourcensparende und somit „abfallvermeidende“ Produkte	Bund, Länder	Hersteller, Konsumenten, EU-Kommission	Als Beispiel kann das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ herangezogen werden, dessen Vergabe u.a. an Kriterien zur Abfallvermeidung gebunden ist
Nr. 14: Vereinbarungen mit der Industrie, wie der Rückgriff auf Produktgremien etwa nach dem Vorbild der integrierten Produktpolitik, oder mit dem Einzelhandel über die Bereitstellung von Informationen über Abfallvermeidung und umweltfreundliche Produkte			
Konzertierte Aktionen zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen	Behörden des Bundes, der Länder und der Kommunen, Vertreter der Landwirtschaft, der Lebensmittelindustrie und des Handels	Lebensmittelindustrie, Handel	Die REWE Group erstellte ein umfassendes Umweltmanagement. Unter anderem wird eine Lebensmittelabfallvermeidung durch die Anwendung einer effizienten Logistik wie die bedarfsgerechte Belieferung der Handelsgeschäfte erreicht.
Nr. 15: Einbeziehung von Kriterien des Umweltschutzes und der Abfallvermeidung in Ausschreibungen des öffentlichen und privaten Beschaffungswesens im Sinne des Handbuchs für eine umweltgerechte öffentliche Beschaffung, das von der Kommission am 29. Oktober 2004 veröffentlicht wurde			
Berücksichtigung abfallvermeidender Aspekte bei der öffentlichen Beschaffung	Bund, Länder	Vergabestellen des Bundes, der Länder, der Kommunen, sowie gegebenenfalls öffentlicher Unternehmen, Bauverwaltung des Bundes und der Länder, Bauherren	Das Umweltbundesamt veröffentlichte 2015 einen „Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentliches Beschaffung von Computerbildschirmen“. Es gibt Handlungsempfehlungen zur Beschaffung von energiesparenden, langlebigen, schadstoffarmen und gut zu recycelnden Monitoren.
Nr. 16: Förderung der Wiederverwendung und/oder Reparatur geeigneter entsorgter Produkte oder ihrer Bestandteile, vor allem durch den Einsatz pädagogischer, wirtschaftlicher, logistischer oder anderer Maßnahmen wie Unterstützung oder Einrichtung von akkreditierten Zentren und Netzen für Reparatur und Wiederverwendung, insbesondere in dicht besiedelten Regionen			
Förderung der Wiederverwendung oder Mehrfachnutzung von Produkten (Gebrauchtwaren)	Kommunen, öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger	Verbände, private Handelsstrukturen für Gebrauchtwaren, öffentlich- rechtliche Entsorgungsträger	Der ReUse Computer e.V. ist ein Zusammenschluss von Unternehmen, Institutionen und Privatpersonen, die sich für die Wiederverwendung von qualitativ hochwertiger und preisgünstiger gebrauchter Markengeräte der IT-Technik einsetzen

Abfallvermeidungsmaßnahme	Initiatoren	Adressat der Maßnahme	Umsetzungsbeispiel
Unterstützung von Reparaturnetzwerken	Länder, Kommunen	private und gemeinnützige Initiativen	Die SAPOS GmbH verkauft Elektrogeräte aus zweiter Hand, die getestet und den Sicherheitsbestimmungen des Verkaufs von Elektrogeräten entsprechen. Die SAPOS GmbH ist ein Integrationsfachbetrieb, der sozial benachteiligte Menschen beschäftigt
Entwicklung von Qualitätsstandards für die Wiederverwendung	Bund und Länder unterstützen Setzung von Mindeststandards für Produkte und Qualifizierungsstandards für Personal	Reparaturwerkstätten	Im Forschungsprojekt „Second Life - Wiederverwendung gebrauchter Elektro- und Elektronikgeräte“ wurden u. a. die Kriterien für eine Wiederverwendung untersucht. Empfohlen wird z.B. die VDI Richtlinie 2343, Blatt 5 „Reuse“ heranzuziehen.
Abfallvermeidende Gestaltung von Veranstaltungen in öffentlichen Einrichtungen (Mehrweg statt Einweg)	Länder, Kommunen	Veranstalter (öffentlich und private)	Zu planende Veranstaltungen können entsprechend der DIN EN ISO 20121 ausgelegt werden, die Kriterien für ein nachhaltiges Veranstaltungsmanagement setzt. Zusätzlich bietet der Ratgeber „Leitfaden für die nachhaltige Organisation von Veranstaltungen Empfehlungen für u.a. eine abfallvermeidende Eventorganisation und -durchführung
Unterstützung von Forschung und Entwicklung lebensdauerverlängernder Maßnahmen	Bund, Länder	Forschungseinrichtungen, Unternehmen	Im Projekt „ProSensonet2“ des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim wurden sensorgestützte Lösungskonzepte zur Verringerung von Lebensmittelverderb in der Lebensmittellogistik erarbeitet

Gebietstypisierung

Hintergrund und methodischer Ansatz

Abfallwirtschaft kann nur dann effektiv betrieben werden, wenn möglichst alle Rahmenbedingungen und Charakteristika des Planungsgebietes beachtet werden. Dazu gehören neben ökonomischen und infrastrukturellen Gegebenheiten (z.B. Einwohnerzahl, Erreichbarkeit, Struktur der Transportwege, wirtschaftliche Diversität etc.) auch soziale und kulturelle Rahmenbedingungen. Diese Rahmenbedingungen beeinflussen nicht nur Abfallmengen und -zusammensetzungen maßgeblich, sondern auch den Erfolg möglicher Abfallwirtschaftsmaßnahmen. Die spezifische Kombination der jeweiligen Verhältnisse bewirkt teils sehr unterschiedliche Gebietscharakteristika, aus denen wiederum unterschiedliche Eignungen für verschiedene abfallwirtschaftliche Maßnahmen resultieren.

Abfallwirtschaftsplaner und Entscheidungsträger müssen sich dieser Zusammenhänge bewusst sein, um tatsächlich geeignete abfallwirtschaftliche Lösungen bestimmen zu können. Denn nur diejenigen Abfallwirtschaftsmaßnahmen lassen sich erfolgreich etablieren, welche bestmöglich an die lokalen Bedingungen und Bedürfnisse angepasst sind (Abbildung 1).

Abbildung 1: Beziehungsgefüge aus strukturellen Bedingungen und Planung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen

Die Kenntnis lokaler Besonderheiten und Probleme versetzen Planer, Entscheidungsträger und Behörden in die Lage, die Erfordernisse von benachbarten Entsorgungsgebieten mit ähnlichen Bedingungen zu erkennen, um so ggf. (kosten)effiziente Kooperationen prüfen zu können. Aber auch ein Benchmarking zwischen vergleichbaren Entsorgungsgebieten wird so möglich, um abfallwirtschaftliche Maßnahmen vergleichen und ggf. optimieren zu können.

Eine vorausgehende Analyse abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen des Planungsgebietes sollte daher immer Bestandteil abfallwirtschaftlicher Planungen sein. Diese Analyse kann durch einen Typisierungsansatz, welcher zu einer Einteilung in Gebiete mit ähnlichen Bedingungen und Bedürfnissen für die praktische Umsetzung abfallwirtschaftlicher Planungen führt, erleichtert werden.

Diese Gebietstypisierung bietet ein generalisiertes, ganzheitliches Bild von abfallwirtschaftlichen Faktoren und Rahmenbedingungen, um so abfallwirtschaftliche Problemstellungen effizienter und nachhaltiger anzugehen. Sie ist dabei auch eine hilfreiche Grundlage, um mit Entscheidungsgremien und Betroffenen in verschiedenen Territorien entlang von ausgesuchten Kriterien eine einheitliche Sichtweise auf abfallwirtschaftliche Aspekte zu entwickeln und integrierte abfallwirtschaftliche Lösungen herbeizuführen, die nicht benachteiligend sind und auf die besten verfügbaren Erfahrungen aufbauen.

Nachfolgend wird eine bewährte Methodik zur Gebietstypisierung vorgestellt.

Kriterien

Zur Gebietstypisierung muss auf eine Reihe von Parametern zurückgegriffen werden, aus denen für die Abfallwirtschaftsplanung relevante Einflüsse abgeleitet werden können, insbesondere hinsichtlich der Abfallentstehung und Organisation abfallwirtschaftlicher Dienstleistungen. Einzelne bzw. mehrere Parameter (siehe Tabelle 1) können dabei z.B. den folgenden sechs Leitkriterien für eine Gebietstypisierung zugeordnet werden:

1. Siedlungsstruktur
2. Art der Gebäudebeheizung
3. Gewerbestruktur
4. Verkehrswegenetz
5. Industriestruktur
6. Regionale Besonderheiten

Der abfallwirtschaftliche Bezug der o.g. Kriterien ergibt sich aus den folgenden Überlegungen.

Siedlungsstruktur

Hier müssen vor allem zwei Hauptmerkmale berücksichtigt werden: die Einwohneranzahl und -dichte sowie der Bebauungsaspekt. Beide Merkmale stehen in direkt Abhängigkeit (so bedingt eine große Bevölkerungszahl mit hoher Dichte eine dichte Bebauungsstruktur), was heißt, dass je nachdem welche Informationen aktuell verfügbar sind, diese sowohl gemeinsam oder aber auch nur einzeln genutzt werden können.

Das Kriterium „Bebauungsstruktur“ ist repräsentativ für eine Vielzahl von raumbezogenen Eigenschaften, bspw. sind bestimmte Gebäudetypen mit speziellen Gebäudegrößen verbunden. Sie sind charakteristisch für einen bestimmten Entwicklungsstand der Infrastruktur, welcher zu einer unterschiedlichen Anbindung und typischen Ausstattung öffentlicher Räume führt. Ebenso bestehen enge Beziehungen zwischen anderen Aspekten, bspw. sozioökonomischen. Die Menge und Zusammensetzung des entstehenden Abfalls und die Möglichkeiten für dessen Sammlung und Abfuhr werden maßgeblich durch die Kombination dieser Merkmale bedingt

Abfallwirtschaftlich relevante Aspekte, die mit diesem Kriterium in Verbindung stehen, sind folgende:

- Zusammensetzung und Menge an Abfällen, welche je Struktureinheit anfallen können
- Möglichkeiten der getrennten Sammlung und Eigenkompostierung von Abfällen
- passende Sammelsysteme (Hol- oder Bringsystem)
- geeignete Sammelbehältertypen und –größen
- passende Abfallgebührenmodelle.

Art der Gebäudeheizung

Die Art und Weise der Beheizung von Gebäuden (individuelle Festbrennstoffheizung gegenüber Zentralheizung) ist insoweit wesentlich, als sich dadurch den Haushalten die Möglichkeit eröffnen bzw. verschließen kann, einen Teil ihrer Abfälle statt durch Teilnahme an der Abfallsammlung durch Verbrennung im eigenen Herd oder in der Ofenheizung) zu entsorgen.

Des Weiteren haben diese Kriterien einen signifikanten Einfluss auf die Materialeigenschaften des Abfalls, der zur Sammlung bereitgestellt wird (z.B. hinsichtlich des Anteils an Aschen und brennbaren Stoffen) und infolge dessen auf die entsprechend geeigneten Sammelbehälter und die weiterführende Abfallbehandlung.

Abfallwirtschaftlich relevante Aspekte, die mit diesem Kriterium in Verbindung stehen, sind folgende:

- erwartete Zusammensetzung und Menge an Abfällen
- geeignete Sammelbehältertypen (bspw. Sammelbehälter aus Kunststoff sind generell ungeeignet für die Sammlung von Abfällen, welche heiße Aschen von Festbrennstoffheizungen enthalten können).
- geeignete Optionen für die Abfallbehandlung (bspw. bedingen große Aschemengen im Abfall andere Behandlungsoptionen als für Abfälle mit geringem Ascheanteil).

Wirtschaftsstruktur

Die Intensität gewerblicher oder industrieller Aktivitäten und die Zusammensetzung der angesiedelten Branchen beeinflusst wesentlich die Menge und die Art der entstehenden Abfälle und liefert, gemeinsam mit der Siedlungsstruktur, einen verlässlichen Indikator für die sozio-ökonomische Situation bzw. die sozio-ökonomischen Bedingungen eines Gebietes (bspw. Beschäftigungsgrad, Einkommenssituation, Entwicklungspotenziale usw.).

Abfallwirtschaftlich relevante Aspekte, die mit diesem Kriterium in Verbindung stehen, sind folgende:

- erwartete Zusammensetzung und Menge an Abfällen
- Möglichkeiten der getrennten Abfallsammlung
- passende Sammelsysteme (Hol- oder Bringsystem)
- passende Abfallgebührenmodelle (adaptiert an die finanzielle Leistungsfähigkeit bzw. Zahlungsbereitschaft).

Verkehrswegenetz

Umfang und Zustand des Verkehrswegenetzes beeinflussen die Intensität und die Art und Weise, mit welcher ein Gebiet hinsichtlich Abfallsammlung und -transport ausgestattet werden kann. Dabei sind alle Transportmöglichkeiten zu prüfen (Straße, Eisenbahn, Schiff), da alle jeweils spezifische Vorteile bieten.

Abfallwirtschaftlich relevante Aspekte, die mit diesem Kriterium in Verbindung stehen, sind folgende:

- geeignete Sammelsysteme

- geeignete Fahrzeuge und Transportketten
- Bedarf an lokalen Behandlungsmöglichkeiten, Zwischenlagern und Umladestationen.

Industriestruktur

Die Existenz verschiedener Industriezweige und industrieller Einrichtungen (bspw. Papierfabriken, Zementfabriken usw.) eröffnet Möglichkeiten für die Verwertung bestimmter Abfallbestandteile und beeinflusst andere Formen der Entsorgung (bspw. die Mitverbrennung von Abfällen, die Entwicklung aufgelassener Bergbaustandorte zu Ablagerungsorten für ausgewählte Abfälle). Des Weiteren bestehen auch eine Verbindung zum Kriterium Verkehrswegenetz (bspw. Möglichkeit zur Nutzung von industriellen Transportsystemen für den Abfalltransport) und ein Einfluss auf die Erzeugung bestimmter Abfälle innerhalb des betroffenen Gebietes.

Regionale Besonderheiten

Die wesentlichen regionalen Besonderheiten, welche aus der Sicht der Abfallwirtschaft einer besonderen Beachtung bedürfen, sind folgende:

- Touristikzentren: Aufgrund der abweichenden Entwicklung von Abfallmenge und –zusammensetzung im Vergleich zu den umliegenden Gebieten kommt diesen Gebieten in Bezug auf die Abfallwirtschaft eine besondere Bedeutung zu. Typisch sind saisonale Schwankungen der Abfallmenge sowie die Konzentration gewerblicher und biologisch abbaubarer Abfälle. Für Gebiete mit einem gemischten Spektrum an Aktivitäten (Tourismus, Industrie und Verwaltung) kann die Überlagerung von touristischen (und damit saisonalen) Abfallmengen mit den eher konstanten Abfallmengen aus dem Bereich der lokal sesshaften Bevölkerung ein kritisches Moment sein. Tourismus verlangt darüber hinaus nach gewissen Standards in Bezug auf Sauberkeit, regelmäßige Abfallentsorgung und Ästhetik des Stadtbildes, trägt aber auch gleichzeitig unterschiedliche Einstellungen und Verhaltensweise, den Abfall betreffend, in das Gebiet ein. Während einheimische Touristen die ortsübliche Weise der Abfallentsorgung kennen, sind auswärtige Touristen oftmals an anderweitige Vorgaben gewöhnt. Die Konzentration von Tourismus und touristischer Infrastruktur bedarf in der Regel besonderer abfallwirtschaftlicher Optionen. Der Tourismus beeinflusst zudem die sozio-ökonomische Situation und den rechtlichen Gestaltungsspielraum innerhalb des Gebietes wesentlich.
- Geschützte Gebiete *(Naturschutzgebiete, Nationalparks, Militärgebiete, Nationaldenkmäler usw.)*: Diese Gebiete sind bspw. durch die Ramsar-Konvention und/oder andere nationale Regularien geschützt. Ihre Bedeutung für die Abfallwirtschaft leitet sich insbesondere aus Beschränkungen für die Optionen der Abfallentsorgung (z.B. Beschränkung für die Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen bzw. spezielle Genehmigungsanforderungen), das Spektrum an wirtschaftlichen Aktivitäten und das generelle Entwicklungspotenzial des Gebietes betreffend, ab. Üblicherweise sind in diesen Gebieten keine vorrangig gewerblichen bzw. industriellen Aktivitäten zugelassen.
- Topographische Besonderheiten *(extrem bergige Gebiete, Feuchtgebiete, usw.)*: Topographische Besonderheiten können die Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen behindern, bspw. aufgrund eingeschränkter Zugänglichkeit und Entwicklungspotenziale, langer Transportentfernungen oder klimatischer Einflüsse. Diese Gegebenheiten können derartige Gebiete andererseits für bestimmte Aktivitäten, wie Tourismus oder Fischerei attraktiv machen, so dass es hier häufig sehr spezifischer abfallwirtschaftlichen Lösungen bedarf.
- Spezielle Zonen *(speziell geförderte Zonen, grenznahe Zonen usw.)*: Durch die Förderung derartiger Zonen kann es zu lokalen Entwicklungen kommen, welche besonderen Einfluss auf die Organisation der Abfallwirtschaft haben, z.B.:
  - schnelles Bevölkerungswachstum
  - Aus- oder Umbau industrieller Aktivitäten und Infrastrukturen oder
  - Konzentration von Menschen mit speziellen Bräuchen und Traditionen.

  Dies führt in der Regel zu Abfallmengen und -zusammensetzungen, welche sich von denen des übrigen Landes wesentlich unterscheiden. Der Einfluss einer intensiven Verbringung von Abfällen und Sekundärrohstoffen über Ländergrenzen hinweg kann ebenso von Belang sein. Generell verursacht grenzüberschreitender Verkehr wesentliche Mengen an Abfällen unterschiedlicher Art, manchmal mit extremen saisonalen Schwankungen und meist mit Konzentrationen an bestimmten Plätzen.

In letzter Konsequenz muss auch beim Ansatz der Gebietstypisierung beachtet werden, dass Informationen über die territoriale Struktur eine genaue Datenerfassung hinsichtlich der Menge, der Zusammensetzung sowie der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Abfälle nicht ersetzen können. Beide sind wichtig, um Abfallbehandlungsoptionen und die dazugehörigen Einrichtungen planen zu können.

Erfahrungen zeigen, dass beim Fehlen von genauen Daten oft Angebote für Abfallbehandlungsanlagen eingeholt werden, die auf den Durchschnittswerten der Abfallerzeugung des jeweiligen Landes beruhen. Als Resultat dieses Vorgehens bestehen regelmäßig erhebliche Abweichungen zwischen der geplanten und der tatsächlich erforderlichen Behandlungskapazität der Anlage.

Gebietsbezogene Daten zur Abfallmenge und –zusammensetzung sind somit für einen Planungsprozess ebenfalls **unverzichtbar**.

Praktische Anwendung

Der limitierende Faktor für die Güte einer Gebietstypisierung ist die Menge und die Qualität der lokal verfügbaren Daten. Auf der anderen Seite verwalten statistische Ämter, Kataster und verschiedene andere Quellen oft Informationen, welche ersatzweise allein oder in Kombination Hinweise auf spezifische Ausgangslagen liefern und zur Gebietscharakterisierung herangezogen werden können. Diese Informationen haben die Funktion von Ersatz-Parametern, welche die verschiedenen Leitkriterien direkt oder indirekt beschreiben. Damit kann der Aufwand von vor-Ort-Untersuchungen reduziert und die abfallwirtschaftlich relevante Situation zumindest hinreichend abgeschätzt werden. Vor allem die Veränderungen bzw. Prognosen für einzelne Parameter über mehrere Jahre bieten wichtige Aufschlüsse (siehe Tabelle 1).

Verschiedene Karten und Pläne (Landnutzungskarten, Bevölkerungskarten usw.) basieren teilweise auf gleichen oder ähnlichen Darstellungskriterien (Parametern), wie sie zur Gebietstypisierung genutzt werden. Derartige Karten können also sehr hilfreich sein, insbesondere dann, wenn große Gebiete betrachtet werden müssen und/oder andere Daten schwer zu beschaffen sind. Eine vorhandene Karte kann möglicherweise auch ein gutes Instrument zur Visualisierung der Ergebnisse der Gebietstypisierung auf der Basis gemeinsamer Kriterien und zusätzlich verfügbarer Daten sein. Gebietscluster mit gleichen Rahmenbedingungen für die Einführung eines abfallwirtschaftlichen Systems sind mit Hilfe dementsprechender Karten auch sehr schnell erkennbar.

Tabelle 1: Beispiele für Leitkriterien und beschreibende Parameter/Daten

Leitkriterien	Beschreibende Parameter/Daten
Siedlungsstruktur	Einwohnerzahlen
	Bevölkerungsdichte
	Bebauungsstrukturen
Gebäude-beheizung	Anteil/Anzahl von Haushalten, die über eigene Festbrennstoffheizung verfügen
Wirtschafts-struktur	Produktionsaktivitäten (Genehmigungen/Umsatz/Anzahl Mitarbeiter)
	Dienstleistungsaktivitäten (Genehmigungen/Umsatz/Anzahl Mitarbeiter)
	Touristische Aktivitäten (Genehmigungen/Umsatz/Anzahl Mitarbeiter)
	Vorhandensein und Anzahl von Märkten
Verkehrswegenetz	Straßen 1. Ordnung
	Straßen 2. Ordnung
	Eisenbahnstrecken
	Schiffbare Wasserwege
Industriestruktur	Vorhandensein großer Industriezentren
	Vorhandensein großflächiger industrieller Verdichtungsräume
	Vorhandensein/Anzahl von Einrichtungen mit Möglichkeiten der Abfallentsorgung
Regionale Besonderheiten	Vorhandensein von Touristengebieten
	Vorhandensein isolierter Gebiete
	Vorhandensein von Nationalparks und geschützten Gebieten
	Vorhandensein von geförderten Gebieten
	Vorhandensein von grenznahen Gebieten

Eine kartengestützte Visualisierung ermöglicht es, ein umfassendes Bild der regionalen Besonderheiten in Bezug auf die Abfallwirtschaft zu liefern und unterstreicht dabei die Tatsache, dass keinesfalls das gesamte Gebiet eines Landes ein abfallwirtschaftlich einheitliches Gebilde darstellt. Diese Erkenntnis sollte es allen verantwortlichen Entscheidungsträgern erleichtern, den Bedarf einer individuellen Identifikation von Prioritäten und Möglichkeiten für die Abfallwirtschaft aufgrund der spezifischen Bedingungen des Planungsgebietes zu erkennen. Gleichzeitig lassen sich Teilgebiete identifizieren, welche sich aufgrund ähnlicher Voraussetzungen für einen analogen planerischen Ansatzes zur Abfallwirtschaft anbieten, so dass es sinnvoll sein könnte, mit diesen Kooperationen bzw. die Gründung von Zweckverbänden anzustreben.

In der Abfallwirtschaftsplanung besitzen Informationen mit Bezug zur Besiedelung eines Gebietes (bspw. zur Bebauungsstruktur) eine besondere Bedeutung, da sie oft repräsentativ sind für viele Faktoren, welche die Abfallwirtschaft beeinflussen (bspw. Abfallerzeugung und -zusammensetzung, Platzverfügbarkeit, Entwicklung der Infrastruktur u.a.). Ähnlich der Gebietstypisierung, welche den Besiedlungsaspekt als ein wesentliches Leitkriterium benutzt, ist es ebenso empfehlenswert, eine Typisierung auf Basis der verschiedenen Bebauungsstrukturen eines Gebietes durchzuführen. Typisch für viele Länder sind die folgenden Bebauungsstrukturen:

Bebauungsstruktur Typ I – Dominanz hochgeschossiger Gebäude (Großwohnanlagen):

Mehretagige Wohnblöcke mit einer Vielzahl von Wohneinheiten und oftmals einem geringen individuellen Platzangebot für die Lagerung von Abfällen bzw. zur Bereitstellung der Abfälle zur Abholung.

Bebauungsstruktur Typ II – Geschlossene Mehrfamilienhausbebauung:

Größere Formationen von Wohnhäusern in innerstädtischen Gebieten mit einer geringeren Anzahl von Stockwerken (meist 3–6) und einer kleineren Anzahl von Wohneinheiten je Hauseingang, beschränkter Platz zur Lagerung von Abfällen und deren Bereitstellung zur Sammlung aufgrund des geringen Abstandes zu den angrenzenden Gebäuden und der Nähe zum Straßenrand.

Bebauungsstruktur Typ III – Offene Mehrfamilienhausbebauung:

Vermehrt voneinander abgetrennte, mehrgeschossige Wohnbebauung in weniger dicht besiedelten Gebieten mit guter Infrastruktur, gelegentlich umgeben von Gartenland, aber meist in eher geringer Entfernung zur befestigten Straße.

Bebauungsstruktur Typ IV – Ein- und Zweifamilienhausbebauung:

Ein- oder Zweifamilienhäuser in eher gering besiedelten Gebieten (Stadtränder oder ländliche Gebiete), meist in größerer Entfernung zueinander, gelegentlich auch mit schlechtem Anschluss an Infrastrukturen und Hauptverkehrswege (insbesondere in ländlichen Gebieten).

Abbildung 2: Bebauungsstrukturen

Zur weiteren Vereinfachung kann auf Grundlage der in Tabelle 1 gelisteten Parameter und bei vorrangiger Berücksichtigung der Leitkriterien „Siedlungsstruktur“, „Gebäudebeheizung“, „Wirtschaftsstruktur“ und „Verkehrswegenetz“ zwischen lediglich drei Hauptgebietstypen mit jeweils eigenen abfallwirtschaftlichen Anforderungen und Schlussfolgerungen unterschieden werden:

Gebiete innerstädtischen Typs

Gebiete mit einer hohen Besiedelungsdichte, guten und verschiedenartigen Transportsystemen, ausgeprägter und vielfältiger Wirtschaftsstruktur, guter kommunaler Infrastruktur, vorherrschend geschlossene, mehrgeschossige Bebauung (Bebauungsstruktur Typ I, II und III);

Gebiete stadtrandähnlichen Typs

Gebiete mit einer mittleren oder geringeren Besiedelungsdichte, allerdings mit größeren Wohnbauten (Bebauungsstrukturtypen II, III und IV), entwickelten kommunalen Infrastrukturen und einem vorhandenen Transportnetzwerk sowie vielseitiger Wirtschaftsstruktur;

Gebiete stark ländlichen Typs

Gebiete, die durch eine mittlere oder geringe Bevölkerungsdichte gekennzeichnet sind, meist mit einzelnstehender und zum Teil abgelegener Wohnbebauung (Bebauungsstruktur III und IV), eher gering oder sehr einseitig ausgeprägter Wirtschaftsstruktur sowie zum Teil gering entwickelter Infrastruktur.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Kriterien für die Gebiete innerstädtischen Typs, stadtrandähnlichen Typs und stark ländlichen Typs, wie sie sich bei entsprechenden Gebietstypisierungen darstellen

	Gebiete innerstädtischen Typs	Gebiete stadtrandähnlichen Typs	Gebiete stark ländlichen Typs
Siedlungsstruktur	- hohe Bevölkerungsdichte, in Verbindung mit der Bevölkerungszusammensetzung kann eine große und sehr heterogene und örtlich konzentrierte Abfallmenge erwartet werden; - generell wenig verfügbarer Platz für die zeitweilige Lagerung von Abfällen in den Haushalten bis zur Abholung; - überwiegend Bebauungsstruktur der Typen I und II, teilweise III	- mittlere Bevölkerungsdichte in Zusammenhang mit der Bevölkerungszusammensetzung kann eine große, sehr heterogene und örtlich konzentrierte Abfallmenge erwartet werden; - verfügbarer Platz für die zeitweilige Lagerung von Abfällen bis zur Abholung, - sich entwickelnde Gebiete mit entstehender Infrastruktur; - überwiegend Bebauungsstruktur der Typen II, III und teilweise IV.	- geringe Bevölkerungsdichte in Zusammenhang mit der Bevölkerungszusammensetzung ist eine geringe und wenig heterogene Abfallmenge pro Einwohner zu erwarten (hoher Anteil an organisch abbaubaren Abfällen); - kaum Einschränkungen hinsichtlich des verfügbaren Platzes für die zeitweilige Lagerung von Abfällen in Haushalten bis zur Abholung, - vorherrschend sind Einfamilienhäuser mit größeren Grundstücken, Bebauungsstrukturtypen: III und IV.
Gebäudebeheizung	- größere Siedlungsgebiete mit Zentralheizung, nur gelegentlich individuelle Festbrennstoffheizungen; - ältere Städte verfügen über Siedlungsgebiete oder Häuser, welche ausschließlich mit Ofen- oder anderer individueller Festbrennstoffheizung beheizt werden	- bedeutende Siedlungsgebiete mit Zentralheizung sowie gleichberechtigt individuelle Festbrennstoffheizungen; - ältere Städte verfügen über Siedlungsgebiete oder Häuser, welche ausschließlich mit Ofen- oder anderer individueller Festbrennstoffheizung beheizt werden	- überwiegend Ofenheizung oder andere Festbrennstoffheizung - ausgewählte Gebiete (bspw. touristisch genutzte Gebiete) verfügen über Häuser mit individuellen Heizsystemen
Wirtschaftsstruktur	- große Vielfalt an wirtschaftlichen Aktivitäten mit weitem Spektrum industrieller Ansiedlungen, - große Vielfalt an Abfallarten sowie konzentriertem Anfall bestimmter Abfallarten, bspw. organisch abbaubare Abfälle (von Marktplätzen), Papier (in Bürogebäuden), Verpackungen (in Einkaufszentren)	- geringere Vielfalt und Intensität wirtschaftlicher Aktivitäten und geringeres Spektrum an industriellen Ansiedlungen, - dennoch eine große Vielfalt von Abfallarten und konzentrierter Anfall bestimmter Abfallarten ähnlich der innerstädtischen Gebiete, allerdings mit Schwerpunkt auf dem Verpackungsabfall	- überwiegend landwirtschaftliche Aktivitäten mit nur gelegentlich anderen wirtschaftlichen Aktivitäten (kleine Handwerksbetriebe und industrielle Aktivitäten (Reparatur von Landwirtschaftstechnik, Schuhen o.ä.)
Verkehrswegenetz	- gute Verbindung zu Fernverkehrsstraßen, nationalen und lokalen Straßenverbindungen und zum Eisenbahnnetz, relativ oft mit Anbindung an schiffbare Wasserwege.	- gute Anbindung an Fernverkehrsstraßen, nationale und lokale Straßen und das Eisenbahnnetz; gelegentlich Anbindung an schiffbare Wasserstraßen	- oft nur schlechte Nebenstraßenanbindung, gelegentlich Anbindung an das Eisenbahnnetz, selten an schiffbare Wasserwege

Die oben beschriebenen Kriterien, Gebiets- und Bebauungsklassifikationen sind für die meisten europäischen Länder repräsentativ, können aber auch für andere Regionen modifiziert werden. Generell lässt die Methode das Fazit zu, dass Gebiete desselben Typs im Prinzip vergleichbare Potenziale für die Planung und Einführung bestimmter abfallwirtschaftlicher Maßnahmen und Technologien bieten.

Zusätzliche Aufmerksamkeit verdienen regionale Besonderheiten, da sie -unabhängig von der eigentlichen Gebietstypisierung- sehr spezifische Umsetzungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen in einem bestimmten Gebiet erfordern können. Diese Besonderheiten können ausgeprägte Zwänge hervorrufen (bspw. Einschränkungen aufgrund extremer lokaler Klimaverhältnisse) oder das Gebiet als besonders geeignet für bestimmte Technologien ausweisen (bspw. Saugsystem für die Abfallsammlung oder Müllschleusen-System für die differenzierte Gebührenerhebung).

Abfallbehandlungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung lokaler Voraussetzungen

Einführung zum Themenbereich

Es entspricht gängiger Praxis und ist Teil der Leitlinien zur Umsetzung einer nachhaltigen Umweltpolitik die Abfallbewirtschaftung zu planen. Dabei sollten die bestehende Allgemeinsituation und abfallwirtschaftliche Lage sowie sorgfältig gewählte Zielstellungen und das Spektrum an verschiedenen Optionen mit denen diese erreicht werden können die Ausgangsgrundlagen bilden. Oftmals liefern die bereits auf nationaler Ebene entwickelten Pläne und Strategien zur Abfallwirtschaft hierzu Ansatzpunkte und Rahmendaten. Das vorliegende Informationsinstrument wurde erarbeitet, um den abfallwirtschaftlichen Planern und Entscheidungsträgern einen umfassenden Überblick zu den möglichen Vorgehensweisen und technischen Optionen für die Verwirklichung einer effektiven Abfallsammlung, -beförderung, -verwertung und -behandlung an die Hand zu geben. Diese Informationen sind verbunden mit Hinweisen über die Anwendbarkeit der jeweiligen Techniken im Hinblick auf spezielle regionale Bedingungen und/oder erforderliche Voraussetzungen. Ebenfalls zur Darstellung gebracht werden verschiedene Varianten, um Abfallbewirtschaftungssysteme zu finanzieren aber auch Möglichkeiten, um bereits die Entstehung von Abfällen zu vermeiden und somit den Behandlungsaufwand und die damit verbundenen Umweltbelastungen zu minimieren.

Einsatzbereiche und Anwendungsrahmen einzelner abfallwirtschaftlicher Technologien und Ausrüstungen werden in den jeweils extra dafür bereitgestellten Datenblättern bereits auf der ersten Übersichtsseite charakterisiert. Diese Technologien und Ausrüstungen sind jedoch nur Komponenten eines Gesamtsystems, welches an die lokalen Gegebenheiten angepasst und zur Bewirtschaftung aller anfallenden Abfallströme entwickelt werden muss. Die eigentliche Herausforderung für die Planung besteht also darin, unter Berücksichtigung der speziellen Ziele und Voraussetzungen in dem Gebiet für das das Abfallwirtschaftssystem entwickelt werden soll, die geeigneten technischen Komponenten auszuwählen und zu einem funktionalem, zweck- und umweltdienlichen Gefüge zu verschmelzen. Ein hieraus hervorgehendes System spiegelt die Verknüpfung der Informationen und Aspekte wieder, welche in den vorliegenden Datendokumenten jeweils einzeln bereitgestellt und erläutert werden.

Optionen für den Umgang mit verschiedenen Fraktionen des Siedlungsabfalls

Um dem Nutzer der Datensammlung nicht nur einen breiten Informationspool zu bieten aus dem er selbst die zutreffenden Angaben entnehmen und in geeigneter Weise miteinander in Verbindung setzen muss, wird durch Anwendungsbeispiele demonstriert, wie sich unter Nutzung der bereitgestellten Informationen die einzelnen technischen Komponenten zu einem ganzheitlichen System zur Abfallbewirtschaftung zusammenfügen. Dazu werden in einem ersten Schritt die unterschiedlichen Einzeloptionen zum Umgang mit den verschiedenen Abfallströmen dargestellt.

Die zur Darstellung kommenden Einzeloptionen sind an den Zielen und Grundrichtungen für die Abfallbewirtschaftung in Europa ausgerichtet. Sie verkörpern die derzeitigen besten Praktiken und markieren zugleich die notwendige Abkehr von der Deponierung unvorbehandelter Abfallgemische als unzeitgemäßen aber weltweit noch immer verbreitetsten Weg für die Abfallentsorgung. Darüber hinaus macht das Spektrum verschiedener Optionen für die gleiche Abfallart deutlich, dass es durchaus eine Vielfalt und Variabilität an Möglichkeiten gibt, Abfälle zu bewirtschaften, so dass auch den lokalen Bedingungen und Erfordernissen in der Abfallwirtschaftsplanung Rechnung getragen werden kann.

Die Notwendigkeit verschiedener Behandlungsmöglichkeiten wird überdies durch die weltweit ansteigende Komplexität der Abfallzusammensetzung und nicht zuletzt durch die Zielstellung, Abfälle möglichst effektiv und hochwertig zu nutzen, bedingt. Nicht unbedeutend ist dabei die Tatsache, dass gerade auch in wirtschaftlich und infrastrukturell nicht so entwickelten und sogar in abgelegenen und bisweilen noch vollkommen ländlich geprägten Gebieten Abfallmengen und Bestandteile zusehends Veränderungen in eine Richtung erfahren, wie sie bislang nur für städtische Gebiete typisch waren. Zugleich bestehen jedoch die oft sehr unterentwickelten und einfachen Strukturen für das Abfallmanagement in diesen Gebieten weiter fort, so dass auf diese Veränderungen nicht adäquat reagiert werden kann und neue Umweltgefahren entstehen.

Bei der Zusammenstellung der Behandlungsoptionen wurde auch der Getrennterfassung von Abfällen am Anfallort ein Hauptaugenmerk gegeben. Damit soll zum

einen deutlich gemacht werden, dass eine gewisse Vorseparierung von Abfallbestandteilen oftmals eine Grundvoraussetzung darstellt, um verschiedene Behandlungsoptionen nutzen zu können, zum anderen aber auch ein gegebenenfalls schon existierendes Trennverhalten, welches auf traditionellen Nutzungen einzelner Abfallstoffe gründet, auch beibehalten oder eventuell sogar ausgebaut werden kann.

Die Darstellung der Behandlungsalternativen nimmt seinen Ausgangspunkt bei den verschiedenen Abfallfraktionen des Siedlungsabfalls. Damit erfolgt für bestimmte Fraktionen, wie z.B. Bioabfall oder Verpackungen, die Beschreibung von Behandlungswegen wie sie nur für diese speziellen Materialströme existieren. Naturgemäß gehen aber nicht alle Fraktionen zwangsläufig getrennt zu erfassen, was für die abfallstromspezifische Behandlung eine Voraussetzung wäre. Stattdessen kann ein Behandlungsweg auch für mehrere Abfallströme gemeinsam zur Anwendung kommen. Beispielsweise lassen sich gemischte Haushaltsrestabfälle und Sperrmüll zusammen sowohl der Abfallverbrennung oder mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zuführen.

Sich einen Einblick in die verschiedenen Behandlungsmöglichkeiten zu verschaffen, um abprüfen zu können, ob und welche dieser Optionen eventuell unter den lokalen Voraussetzungen anwendbar sind, ist ein wichtiger Schritt aber nur ein Teil der Gesamtplanungsaufgabe. Genauso wichtig ist es, sich des Gesamtabfallaufkommens bewusst zu sein und, ausgehend von diesem Wissen, Überlegungen anzustellen, wie die verfügbaren Behandlungsmöglichkeiten am effektivsten miteinander verknüpft bzw. kombiniert werden können. Aus diesem Grund werden einerseits die Einzeloptionen zur Behandlung der verschiedenen Fraktionen des Siedlungsabfalls dargestellt, als Folgeschritt aber auch mögliche Gesamtkonzeptionen zur Abfallbehandlung im Hinblick auf bestimmte typische Gebietsstrukturen beispielhaft beschrieben.

Die Zusammenstellung möglicher Gesamtkonzeptionen für das Abfallmanagement bildet einen separaten Informationsteil, durch den die Datensammlung gesamthaft zur Verknüpfung und zugleich zu ihrem Abschluss kommt. Zugang zu den Detailbeschreibungen der für die Behandlung von verschiedenen Fraktionen des Siedlungsabfalls bestehenden Einzeloptionen bieten die in der letzten Spalte der nachstehenden Tabelle hinterlegten Links.

Tabelle 1: Übersicht der Optionen zur Behandlung verschiedener Fraktionen des Siedlungsabfalls

Abfallfraktion	Managementoptionen		Option
	Art der Sammlung / Erfassung	Weg der Behandlung	
Haushaltsabfall	gemischt über Restabfallsammlung	Andienung an mechanisch-biologische Behandlungsanlage (MBA)	1
	gemischt über Restabfallsammlung	Andienung an Müllverbrennungsanlage (MVA)	2
	gemischt über Restabfallsammlung	Andienung an mechanisch-biologische Behandlungsanlage über Umladestation	3
	gemischt über Restabfallsammlung	Andienung an Müllverbrennungsanlage über Umladestation	4
	getrennte Erfassung trockener Komponenten (gemischte Wertstoffe) und des Restes	Andienung der trockenen Fraktion an Sortieranlage, Reste zur MBA oder MVA	5
Bioabfall	getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an Kompostieranlage	6
	getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an Vergärungsanlage	7
Verpackungsabfall	in gemischter Form getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an Sortieranlage zur Abtrennung der recycelbaren Materialien	8
	getrennte Erfassung verschiedener Materialien am Anfallort	Andienung an verschiedene Sortieranlagen zur Aufbereitung für das Recycling	9
Sperrmüll	in gemischter Form getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an Müllverbrennungsanlage	10
	in gemischter Form getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an Sortieranlage zur Abtrennung der recycelbaren Materialien	11
	in gemischter Form getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an MBA	12
Bauabfälle	in gemischter Form getrennte Erfassung am Anfallort	Andienung an Sortieranlage zur Aufbereitung in verwertbare Fraktionen	13
	getrennte Erfassung verschiedener Materialien am Anfallort	teilweise Aufbereitung und Verwertung vor Ort, Reste zur externen Verwertung	14

Behandlungsoption 1: Mechanisch-Biologische Behandlung von Haushaltsabfällen

Ablaufschema

Beschreibung

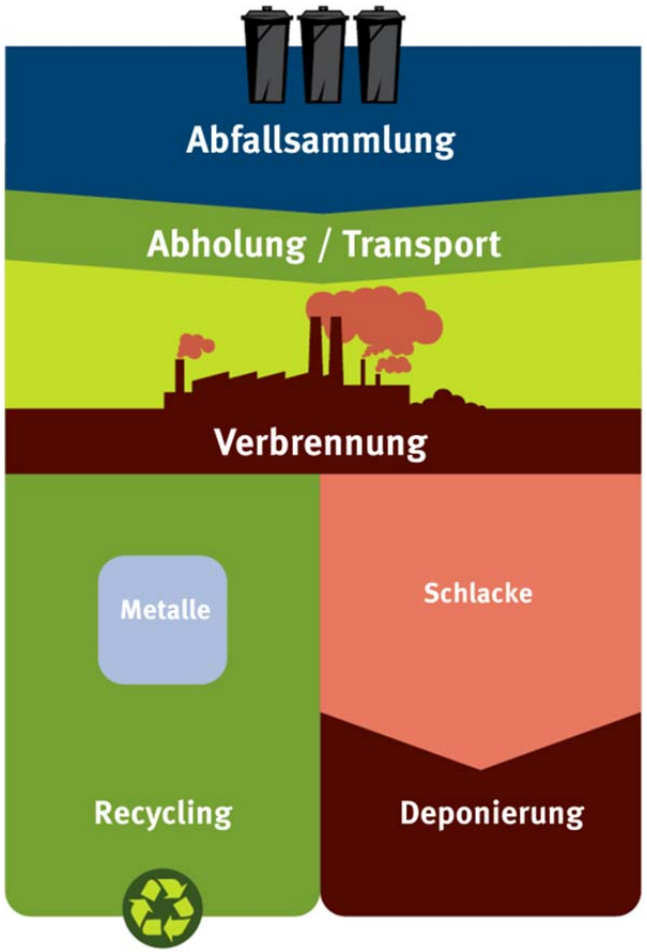
Die Haushaltsabfälle werden als gemischter Restabfall von den Abfallerzeugern in den dafür vorgesehenen Behältern gesammelt. Dies können mobile Abfallsammelbehälter und, besonders für geringere Abfallmengen, standardisierte Beutel oder Abfallsäcke sein, welche auch für die systemunabhängige Abfallsammlung geeignet sind. Gewöhnlich wird der gesammelte Abfall von einem der verschiedenartigen Abfallsammelfahrzeuge eingesammelt. Man unterscheidet zwischen Heckladern, Frontladern bzw. Seitenladern in verschieden modifizierten Versionen, welche angepasst an die unterschiedlichen Randbedingungen erhältlich sind. Die Anlieferung des Abfalls an die Behandlungsanlage kann direkt mit dem Fahrzeug erfolgen und ist effizienter, wenn die Entfernungen eher kurz sind.

Der Abfall wird anschließend durch mechanisch-biologische Prozesse in einer mechanisch-biologischen Behandlungsanlage behandelt, mit dem Ziel der Gewichts- und Volumenreduktion sowie der Stabilisierung der Abfälle vor ihrer endgültigen Ablagerung. Während der Behandlung werden einerseits verwertbare Materialien (hauptsächlich Metalle) und eine heizwertreiche Fraktion vom Restabfallstrom durch mechanische Prozesse abgetrennt, während andererseits durch biologische Prozesse (entweder Rotteprozesse oder Vergärung) eine Trocknung und ein biologischer Abbau des Abfallmaterials und damit eine Stabilisierung des Materials erreicht werden. In Abhängigkeit davon, ob ein mechanisch-biologisches Behandlungs- (MBA) oder Stabilisierungsverfahren (MBS) zum Einsatz kommt, ist ein stabilisiertes Material zur Deponierung (bei MBA) oder ein stabilisiertes heizwertreiches Material zur thermischen Verwertung (bei MBS) der hauptsächliche Output.

Die gewonnenen Wertstoffe können in der einschlägigen Recyclingindustrie eingesetzt werden. Stabilisiertes Material und Reststoffe aus der Verbrennung können auf den jeweils geeigneten Deponien für nicht gefährliche Abfälle bzw. Deponien für gefährliche Abfälle abgelagert werden.

Behandlungsoption 2: Verbrennung von Haushaltsabfällen

Ablaufschema



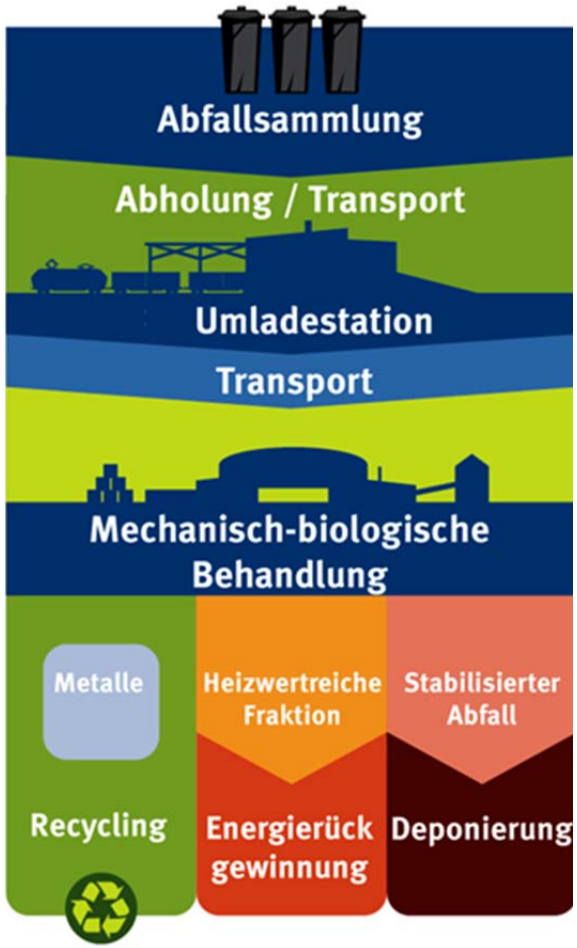
Beschreibung

Die Haushaltsabfälle werden als gemischter Restabfall von den Abfallerzeugern in den dafür vorgesehenen Behältern gesammelt. Dies können mobile Abfallsammelbehälter und besonders für geringere Abfallmengen standardisierte Beutel oder Abfallsäcke sein, welche auch für die systemunabhängige Abfallsammlung geeignet sind. Gewöhnlich wird der gesammelte Abfall von einem der verschiedenartigen Abfallsammelfahrzeuge eingesammelt. Man unterscheidet zwischen Heckladern, Frontladern bzw. Seitenladern in verschieden modifizierten Versionen, welche angepasst an die unterschiedlichen Randbedingungen erhältlich sind. Die Anlieferung des Abfalls an die Behandlungsanlage kann direkt mit dem Fahrzeug erfolgen und ist effizienter, wenn die Entfernungen eher kurz sind.

Der Abfall wird thermisch in einer Abfallverbrennungsanlage behandelt. Der Verbrennungsprozess hat das Ziel, das Volumen und Risikopotenzial des Abfalls durch Oxidation und Mineralisierung zu reduzieren und bietet gleichzeitig die Möglichkeit der Energierückgewinnung (energetisch und thermisch). Verschiedene Varianten der Abfallverbrennung sind möglich, hauptsächlich zum Einsatz kommen die Rostfeuerung oder die Wirbelschichtverbrennung. Welche Technologie ausgewählt wird, hängt unter anderem von der Abfallzusammensetzung und -menge ab. Alle Technologien erfordern den Einsatz einer Rauchgasreinigung um die Umweltschutzstandards sicher einzuhalten. Abfallverbrennung ist besonders empfehlenswert für Standorte, an welchen große, gleichbleibende Mengen an Abfall verschiedener Zusammensetzung behandelt werden müssen und Nutzer für die erzeugte Energie vorhanden sind (wobei die letzte Bedingung wesentlich für die ökonomische Effizienz des Verbrennungsprozesses ist). Die relativ hohen Investitionen müssen dabei berücksichtigt werden. Metall kann für das Recycling aus der Asche zurückgewonnen werden, Teile der Asche und Schlacken sind baulich verwertbar, der nicht verwertbare Anteil wird auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle abgelagert, wogegen die Flugasche und die Filterstäube auf Deponien für gefährliche Abfälle verbracht werden müssen

Behandlungsoption 3: Mechanisch-Biologische Behandlung von Haushaltsabfällen nach der Lieferung über eine Umladestation

Ablaufschema



Beschreibung

Die Haushaltsabfälle werden als gemischter Restabfall von den Abfallerzeugern in den dafür vorgesehenen Behältern gesammelt. Dies können mobile Abfallsammelbehälter und besonders für geringere Abfallmengen standardisierte Beutel oder Abfallsäcke sein, welche auch für die systemunabhängige Abfallsammlung geeignet sind. Gewöhnlich wird der gesammelte Abfall von einem der verschiedenartigen Abfallsammelfahrzeuge eingesammelt. Man unterscheidet zwischen Heckladern, Frontladern bzw. Seitenladern in verschieden modifizierten Versionen, welche angepasst an die unterschiedlichen Randbedingungen erhältlich sind.

Eine Umladestation ermöglicht das Zwischenlagern und Umladen des durch die Sammelfahrzeuge angelieferten Abfalls im Hinblick auf die Notwendigkeit eines optimierten Transportes zur nächst möglichen Behandlungsanlage. Der Umladeprozess ermöglicht gleichzeitig eine Behandlung des angelieferten Abfalls in Form einer Volumenreduzierung durch Verdichtung zum Zwecke der Optimierung bzw. Verringerung der Kosten für den Langstreckentransport.

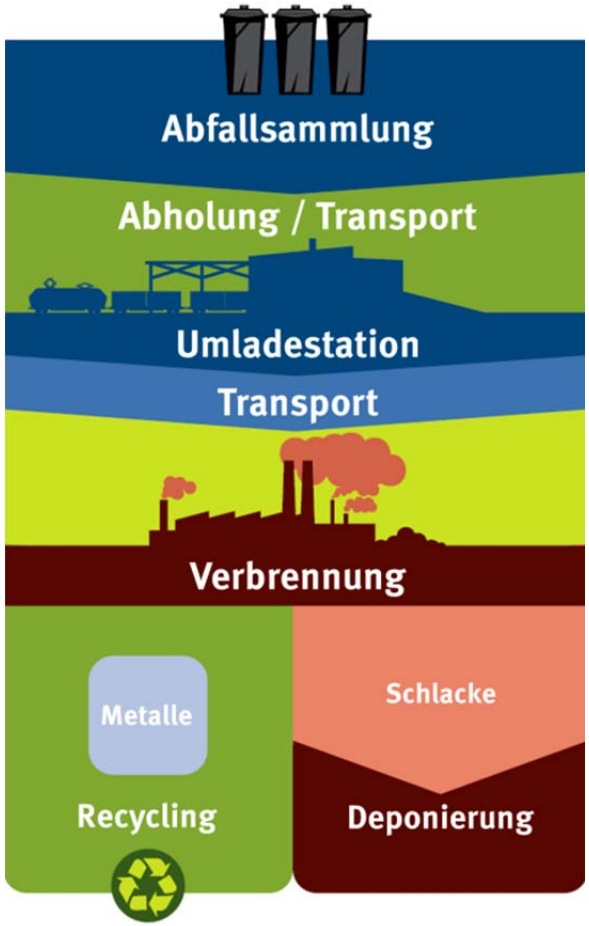
Langstrecken-Transporter, wie Sattelauflieger mit Schubboden oder Wechselcontainersysteme können in der erweiterten Transportkette genutzt werden.

Die Behandlung des Abfalls erfolgt in einer zentralen mechanisch-biologischen Behandlungsanlage, welche sich in größerer Entfernung vom ursprünglichen Sammelgebiet befindet.

Der Prozess der mechanisch-biologischen Behandlung ist bereits im Rahmen der Behandlungsoption 1 beschrieben. Auch die Outputströme und die Optionen für deren weitere Nutzung sowie die Möglichkeiten für die Entsorgung der Prozessrückstände sind den dort genannten gleich.

Behandlungsoption 4: Verbrennung von Haushaltsabfällen nach Anlieferung über eine Umladestation

Ablaufschema



Beschreibung

Die Haushaltsabfälle werden als gemischter Restabfall von den Abfallerzeugern in den dafür vorgesehenen Behältern gesammelt. Dies können mobile Abfallsammelbehälter und besonders für geringere Abfallmengen standardisierte Beutel oder Abfallsäcke sein, welche auch für die systemunabhängige Abfallsammlung geeignet sind. Gewöhnlich wird der gesammelte Abfall von einem der verschiedenartigen Abfallsammelfahrzeuge eingesammelt. Man unterscheidet zwischen Heckladern, Frontladern bzw. Seitenladern in verschieden modifizierten Versionen, welche angepasst an die unterschiedlichen Randbedingungen erhältlich sind.

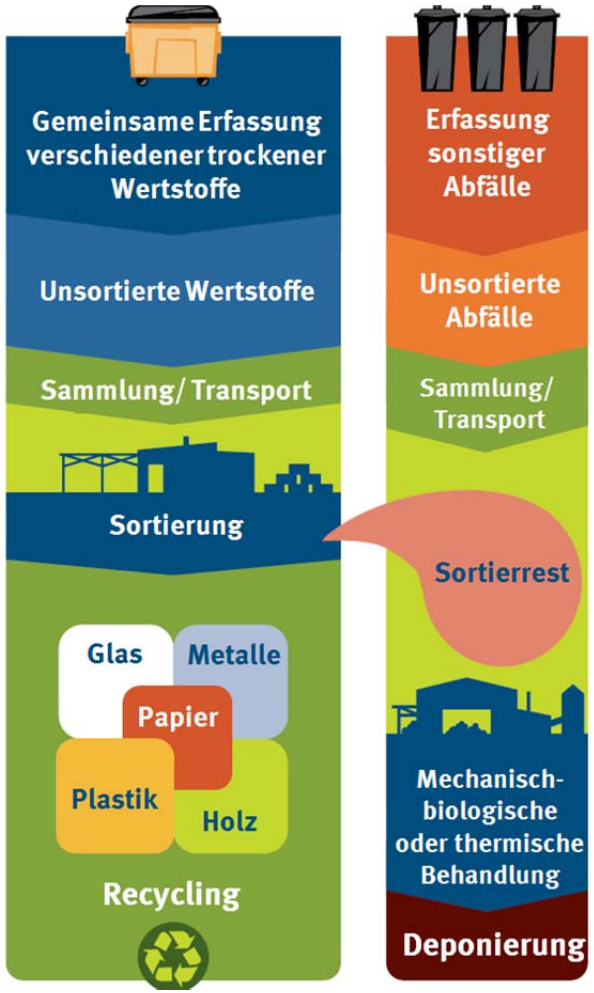
Eine Umladestation ermöglicht das Zwischenlagern und Umladen des durch die Sammelfahrzeuge angelieferten Abfalls im Hinblick auf die Notwendigkeit eines optimierten Transportes zur nächst möglichen Behandlungsanlage. Der Umladeprozess ermöglicht gleichzeitig eine Behandlung des angelieferten Abfalls in Form einer Volumenreduzierung durch Verdichtung zum Zwecke der Optimierung bzw. Verringerung der Kosten für den Langstreckentransport.

Langstrecken-Transporter, wie Sattelauflieger mit Schubboden oder Wechselcontainersysteme können in der erweiterten Transportkette genutzt werden.

Die Behandlung des Abfalls erfolgt in einer zentralen Abfallverbrennungsanlage, welche sich in größerer Entfernung vom ursprünglichen Sammelgebiet befindet. Für den eigentlichen Verbrennungsprozess kommen prinzipiell die gleichen Technologien, generellen Rahmenbedingungen und Anforderungen wie sie in der Behandlungsoption 2 dargestellt sind zum Tragen. Auch die Outputströme und die Optionen für deren weitere Nutzung sowie die Möglichkeiten für die Entsorgung der Prozessrückstände sind den dort genannten gleich.

Behandlungsoption 5: Gemeinsame Sammlung trockener Wertstoffe und Trennung in einer Sortieranlage

Ablaufschema



Beschreibung

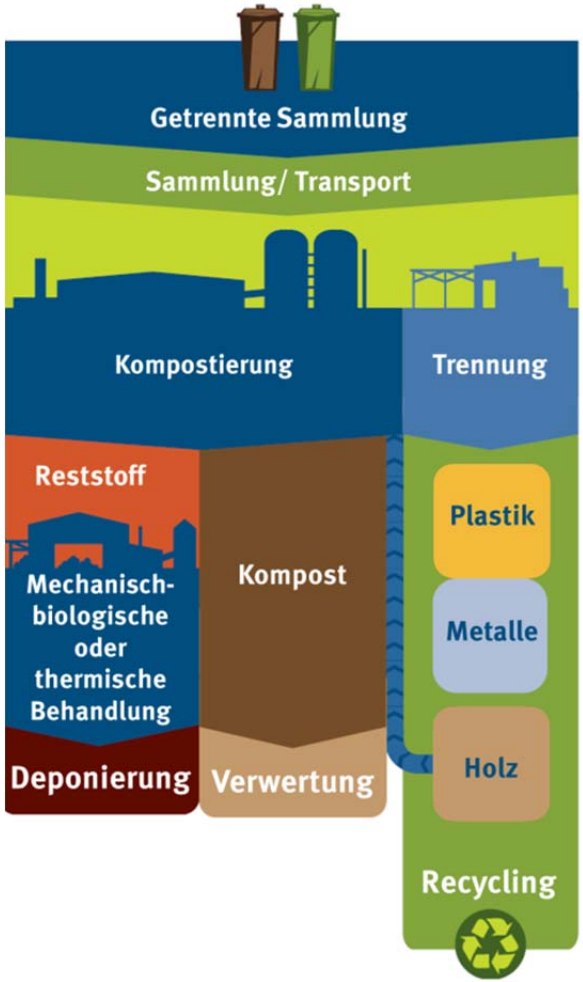
Die gezielte Abtrennung von Wertstoffen aus Haushaltsabfällen erlaubt es die Menge zu behandelnder und abzulagernder Abfälle stark zu reduzieren und zugleich wirtschaftlich interessante Rohstoffe zu gewinnen. Eine hohe Zahl verschiedener, getrennt zu erfassender Wertstofffraktionen verringert jedoch tendenziell die Bereitschaft der Bevölkerung, an der getrennten Sammlung von Wertstoffen teilzunehmen und erhöht die Erfassungskosten. Das System „Trockene (Wertstoff-) Tonne“ stellt ein geeignetes und kostengünstiges System zur weitgehenden Erfassung von Wertstoffe dar. Mit diesem System werden Abfälle aus Haushaltungen prinzipiell in zwei Fraktionen getrennt erfasst: 1. Trockene Wertstoffe, 2. Andere Abfallstoffe.

Die Sammlung kann sowohl über ein Holsystem mit verschiedenen Sammelbehältern (z.B. mobile Abfallsammelcontainer, standardisierte/ nicht standardisierte Abfallsäcke) als auch durch ein Bringsystem z.B. unter Nutzung von Depotcontainern realisiert werden. Für die Abholung sind Hecklader oder Seitenlader zweckmäßig. Die Wertstoffe werden in der Regel direkt mit den Sammelfahrzeugen zur Sortieranlage transportiert. Im Sortierprozess werden die Wertstoffe durch verschiedene mechanische Prozesse, die auch die händische/voll- oder teilautomatische Sortierung beinhalten können, in verschiedene, meist stofflich verwertbare, Materialströme aufgetrennt. Die wichtigsten Fraktionen sind dabei Glas, Papier/Kartonagen, Holz, Fe-/NE-Metalle sowie Kunststoffe. Für die Fraktionen Papier/Kartonagen, NE-Metalle, Kunststoffe ist je nach Marktlage eine Sortierung nach Sorten sinnvoll. Sortierreste können entsprechend der in der Behandlungsoption 1 oder Behandlungsoption 2 beschriebenen Wege weiterbehandelt werden.

Analog der trockenen Wertstoffe wird auch die zweite Fraktion der anderen Abfallstoffe haushaltsnah im Holsystem erfasst. Die Behandlung dieser Fraktion kann wie für die Sortierreste mittels der Behandlungsoption 1 oder Behandlungsoption 2 erfolgen.

Behandlungsoption 6: Kompostierung von getrennt gesammelten Bioabfällen

Ablaufschema



Beschreibung

Die getrennte Sammlung von biologisch abbaubarem Abfall kann mit Hilfe mobiler Abfallsammelbehälter und, besonders für geringere Abfallmengen, standardisierter Beutel oder Abfallsäcke erfolgen, welche auch für die systemunabhängige Abfallsammlung geeignet sind. Gewöhnlich wird der Abfall von Heckladern oder Seitenladern gesammelt, die in verschieden modifizierten Versionen angepasst an die unterschiedlichen Randbedingungen erhältlich sind. Die Anlieferung des Abfalls an die Behandlungsanlage kann direkt mit dem Fahrzeug erfolgen und ist effizienter, wenn die Entfernungen eher kurz sind.

Größere Mengen an Bioabfällen, beispielsweise Grünschnitt oder Gartenabfälle können ebenso in Abrollcontainern oder Absetzmulden gesammelt und transportiert oder direkt lose auf Sattelauflieger mit Schubböden zum Transport verladen werden.

Der Bioabfall wird in Kompostierungsanlagen geliefert, wo dieser zur Produktion von Humusprodukten genutzt wird, die zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft oder anderen Bereichen eingesetzt werden. Bei der Überprüfung des Materials vor und nach der Kompostierung werden nicht biologisch abbaubare Materialien und recycelbare Reste aussortiert. In Abhängigkeit vom verfügbaren Platz und anderen Rahmenbedingungen können die offene Mietenkompostierung oder geschlossene Kompostierverfahren für den Kompostierungsprozess genutzt werden.

Neben dem Kompost als Hauptprodukt werden Reststoffe erzeugt, die sich entweder für eine industrielle Mitverbrennung eignen, soweit stabilisiert sind, dass sie auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle zur Ablagerung kommen können oder aber analog der Behandlungsoption 1 oder Behandlungsoption 2 weiterbehandelt werden müssen. Reststoffe der Kompostierung können auch Materialien zur Herstellung einer qualitativen Deponieabdeckung liefern.

Behandlungsoption 7: Anaerobe Behandlung (Vergärung) von getrennt gesammelten Bioabfall

Ablaufschema

Beschreibung

Die getrennte Sammlung von biologisch abbaubarem Abfall kann mit Hilfe mobiler Abfallsammelbehälter und, besonders für geringere Abfallmengen, standardisierter Beutel oder Abfallsäcke erfolgen, welche auch für die systemunabhängige Abfallsammlung geeignet sind. Gewöhnlich wird der Abfall von Heckladern oder Seitenladern gesammelt, die in verschieden modifizierten Versionen angepasst an die unterschiedlichen Randbedingungen erhältlich sind. Die Anlieferung des Abfalls an die Behandlungsanlage kann direkt mit dem Fahrzeug erfolgen und ist effizienter, wenn die Entfernungen eher kurz sind.

Größere Mengen an Bioabfällen, beispielsweise Grünschnitt oder Gartenabfälle können ebenso in Abrollcontainern oder Absetzmulden gesammelt und transportiert oder direkt lose auf Sattelauflieger mit Schubböden zum Transport verladen werden.

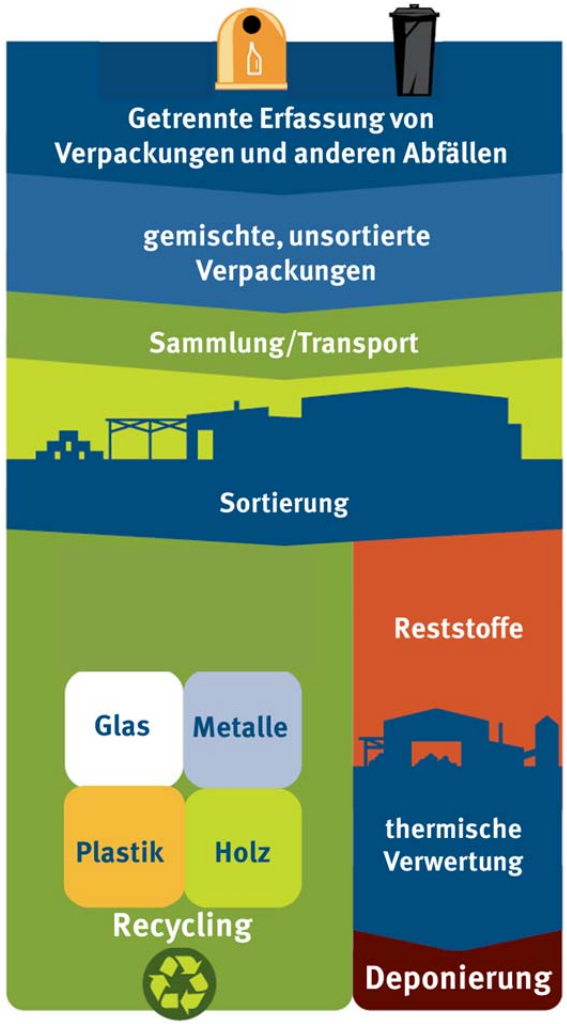
Der Bioabfall wird zu Anlagen geliefert, in denen die anaerobe Behandlung durch eine Trocken- oder Nassvergärung vorgenommen wird. Der anaerobe Prozess zersetzt das organische Material unter Mangel an Sauerstoff zu Biogas, welches zur Energieerzeugung genutzt werden kann. Vor der anaeroben Behandlung werden durch mechanische Behandlungsprozesse störende bzw. biologisch nicht abbaubare Materialien und sonstige verwertbare Stoffe aussortiert.

Der Erzeugung von Biogas nachgeschaltet muss eine Kompostierung oder eine zusätzliche biologische Anschlussbehandlung (nur biologische Stufe der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung) erfolgen, insbesondere im Hinblick auf halbfeste Rückstände, welche nach der Verarbeitung zur Deponierung verbleiben.

Die verfügbaren Optionen für die Verwertung und/oder Beseitigung der resultierenden Reststoffe sind prinzipiell den bei der Behandlungsoption 6 genannten gleich.

Behandlungsoption 8: Sammlung gemischter Verpackungen und anschließende Trennung in einer Sortieranlage

Ablaufschema



Beschreibung

Die steigende Menge der Verpackungsabfälle beinhaltet höchst unterschiedliche Materialien, die größtenteils recycelt werden können. Aus diesem Grund wird der Verpackungsabfall in der Regel getrennt von anderen Abfällen gesammelt. Die existierenden Sortiertechnologien, welche eine Trennung der verschiedenen Materialien in Vorbereitung auf das Recycling erlauben, machen allerdings die Sammlung gemischter Verpackungsabfälle möglich.

Für die Sammlung der Verpackungsabfälle von Haushalten im Holsystem können mobile Abfallsammelbehälter, standardisierte oder nicht-standardisierte Beutel oder Abfallsäcke genutzt werden. Ein Bringsystem zur Sammlung dieser Abfälle kann mit speziell modifizierten Absetzmulden oder durch Aufstellen von Depotcontainern realisiert werden. Die Abholung erfolgt durch gängige Abfallsammelfahrzeuge (Hecklader oder Seitenlader). Frontlader können zusätzlich bei großen Containerarten (›1000 l.) genutzt werden. Alle Fahrzeugtypen sind in verschiedenen modifizierten Versionen erhältlich, die an die speziellen Randbedingungen angepasst sind. Große Containersysteme und Depotcontainer werden von Fahrzeugen mit einem geeigneten Fahrgestell und Ladeausrüstung bedient. Dies sind z.B. LKW mit Wechselcontainersystemen oder Sattelauflieger mit Schubboden. Die Fahrzeuge bringen den gesammelten Abfall direkt zu einer Sortieranlage.

In den Sortierprozessen wird der Abfall durch verschiedene mechanische Prozesse, welche auch eine manuelle Sortierung beinhalten, in verschiedene Materialfraktionen getrennt. Diese Fraktionen werden von der Recyclingindustrie vorgegeben. Der Output hängt hinsichtlich der Qualität und Zusammensetzung von der Ausstattung der Sortieranlage und aktuellen Marktforderungen ab. Üblicherweise handelt es sich um vermarktbare Fraktionen von Glas, eisen- und nicht-eisenhaltigen Metallen sowie an Kunststoffen.

Die anfallenden Reststoffe und Sortierreste werden von nicht erwünschten und nicht verwertbaren Materialien gebildet, die sich entweder einer industriellen Mitverbrennung zuführen lassen oder im Weiteren entsprechend der Behandlungsoption 1 oder Behandlungsoption 2 weiterbehandelt werden.

Behandlungsoption 9: Sammlung von getrennten Verpackungsmaterialien zur Verbesserung des Recyclingergebnisses

Ablaufschema

Beschreibung

Die steigende Menge der Verpackungsabfälle beinhaltet höchst unterschiedliche Materialien, die größtenteils recycelt werden können. Aus diesem Grund wird Verpackungsabfall in der Regel von anderen Abfällen getrennt gesammelt. Um eine bessere Vermarktung, Reduzierung der Sortierkosten und hohe Recyclingergebnisse zu ermöglichen sollte eine materialspezifisch getrennte Sammlung von Verpackungsmaterialien erfolgen.

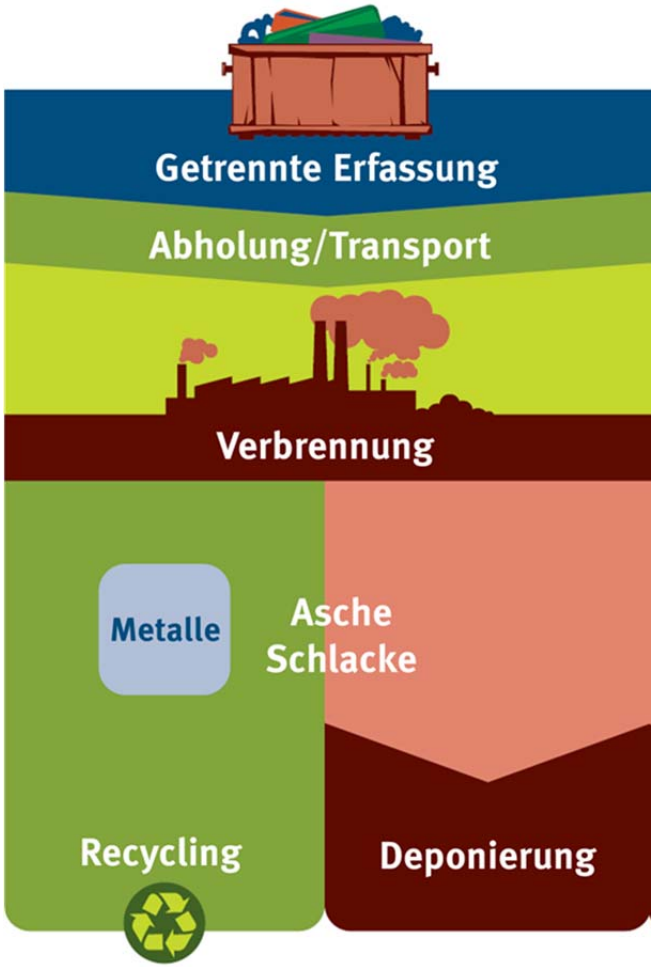
Für die getrennte Sammlung eignen sich speziell (bspw. farblich) gekennzeichnete mobile Abfallsammelbehälter bzw. standardisierte oder nicht-standardisierte Beutel oder Abfallsäcke im Holsystem, bzw. Depotcontainer oder speziell eingerichtete Annahmestellen im Bringsystem. Sehr effizient in diesem Zusammenhang sind Rücknahme- oder Recyclingsysteme, in denen der abgegebene Abfall gleich in Abrollcontainer oder Absetzmulden aufgegeben wird. Für die haushaltsnahe Abholung werden Hecklader oder Seitenlader genutzt, bei großen Containern (>1.100 l) ist die Nutzung von Frontladern möglich. Bei Bringsystemen kommen Fahrzeuge mit Aufbauten und Ausstattungen zur Beförderung der jeweiligen Containertypen, Wechselcontainersystemen oder Sattelauflieger mit Schubboden zum Einsatz.

Die Fahrzeuge transportieren den gesammelten Abfall direkt zu den Sortieranlagen der jeweiligen Art. Die Sortierverfahren für Altpapier, Altglas, Leichtverpackungen beinhalten mechanische und optisch-mechanische Schritte mit dem Ziel der Reinigung des Materials von Stör- und Schadstoffen und zur Erzeugung fertiger Recyclingfraktionen.

Die anfallenden Reststoffe und Sortierreste werden von nicht erwünschten und nicht verwertbaren Materialien gebildet, die sich entweder einer industriellen Mitverbrennung zuführen lassen oder im Weiteren entsprechend der Behandlungsoption 1 oder Behandlungsoption 2 weiterbehandelt werden.

Behandlungsoption 10: Verbrennung von getrennt gesammeltem Sperrmüll

Ablaufschema



Beschreibung

Der Sperrmüll aus Haushalten und Gewerbe wird in den meisten Fällen getrennt im Holsystem erfasst. Unter Beachtung der Größe des Abfalls können Abrollcontainer oder Absetzmulden für die Sammlung und den Transport zur Behandlungsanlage eingesetzt werden. Weitere Sammelmöglichkeiten sind die Straßensammlung (Bereitstellung in loser Form) oder Abgabe an zentralen Sammelpunkten. Von besonderer Bedeutung sind dabei Wertstoffhöfe.

Für die Straßensammlung können Hecklader eingesetzt werden. Ansonsten kommen prinzipiell verschiedene Fahrzeuge mit Aufbauten und Ausstattungen zur Beförderung der jeweiligen Containertypen, u.a. auch Fahrzeuge mit Wechselcontainern oder Sattelauflieger mit Schubboden in Betracht.

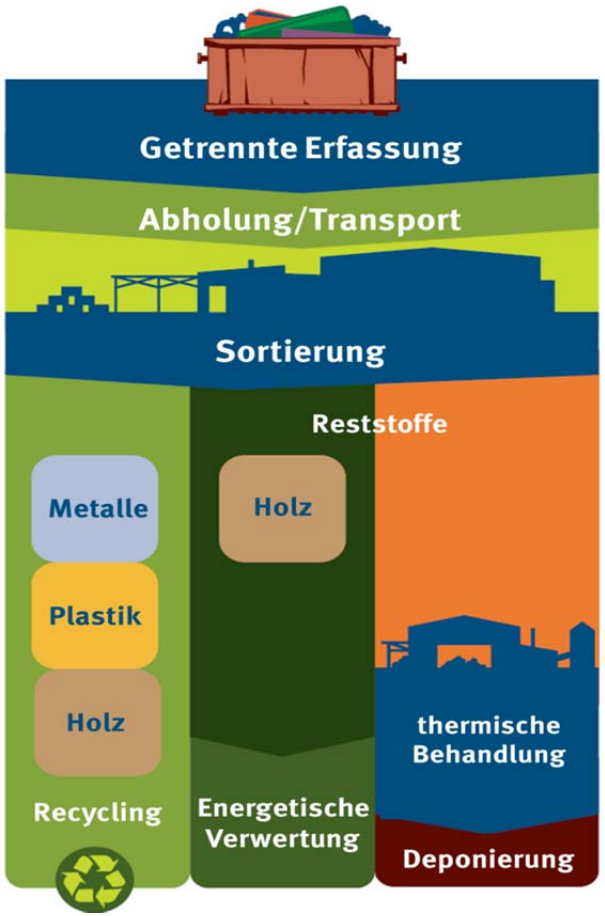
Im Sperrmüll sind brennbare Materialen in großen Anteilen enthalten, so dass eine Verbrennung möglich ist.

Falls eine Verbrennungsanlage in wirtschaftlich vertretbarer Entfernung vorhanden ist, kann der gesammelte Abfall direkt zur thermischen Behandlung in die Verbrennungsanlage transportiert werden. Vor der Aufgabe in die Verbrennung sind durch mechanische Prozesse Störstoffe aus dem Materialgemisch zu entfernen (z.B. große Metallteile) und der Abfall für den thermischen Prozess aufzubereiten (meist durch Zerkleinerung). Die Aufbereitung des Sperrmülls und Erzeugung eines qualifizierten Ersatzbrennstoffes zur industriellen Mitverbrennung stellt demgegenüber eine Vorzugsvariante dar. Aufbereitungsreste gehen zur Verbrennung.

Prinzipiell wird für diese Abfallart als Verbrennungstechnologie die Rostfeuerung genutzt. Weitere den Verbrennungsprozess und dabei entstehende Reststoffe betreffende Aspekte sind durch die Behandlungsoption 2 wiedergegeben.

Behandlungsoption 11: Sammlung von Sperrmüll und anschließende Sortierung

Ablaufschema



Beschreibung

Der Sperrmüll aus Haushalten und Gewerbe wird in den meisten Fällen getrennt im Holsystem erfasst. Unter Beachtung der Größe des Abfalls können Abrollcontainer oder Absetzmulden für die Sammlung und den Transport zur Behandlungsanlage eingesetzt werden. Weitere Sammelmöglichkeiten sind die Straßensammlung (Bereitstellung in loser Form) oder Abgabe an zentralen Sammelpunkten. Von besonderer Bedeutung sind dabei Wertstoffhöfe.

Für die Straßensammlung können Hecklader eingesetzt werden. Ansonsten kommen prinzipiell verschiedene Fahrzeuge mit Aufbauten und Ausstattungen zur Beförderung der jeweiligen Containertypen, u.a. auch Fahrzeuge mit Wechselcontainern oder Sattelauflieger mit Schubboden in Betracht.

Durch die Behandlung in einer Sortieranlage werden verschiedene Materialien zum Recycling oder zur Wiederverwendung, wie Holz, Metalle, Glas und verschiedene Kunststoffe aus dem Sperrmüll abgetrennt und zurückgewonnen.

Die Sortierverfahren bestehen aus mechanischen Trennprozessen, welche auch manuelle Trennschritte beinhalten können. Unterstützt wird die Sortierung durch Zerkleinerung des Abfalls zu Beginn des Verfahrens. Metalle, Kunststoffe und Holz können als Recyclingmaterial eingesetzt werden (z.B. Holz für die Produktion von Spanplatten). Die beiden letztgenannten Materialien sind auch als Brennstoff zur Energieerzeugung bzw. in der industriellen Mitverbrennung verwertbar.

Für nicht verwertbare Reststoffe erfolgt die Weiterbehandlung entsprechend der Behandlungsoption 2.

Behandlungsoption 12: Mechanisch-biologische Behandlung von getrennt gesammeltem Sperrmüll

Ablaufschema

Beschreibung

Der Sperrmüll aus Haushalten und Gewerbe wird in den meisten Fällen getrennt im Holsystem erfasst. Unter Beachtung der Größe des Abfalls können Abrollcontainer oder Absetzmulden für die Sammlung und den Transport zur Behandlungsanlage eingesetzt werden. Weitere Sammelmöglichkeiten sind die Straßensammlung (Bereitstellung in loser Form) oder Abgabe an zentralen Sammelpunkten. Von besonderer Bedeutung sind dabei Wertstoffhöfe.

Für die Straßensammlung können Hecklader eingesetzt werden. Ansonsten kommen prinzipiell verschiedene Fahrzeuge mit Aufbauten und Ausstattungen zur Beförderung der jeweiligen Containertypen, u.a. auch Fahrzeuge mit Wechselcontainern oder Sattelauflieger mit Schubboden in Betracht.

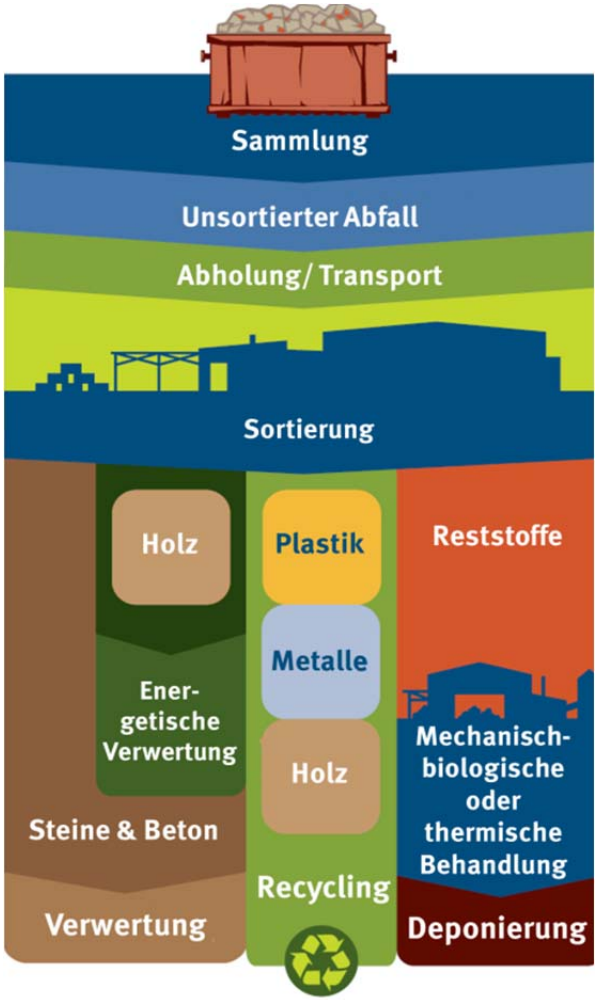
In mechanischen oder mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen lässt sich ein Sekundärbrennstoff aus dem Abfallinput erzeugen. Sperrmüll ist insbesondere für Anlagen nach dem Verfahren der mechanisch-biologischen Stabilisierung geeignet.

Der wesentliche Teil der Behandlung ist der mechanische Prozess. In dieser Prozessstufe wird der Abfall zerkleinert. Nicht zerkleinerbare Materialien (besonders Metalle) sind aus dem Abfall zu separieren. Aus dem Materialstrom wird eine hochkalorische Fraktion als Sekundärbrennstoff ausgeschleust. Diese Fraktion kann zur Erzeugung eines Sekundärbrennstoffgemisches anderer Güte mit den im Prozess der biologischen Stabilisierung getrockneten Anteilen niedrigeren Heizwerts auch noch verschnitten werden. Sekundärbrennstoff wird als Ersatz für konventionelle Brennstoffe in der industriellen Mitverbrennung (z.B. in Zementwerken und Kohlekraftwerken) oder in speziellen Energieerzeugungsanlagen eingesetzt. Die Sekundärbrennstoffe werden dafür je nach technischer Anforderung eventuell kompaktiert.

Gewinnbare Wertstoffe (Metall) sind der Recyclingindustrie zuführbar, stabilisiertes Material und ungefährliche Reststoffe der Verbrennung können auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle abgelagert werden.

Behandlungsoption 13: Erfassung gemischter Bau- und Abbruchabfälle mit anschließender Sortierung

Ablaufschema



Beschreibung

Bau- und Abbruchabfälle sind sperrig und schwer und fallen gewöhnlich unabhängig von anderen Abfallströmen an. Der Abfall besteht zu großen Anteilen aus mineralischen Materialien, hinzukommen Holz, Kunststoffe und in zunehmendem Maße Verbundwerkstoffe. Oft sind die Möglichkeiten am Anfallort eine Trennung der Materialien herbeizuführen sehr beschränkt, so dass eine gemischte Erfassung des Abfalls mit anschließender Behandlung erforderlich wird.

Abhängig von den erzeugten Mengen und den räumlichen Gegebenheiten auf der Baustelle werden generell Container mit großem Volumen, z.B. Absetzmulden und Abrollcontainer oder Big Bags zur Erfassung genutzt. Die Abholung und der Transport erfolgt durch Fahrzeuge mit Aufbauten und Ausstattungen zur Beförderung der jeweiligen Containertypen oder geeigneten Pritschenwagen. Fahrzeuge mit Wechselcontainer und Sattelauflieger mit Schubboden können ebenfalls eingesetzt werden.

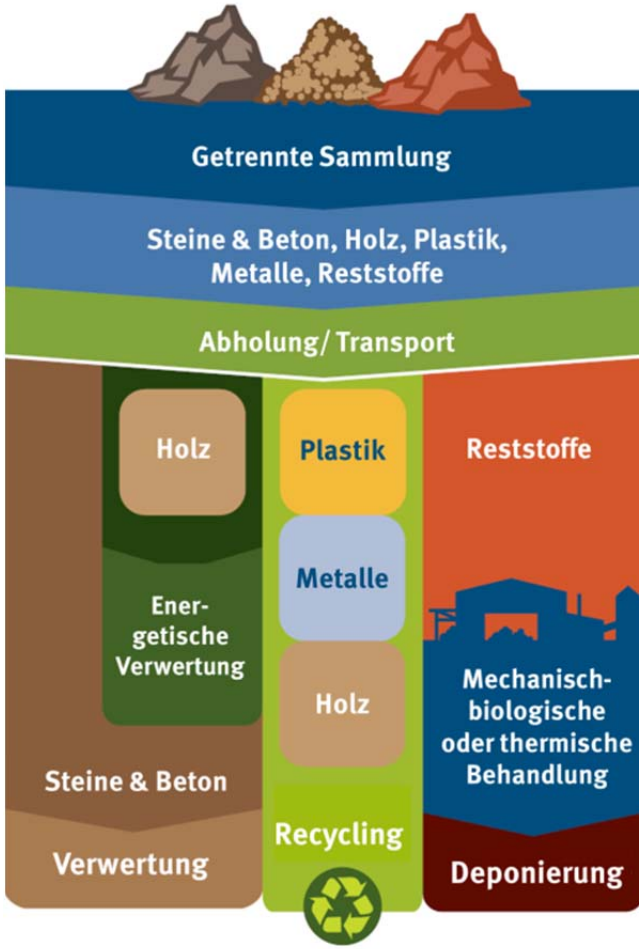
Auf vorwiegend mechanischem Weg erfolgt an mobil, semimobil oder stationär betriebenen Aufbereitungsanlagen in Aggregaten verschiedener Auslegung eine Zerkleinerung, Korngrößentrennung und Klassierung des gemischten Inputstroms.

Idealerweise können Metalle weitgehend zurückgewonnen, brennbares Material abgeschieden und Mineralstofffraktionen unterschiedlicher Güte erzeugt werden. Die Mineralstoffe lassen sich baulichen Weiterverwertungen zuführen, für brennbare Materialgemische bietet sich die industrielle Mitverbrennung oder Aufgabe in die Rostfeuerung an.

Nicht verwertbares Material kann auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle abgelagert bzw. dort für Deponiebaumaßnahmen eingesetzt werden, mineralische Massen könne auf Inertstoffdeponien abgelagert werden.

Behandlungsoption 14: Erfassung von vorseparierten Bau- und Abbruchabfällen

Ablaufschema



Beschreibung

Bau- und Abbruchabfälle sind sperrig und schwer und fallen gewöhnlich unabhängig von anderen Abfallströmen an. Der Abfall besteht zu großen Anteilen aus mineralischen Materialien, hinzukommen Holz, Kunststoffe und in zunehmendem Maße Verbundwerkstoffe. Die aus Bau- und Abbruchabfällen gewinnbare Menge und Qualität an Sekundärmaterialien und deren hochwertige Nutzung kann mittels einer getrennten Erfassung der unterschiedlichen Bauabfallbestandteile oder Materialarten am Entstehungsort stark befördert werden.

Ein gutes Baustellenmanagement und eine selektive Demontage sind dafür notwendige Grundvoraussetzungen. Container mit großen Kapazitäten, z.B. Absetzmulden und Abrollcontainer oder Big Bags sind generell gut für die getrennte Erfassung nutzbar. Als getrennt erfassbare Fraktionen sind unbehandeltes Holz, behandeltes Holz (z.B. gestrichen, lackiert, imprägniert), Metallteile, Kunststoffe, sonstige brennbare Komponenten und verschiedene (z.B. Ziegel, Beton, Keramik) sowie direkt wiederverwendbare Teile anzusehen.

Von großer Bedeutung ist die Trennung von kontaminierten Materialien (z.B. Materialien mit PAK-Konzentrationen) vom sonstigen Abfall. Beim Rückbau von Industrieobjekten muss zudem auf verschiedene schadstoffhaltige Reststoffe (z.B. Schmierstoffe, Kraftstoffe, Kühlmittel) geachtet und deren getrennte Erfassung sichergestellt werden.

Die Abholung und der Transport der einzelnen Abfallfraktionen erfolgt durch Fahrzeuge mit Aufbauten und Ausstattungen zur Beförderung der jeweiligen Containertypen oder geeigneten Pritschenwagen. Fahrzeuge mit Wechselcontainer und Sattelauflieger mit Schubboden können ebenfalls eingesetzt werden.

Der direkten Weiternutzung der gewonnenen Materialien nach Aufbereitung vor Ort oder Zuführung zum Recycling ist der Vorzug zu geben. Aufbereitung und Umgang mit den dabei entstehenden Fraktionen sind der Behandlungsoption 13 gleich.

Die lokalspezifische Anwendung verschiedener Abfallbehandlungsmöglichkeiten

Szenarien zum Umgang mit Siedlungsabfällen in typischen Gebietsstrukturen

Die nachfolgend dargestellten Szenarien sollen Planern und Entscheidungsträgern Beispiele möglicher Behandlungskonzepte für die wesentlichen kommunalen Abfallströme vermitteln und dabei den Einfluss der lokalen Gegebenheiten auf die Wahl der Verfahrensansätze und in Frage kommenden Techniken verdeutlichen. Verschiedene Behandlungsmöglichkeiten für die im kommunalen Zuständigkeitsbereich anfallenden Hauptabfallarten wurden dabei so miteinander verknüpft, dass im Ergebnis ein integriertes Behandlungskonzept für die Gesamtheit aller Abfälle unter Beachtung der lokalen Besonderheiten und Erfordernisse innerhalb einer bestimmten Gebietsstruktur zustande kommt.

Das Ergebnis ist als eine Art Orientierungshilfe für die an der Abfallwirtschaftsplanung und -umsetzung Beteiligten zu verstehen. Es soll ihnen ermöglichen zu erkennen, wie sich im Hinblick auf die bestehenden Abfallwirtschaftsziele und Vorgaben des nationalen Rechtes Planungen entwickeln lassen, die letztlich zu Strukturen und technischen Lösungen führen, um die erzeugten Abfälle möglichst effektiv, preisgünstig und auf umweltgerechte Art und Weise behandeln und verwerten zu können.

Ausgangspunkt für die Szenarien bilden vier typische, weil in dieser oder ähnlichen Ausprägung häufiger vorkommende Gebietsstrukturen. Als integrierte Behandlungskonzeptionen für die in diesen Gebieten anfallenden Abfälle werden vorgestellt:

- **Szenario A** für einen quasi städtischen Gebietstyp welcher geprägt ist durch ein gehäuftes Vorhandensein von Städten mittlerer Größe bzw. stadtähnlicher Siedlungsgebiete die durch überschaubare Flächen mit gärtnerischer und landwirtschaftlicher Nutzung voneinander getrennt oder mit solchen Flächen teils durchsetzt sind.
- **Szenario B** für einen innenstadtähnlichen Gebietstyp welcher sich durch die für Großstädte kennzeichnenden geschlossenen Bebauungsstrukturen und Siedlungsgebiete mit hoher Bevölkerungsdichte und einem hohem Anteil an industriell und gewerblich genutzten Einrichtungen und Flächen auszeichnet.
- **Szenario C** für einen quasi städtischen bis ländlichen Gebietstyp mit verstreut vorkommenden mittleren und kleinen Städten und dörflichen Ansiedlungen innerhalb eines von landwirtschaftlichen Aktivitäten dominierten Raumes,
- **Szenario D** für einen eher abgelegenen ländlichen Gebietstyp welcher durch vereinzelte dörfliche Ansiedlungen und Einzelanwesen gekennzeichnet ist wobei gelegentlich auch Schwerpunkte touristischer Aktivitäten und Infrastruktureinrichtungen eingestreut sein können.

Die Beschreibung der abfallwirtschaftlichen Prozesskette innerhalb eines jeden Szenarios geht gezielt auf bestimmte gebietstypische Besonderheiten ein, die als Ursachen für die Anwendung eines bestimmten Verfahrensansatzes zur Abfallbehandlung bzw. dabei zum Einsatz kommende Ausrüstungstechnik anzusehen sind.

Bei der Ausfertigung der Szenarien und Beschreibungen wurde davon ausgegangen, dass bestimmte, für ein integriertes Abfallmanagement wesentliche strukturelle Elemente und Maßnahmen bereits realisiert sind. Dazu gehören unter anderem das Vorhandensein von Firmen, die an der Verwertung von Sekundärmaterialien, speziell aus dem Verpackungssektor (Verpackungsrecycling), interessiert und hierzu auch befähigt sind, die Verfügbarkeit von Sammelstellen formeller oder informeller Natur für Wertstoffe aus dem Abfallbereich und punktuelle Erfahrungen/Pilotansätze zur getrennten Abfallbereitstellung und -erfassung. Bei der Entwicklung und Realisierung von Abfallwirtschaftskonzepten sollte auf solche bereits vorhandenen Potenziale zurückgegriffen werden und nach Möglichkeit deren Nutzung als Start oder Anknüpfungspunkte für eine breitere Umsetzung erfolgen.

Der Rückblick auf erfolgreiche Abfallwirtschaftsmodelle in der gesamten Welt beweist, dass ausgeprägte Kenntnisse und die Berücksichtigung der örtlichen Situation und Potenziale wesentliche Erfolgsfaktoren und Eingangspforten für den Aufbau eines nachhaltigen Abfallmanagements in einem bestimmten Gebiet darstellen.

Nachfolgend werden Musterbeispiele möglicher Abfallbehandlungsszenarien tabellarisch präsentiert.

Szenario A	**Quasi städtischer Gebietstyp** **Gehäuftes Vorhandensein mittelgroßer Städte und stadtähnlicher Siedlungsgebiete mit partiell gärtnerisch/landwirtschaftlich genutzten Flächen**			
Haushaltsabfälle	**Bioabfälle**	**Verpackungsabfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
MÖGLICHE BEHANDLUNGSKONZEPTION (Optionswahl)				
1	**6 und 7**	**5 oder 8**	**11 oder 12**	**14**
SAMMLUNG – Szenario A				
mobile Abfallsammelbehälter (MGB) Abfallsack	mobile Abfallsammelbehälter (MGB)	Abfallsack MGB Depotcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer Big Bag
Erläuterungen: - Die erhebliche Menge anfallender, biologisch abbaubarer Abfälle, ein potenziell vorhandener Markt für Kompost und die noch gute Erreichbarkeit eines Großteils der Abfallerzeuger bilden eine geeignete Ausgangslage, um biologische Abfälle in diesem Gebietstyp getrennt zu erfassen und zu behandeln. Wie auch für den sonstigen Haushaltsabfall eignen sich für die Sammlung vorzugsweise mobile Abfallbehälter in entsprechender Größe. Säcke/Beutel als Alternative können vor allem bei unzureichender Reißfestigkeit in den weniger häufig abgefahrenen Gebieten problematisch sein. Hier bestehen insbesondere bei bereits zur Abholung bereitgestellten Säcken die Gefahr der Zerstörung und dadurch hygienische wie auch ästhetische Probleme. - Die Trennung biologischer Abfälle von anderen Haushaltsabfällen beim Abfallerzeuger kann dadurch spezielle Gebührenregelungen stimuliert werden. Dazu sollten Haushalte für die Bioabfallentsorgung eine verringerte Gebühr zahlen müssen oder diese Kosten werden der Restabfallgebühr zugeschlagen. - Ein Teil der Haushalte kann von der *Eigenkompostierung* Gebrauch machen, um ihre biologischen Abfälle zu verringern und dadurch Gebühren zu sparen. Mit zunehmend ländlich geprägten Strukturen wachsen die Möglichkeiten zur Eigenkompostierung und Nutzung von Küchenabfällen als Tierfutter, so dass eine getrennte Erfassung von biologischen Abfällen hier verzichtbar wird.		***Erläuterungen:*** - Papier/Pappe sowie Altglas wird in zentral aufgestellten Depotcontainern getrennt erfasst. Als Alternative könnten Wertstoffhöfe oder Rücknahmestellen für diese Stoffe eingerichtet bzw. genutzt werden, die auch andere Wertstoffe entgegen nehmen und bis zum Erhalt transportfähiger Mengen lagern. - Leichtverpackungen sollten bei hohen Anfallmengen ebenfalls über separate Sammelbehältnisse erfasst werden. - Geringere Anfallmengen an Verpackungsabfällen und längere Transportdistanzen zu einzelnen Verwertungsmöglichkeiten können es nahe legen, diese und andere Wertstoffe ggf. auch gemeinsam gemischt zu erfassen. Prinzipiell sind hierfür Säcke und Beutel die von den Haushalten am Tag der Abholung am Straßenrand bereitgestellt werden, geeignet. In Gebieten mit höherer Bevölkerungskonzentration und Bebauungsdichte sowie guter Zugänglichkeit können auch mobile Abfallsammelbehälter oder sogar Depotcontainer zum Einsatz gebracht werden. - Sperrige sowie Bau- und Abbruchabfälle kommen in Abroll- oder Absetzcontainern die auf Abruf bereitgestellt und wieder abgeholt werden, zur getrennten Erfassung.		
ABHOLUNG UND TRANSPORT – Szenario A				
Haushaltsabfälle	**Bioabfälle**	**Verpackungsabfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
Hecklader Seitenlader		Hecklader Seitenlader	Hecklader*) Abrollcontainer Absetzcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer

Erläuterungen: - Enge Straßenzüge in Teilen der städtischen Bebauung bilden einen der Gründe, weshalb Heckladerfahrzeuge für die Abholung der Abfälle die beste Variante darstellen. *Seitenladerfahrzeuge* sind hingegen aufgrund des geringeren Personalbedarfes als eine empfehlenswerte Option für die Sammlung in den besser ausgebauten Stadteilen und im Umfeld liegenden Straßensiedlungen anzusehen; - Die Menge der zur Sammlung kommenden Abfälle in diesem Gebietstyp legt nahe, dass geeignete Behandlungsanlagen vor Ort wirtschaftlich errichtet und betrieben werden können, was eine direkte Belieferung durch die Sammelfahrzeuge ermöglicht.	***Erläuterungen:*** - Für den Transport sperriger sowie anfallender Bau- und Abbruchabfälle sind Fahrzeuge mit den geeigneten Aufbauten in Form von Abroll- bzw. Absetzcontainern einsetzbar. *) *insofern eine lose Bereitstellung am Straßenrand erfolgt*)

BEHANDLUNG – Szenario A

Haushaltsabfälle	Bioabfälle	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Mechanisch-biologische Behandlung ggf. in Verbindung mit der Nutzung der erzeugten EBS-Fraktion zur industriellen Mitverbrennung	Kompostierung Anaerobe Vergärung	Sortierung von Leichtverpackungen	Sperrmüll-sortierung	Sortierung und teilweise Verwertung vor Ort

Erläuterungen:
- Die mechanisch-biologische Behandlung dürfte aufgrund des größeren Platzangebotes und der meist höheren Akzeptanz im Vergleich zu Müllverbrennungsanlagen relativ gut zu etablieren sein.

Erläuterungen:
- Vorhandene Erfahrungen und relativ gute Absatzmöglichkeiten für Komposte verschaffen der Kompostierung und/bzw. Verfahrensansätzen mit Vergärung eine gute Akzeptanz.
- Zur Anschlussbehandlung von Resten aus den Verfahren ist die Verfügbarkeit an Kapazitäten zur mechanisch-biologische Behandlung ein Vorteil.
- einer Vergärung als biologische Behandlungsstufe eröffnet gute Möglichkeiten verschiedene Abfallströme (darunter auch Gülle- oder Klärschlammmengen) effizient zusammenzuführen und deren Energiepotenzial gemeinsam zu nutzen

Erläuterungen:
- Erfasste Verpackungsmaterialien und Wertstoffe werden geeigneten Sortier-/Aufbereitungsanlagen angedient, in denen eine Trennung in Materialströme entsprechend der jeweils verfügbaren Absatzmärkte bzw. Verwertungsmöglichkeiten erfolgt. So Direktverwerter wie Papier- oder Glasfabriken unmittelbar vor Ort sind, kann auch die gezielte Getrenntsammlung der entsprechenden Sekundärmaterialien einschließlich Direktanlieferung lohnen.
- Sperrige Abfälle können positiv sortiert werden, d.h. es werden nur die Materialien aussortiert, die hohe Nachfrage erfahren oder direkt vor Ort verwertbar sind (z.B. Metalle, Altholz bei Spanplattenerzeugung). Das Material kann auch insgesamt der mechanisch-biologischen Behandlung angedient werden, wo Wertstoffe abgetrennt und thermisch verwertbare Fraktionen erzeugt werden können.

BESEITIGUNG/ENDABLAGERUNG – Szenario A

Behandelte und nicht verwertbare Reste der

Haushaltsabfälle	Bioabfälle	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Deponie für nicht gefährliche Abfälle Inertstoffdeponie				Inertstoffdeponie

Erläuterungen:
- Alle Reststoffe der Behandlung sind bei Einhaltung vorgegebener Kriterien deponierbar. Die reduzierte Menge abzulagernder Reste der mechanisch-biologischen Behandlung und damit geringeren Transporte erlauben es einen zentralen Standort für eine Deponie für nicht gefährliche Abfälle zu wählen die dann einem größeren Einzugsgebiet dient.
- Inertstoffdeponien dienen der Zwischenlagerung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen sowie Bodenaushub bis zu deren weiteren Aufbereitung und Verwertung.
- Schadstoffhaltige Abfälle werden in die nächstgelegene, zur Behandlung dieser Abfallart zugelassene Einrichtung verbracht.

Szenario B

Innenstadtähnlicher Gebietstyp
vielfach weitestgehend geschlossene Bebauung u. Siedlungsverbunde mit hoher Bevölkerungsdichte u. hohen Industrie u. Gewerbeanteilen

Haushaltsabfälle	Bioabfälle	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
MÖGLICHE BEHANDLUNGSKONZEPTION (Optionswahl)				
2		9	10	13
SAMMLUNG– Szenario B				
mobile Abfallsammelbehälter (MGB) Ident-System	Keine Getrenntsammlung, werden in den Behältern für Haushaltsabfälle miterfasst und bereitgestellt	Depot-container MGB	Abrollcontainer Absetzcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer Big Bag

Erläuterungen:

- Aufgrund der Abfallverbrennung als Behandlungsoption und wegen der eher niedrigen Qualitätserwartungen im Hinblick auf die hierzu erforderliche Abfalltrennung, der begrenzten Platzverfügbarkeit für die Aufstellung von Sammelbehältnissen und zeitweise Lagerung in den Haushalten wird eine gemeinsame Erfassung von Bioabfall und Restabfall im vorliegenden Szenario nicht praktiziert. Die Getrenntsammlung von Bioabfällen sollte jedoch grundsätzlich auf ihre Machbarkeit hin geprüft und langfristig angestrebt werden.
- Die Abfallzusammensetzung, hygienische und ästhetische Aspekte sprechen für die bevorzugte Nutzung von mobilen Abfallsammelbehältern. In Verbindung damit kann durch Einsatz von *Identtechnik* eine verursacherbezogene Abfallgebührenregelung und die zukünftige Tourenoptimierung ermöglicht werden.
- Wegen der begrenzten Platzverfügbarkeit im Wohnumfeld werden Depotcontainer an zentraler Stelle (Einkaufszentren, Parkplätze o.ä.) und anderen leicht zugänglichen Stellen zur getrennten Erfassung von Wertstoffen wie Papier/Pappe, Glas und Verpackungsmaterialien aus Haushalten und Gewerbeeinheiten aufgestellt.
- Wertstoffhöfe und Rücknahmestellen unterstützen die Abfalltrennung am Anfallort und getrennte Sammlung von Wertstoffen zusätzlich.

Erläuterungen:

- sperriger sowie anfallender Bau- und Abbruchabfall wird systemlos getrennt gesammelt und auf Abruf abgeholt. Wegen der begrenzten Platzverfügbarkeit bilden Bigbags eine geeignete Erfassungslösung. Wo kein Platzmangel besteht, können auch Abroll- oder Absetzcontainer zum Einsatz kommen. Rückbautechniken sind insbesondere bei Sanierungs- und Rekonstruktionsarbeiten anwendbar während es bei größeren Vorhaben hierfür an Platz fehlen könnte. Die zu erwartende Gesamtmenge an Bau- und Abbruchabfällen in diesem Gebietstyp legt die Errichtung größerer, stationärer Sortiereinrichtungen nahe, wo verschiedene Materialfraktionen auch nachträglich abgetrennt und wiedergewonnen werden können.

ABHOLUNG UND TRANSPORT – Szenario B

Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Hecklader Seitenlader Frontlader	Hecklader*) Abrollcontainer Absetzcontainer		Abrollcontainer Absetzcontainer

Erläuterungen:

- Das Verkehrsaufkommen in städtischen Gebieten führt insbesondere tagsüber zu starken Einschränkungen bei der Fahrzeugbeweglichkeit und dem verfügbaren Platz in Straßennähe. Daraus folgt, dass Fahrzeuge mit einer hohen Flexibilität in Bezug auf ihre Einsatzmöglichkeit, wie z.B. Heckladerfahrzeuge für die Abholung der Abfälle genutzt werden müssen. In den weniger verdichteten Strukturen, bei linearen Bebauungen und in großen Gewerbegebieten sind auch Seitenladerfahrzeuge, und speziell in letzteren Gebieten auch Frontladerfahrzeuge einsetzbar.
- Alle vorgenannten Sammelfahrzeuge können zum Transport der Abfälle zu den Behandlungsanlagen genutzt werden, da hier von relativ kurzen Entfernungen ausgegangen werden kann.
- sperriger sowie anfallender Bau- und Abbruchabfall und die in den Depotcontainern und von Wertstoffhöfen gesammelten Wertstoffe werden von Fahrzeugen mit geeignetem Aufbau in Form von Abroll- bzw. Absetzcontainern transportiert.

**) insofern eine lose Bereitstellung am Straßenrand erfolgt)*

BEHANDLUNG – Szenario B

Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	**Verpackungs-abfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
Rostfeuerung „Wirbelschichtverbrennung" *Alternativ:* Mechanisch-biologische Behandlung ggf. in Verbindung mit der Nutzung der erzeugten EBS-Fraktion zur Industriellen Mitverbrennung	Altpapier-sortierung Altglas-sortierung Sortierung von Leichtver-packungen	Sperrmüll-sortierung Rostfeuerung	Sortierung oder direkter Wiedereinsatz

Erläuterungen:

- Aufgrund der hohen Sammelmengen und Zusammensetzung der Abfälle ist die Errichtung einer Abfallverbrennungsanlage eine wirtschaftliche effiziente Lösung. Der gemischte Haushaltsabfall und viele Reststoffe aus Behandlungsprozessen für andere Abfallarten ergeben einen gut brennbaren Input für den Betrieb einer *Rostfeuerungsanlage*. Die Wirbelschichtverbrennung ist eine geeignete Option speziell für Abfälle der Industrie und des Gewerbes, für Klärschlamm aber auch entsprechend für vorbehandelte Haushaltsabfälle. Die erzeugte Energie und der Dampf können in Versorgungsnetze eingespeist werden.
- Wo spezielle Umstände Beachtung finden müssen (z.B. unüberbrückbarer Widerstand gegen die Abfallverbrennung) kann auch auf eine mechanisch-biologische Abfallbehandlung mit dem Ziel der Stabilisierung ausgewichen werden. Diese rückt insbesondere auch ins Blickfeld, wenn geeignete Kapazitäten zur industriellen Mitverbrennung (z.B. Zement-/Papierwerk) im näheren Umfeld existieren.

Erläuterungen:

- Die Getrenntsammlung verschiedener, recycelbarer Abfallstoffe bildet in Verbindung mit weiteren entsprechenden Aufbereitungsschritten ein ausgezeichnetes Potenzial für eine Recyclingindustrie in diesem Gebiet. Die zugleich hohe Konsumption an Gütern und Gewerbeintensität verspricht einen guten Absatz der Recyclingprodukte. Für die dabei anfallenden Reststoffe steht die Abfallverbrennung zur Verfügung.
- Aufbereitungsanlagen und zusätzliche mobile Technik ermöglichen hohe Recyclingraten auch im Bereich sperrige sowie Bau- und Abbruchabfälle. Nicht direkt wiedereinsetzbare Fraktionen gehen zur weiteren Aufbereitung, brennbare, nicht recycelbare Stoffe in die Abfallverbrennung.

BESEITIGUNG/ENDABLAGERUNG – Szenario B

Behandelte und nicht verwertbare Reste der			
Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Deponie für nicht gefährliche Abfälle Deponie für gefährliche Abfälle			Inertstoffdeponie

Erläuterungen:

- Trotz der erheblichen Verringerung der ursprünglich erzeugten Abfallmengen durch Recyclingmaßnahmen und nachgeordnete Behandlungsprozesse einschließlich der Verbrennung wird im genannten Gebietstyp die Errichtung bzw. der Betrieb einer Deponie für nicht gefährliche Abfälle notwendig. Bei der Standortwahl sind Gebiete am äußeren Stadtrand oder etwas weiter außerhalb zu untersuchen, da sich hierdurch auch die Möglichkeit bietet, diese als Entsorgungsanlage für das Umland (d.h. Gebietstypen mit quasi-städtischer Struktur) mit zur Verfügung zu stellen.
- In Ergänzung zu dieser Deponieart werden auch Ablagerungskapazitäten für anfallende Inertstoffe und schadstoffbelastete Abfallmengen in diesem Gebietstyp benötigt. Damit kann ebenfalls sichergestellt werden, dass für die in der Abfallverbrennung entstehenden Schlacken, Aschen und Filterstäube eine umweltgerechte Entsorgungslösung besteht ohne dass größere Transportwege in Anspruch genommen werden müssen.

Szenario C	quasi städtischer bis ländlicher Gebietstyp Verstreutes Vorkommen mittlerer und kleinerer Städte und dörflicher Ansiedlungen innerhalb eines landwirtschaftlich dominierten Raumes			
Haushaltsabfälle	**Bioabfälle**	**Verpackungs-abfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
MÖGLICHE BEHANDLUNGSKONZEPTION (Optionswahl)				
3		8	11 oder 12	14
SAMMLUNG – Szenario C				
mobile Abfallsammelbehälter (MGB)	Keine Getrenntsammlung, werden in den Behältern für Haushaltsabfälle miterfasst und bereitgestellt	Abfallsack MGB Depotcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer Big Bag

Erläuterungen:

- Angesichts der zu erwartenden Möglichkeit, dass viele Haushalte ihre organischen Abfälle selbst kompostieren können und vor dem Hintergrund eines hohen logistischen und finanziellen Aufwandes (getrennte Behälterbereitstellung, getrennte Abholung) findet im vorliegenden Szenario eine gemeinsame Sammlung der Fraktionen Bioabfall und Restabfall statt. Die Getrenntsammlung von Bioabfällen in bestimmten Bereichen sollte jedoch auf ihre Machbarkeit hin geprüft und langfristig angestrebt werden. Eine mechanisch-biologische Behandlung vor der Deponierung eignet sich hier als Lösung für gemischten Haushaltsabfall mit hohem Organikanteil.
- Wegen des hohen spezifischen Gewichtes des gemischten Haushaltsabfalls im Ergebnis seines hohen Organikanteils ist es nicht zu empfehlen, eine Sammlung dieses Abfalls mittels Plastiksack durchzuführen. Soweit keine kurzen Abholintervalle sichergestellt werden können ist die Gefahr der Zerstörung und hygienischer Probleme durch Überfüllung und Tiere zu groß. Auch das häufigere Auftreten von Feststoffeuerungen in den Haushalten und damit der Anfall heißer Aschen spricht gegen diese Variante und für die Nutzung feuerfester mobiler Abfallsammelbehälter (MGB).

Erläuterungen:

- Papier/Pappe sowie Altglas wird in zentral aufgestellten Depotcontainern getrennt erfasst. Als Alternative könnten Wertstoffhöfe oder Rücknahmestellen für diese Stoffe eingerichtet bzw. genutzt werden, die auch andere Wertstoffe entgegen nehmen und bis zum Erhalt transportfähiger Mengen lagern.
- Die im allgemeinen geringere Anfallmenge an Verpackungsabfällen und längeren Transportdistanzen zu einzelnen Verwertungsmöglichkeiten legen es nahe, Leichtverpackungsmaterialien und andere Wertstoffe ansonsten gemeinsam gemischt zu erfassen. Prinzipiell sind hierfür Säcke und Beutel die von den Haushalten am Tag der Abholung am Straßenrand bereitgestellt werden, geeignet. In Gebieten mit höherer Bevölkerungskonzentration und Bebauungsdichte sowie guter Zugänglichkeit können auch mobile Abfallsammelbehälter oder sogar Depotcontainer zum Einsatz gebracht werden.
- Sperrige sowie Bau- und Abbruchabfälle kommen in Abroll- oder Absetzcontainern die auf Abruf bereitgestellt und wieder abgeholt werden, zur getrennten Erfassung.

ABHOLUNG UND TRANSPORT – Szenario C			
Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	**Verpackungs-abfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
Hecklader Seitenlader Umladestation	Hecklader Abrollcontainer Absetz-container Wechsel-container	Hecklader*) Abrollcontainer Absetzcontainer Schubbodentrans-porter Wechselcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer Schubbodentrans-porter

Erläuterungen: - Restabfallbehandlungsanlagen sind erst bei höheren Durchsatzmengen wirtschaftlich betreibbar, weshalb sie meist zentral für ein größeres Einzugsgebiet errichtet werden. Zur effizienten Gestaltung der Anlieferungen sind *Umladestationen* sinnvoll. - Insoweit biologische Abfälle getrennt anfallen und erfasst werden ist es einfacher hierfür bspw. Kompostieranlagen in flexibler Größe und in der Nähe des Erzeugerortes zu errichten. Dann kann der biologische Abfall mit den hierfür genutzten Sammelfahrzeugen direkt in diese Anlagen gebracht werden.	***Erläuterungen:*** - sperriger sowie anfallender Bau- und Abbruchabfall und die in den Depotcontainern und von Wertstoffhöfen gesammelten Wertstoffe werden von Fahrzeugen mit geeignetem Aufbau in Form von Abroll- bzw. Absetzcontainern transportiert. Wo zur Verwertung ein Transport größerer Mengen dieser Abfälle (unter Ausschluss von mineralischen Bauabfällen) über längere Distanz notwendig wird, können Fahrzeuge mit Schubbodensystemen äußerst effektiv zum Einsatz gebracht werden. - Innerhalb des Gesamttransportkonzeptes für diesen Gebietstyp sollte auch der Schiffs- und Eisenbahntransport von Abfällen in Betracht gezogen werden. **) insofern eine lose Bereitstellung am Straßenrand erfolgt)*

BEHANDLUNG – Szenario C

Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	**Verpackungs-abfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
Mechanisch-biologische Behandlung	Altpapier-sortierung Altglas-sortierung Sortierung von Leichtver-packungen	Sperrmüll-sortierung Mechanisch-biologische Behandlung	Sortierung oder direkter Wiedereinsatz

Erläuterungen: - Eine zentrale Anlage übernimmt die Abfälle zur *mechanisch-biologischen Behandlung*. In Abhängigkeit davon, welche weiteren Verwertungs- und Entsorgungswege für das dort behandelte Material zur Verfügung stehen, kann diese Anlage als Vorbehandlung zur Deponie oder als Anlage zur Erzeugung von Ersatzbrennstoff (MBS-Anlage) ausgelegt werden. - Die Einbindung einer Vergärung als biologische Behandlungsstufe bei der mechanisch-biologischen Behandlung ist für den Fall zu bedenken, dass es Abnehmer für die aus dem Biogas erzeugte Energie gibt oder wo größere Gülle- oder Klärschlammmengen anfallen (z.B. in der Nähe von Tierfarmen oder Städten). - Zur Errichtung bzw. dem Betrieb von Anlagen der benötigten Kapazitäten ist es von Vorteil, wenn angrenzende Gebiete Kooperationen eingehen (Zweckverbände bilden). Mittels Umladestationen lassen sich auch entferntere Anlagen (zur Sortierung, Behandlung und Ablagerung verschiedener Stoffströme) nutzen insofern hier Kapazitäten auszulasten sind und die Ferntransporte (z.B. durch Nutzung von Bahn- oder Schiffen) tatsächlich wirtschaftlich gestaltet werden können.	***Erläuterungen:*** - Erfasste Verpackungsmaterialien und Wertstoffe werden geeigneten Sortier-/Aufbereitungsanlagen angedient, in denen eine Trennung in Materialströme entsprechend der jeweils verfügbaren Absatzmärkte bzw. Verwertungsmöglichkeiten erfolgt. So Direktverwerter wie Papier- oder Glasfabriken unmittelbar vor Ort sind, kann auch die gezielte Getrenntsammlung der entsprechenden Sekundärmaterialien einschließlich Direktanlieferung lohnen. - Sperrige Abfälle können positiv sortiert werden, d.h. es werden nur die Materialien aussortiert, die hohe Nachfrage erfahren oder direkt vor Ort verwertbar sind (z.B. Metalle, Altholz bei Spanplattenerzeugung). Das Material kann auch insgesamt der mechanisch-biologischen Behandlung angedient werden, wo Wertstoffe abgetrennt und thermisch verwertbare Fraktionen erzeugt werden können. - Bau- und Abbruchabfall kann zu einem Großteil auch am Anfallort getrennt werden, da aufgrund des verfügbaren Platzes kontrollierte Rückbaumaßnahmen möglich sind. Recycelbare Stoffe können dann unmittelbar vor Ort (z.B. durch Nutzung mobiler Brecher und Siebanlagen) wieder zum Einsatz gebracht werden (z.B. als rezyklierte Gesteinskörnung, zur Verfüllung), oder unmittelbar an die stoffliche bzw. energetische Verwertung abgegeben werden (z.B. Altholz).

BESEITIGUNG/ENDABLAGERUNG – Szenario C			
Behandelte und nicht verwertbare Reste der			
Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Deponie für nicht gefährliche Abfälle Inertstoffdeponie Zwischenlagerung			Inertstoffdeponie

Erläuterungen:

- Alle Reststoffe der Behandlung sind bei Einhaltung vorgegebener Kriterien deponierbar. Die reduzierte Menge abzulagernder Reste der mechanisch-biologischen Behandlung und damit geringeren Transporte erlauben es einen zentralen Standort für eine Deponie für nicht gefährliche Abfälle zu wählen die dann einem größeren Einzugsgebiet dient.
- Inertstoffdeponien dienen der Zwischenlagerung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen sowie Bodenaushub bis zu deren weiteren Aufbereitung und Verwertung vor Ort.
- Schadstoffhaltige Abfälle werden in die nächstgelegene, zur Behandlung dieser Abfallart zugelassene Einrichtung verbracht.

Szenario D	abgelegener ländlicher Gebietstyp vereinzelte dörfliche Ansiedlungen u. Einzelanwesen gelegentlich mit Schwerpunkten touristischer Aktivitäten u. Infrastruktureinrichtungen			
Haushaltsabfälle	**Bioabfälle**	**Verpackungs-abfälle**	**sperrige Abfälle**	**Bau-/ Abbruchabfälle**
MÖGLICHE BEHANDLUNGSKONZEPTION (Optionswahl)				
3 oder 4		**5 oder 8**	**12**	**14**
SAMMLUNG – Szenario D				
Abfallsack mobile Abfallsammelbehälter (MGB)		Abfallsack Depot-container	Abrollcontainer Absetzcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer Big Bag

Erläuterungen:

- Vereinzelt liegende Häuser und Siedlungen, große Entfernungen und eingeschränkte Zugangsmöglichkeiten zu einigen Gebietsteilen machen die Abfallsammlung schwierig und aufwendig. Daher muss bei der abfallwirtschaftlichen Planung folgenden Aspekten erhöhte Aufmerksamkeit zukommen a.) Förderung umweltverträglichen Konsumverhaltens, b.) gründliche Trennung von Abfällen die vor Ort verwertbar sind c.) optimiertes Entsorgungsangebot. In der Praxis kann dies z.B. bedeuten: a.) die Förderung kompostierbarer und wiederverwendbarer Produkte, b.) die Einrichtung von Kompostiermöglichkeiten und Rücknahmestellen; c.) die gemeinsame Sammlung stoffgleicher Abfälle und zwar durch möglichst zentrale Erfassung statt Sammlung von Haus zu Haus. Es besteht die Notwendigkeit beste Praktiken intensiv zu publizieren.
- ein hoher Anteil an biologischen Abfällen kann erwartet werden, jedoch bedingt der Gebietstyp hohe logistische Aufwendungen und gute Möglichkeiten zur Eigenkompostierung, so dass eine getrennte Sammlung des Bioabfalls zu prüfen ist. Beispielhaft wird im Folgenden weiter auf die Gemischtsammlung von Haushalts- und biologischen Abfälle abgestellt und dabei auch die Nutzung relativ reißfester Plastiksäcke als möglich angesehen.
- Depotcontainer an geeigneten, gut zugänglichen Stellen über die Wertstoffe bzw. Verpackungsmaterialien bspw. in verschiedenfarbigen Säcken für eine hocheffiziente Sortierung in einer modernen zentralen Anlage gemischt eingegeben werden können oder aber Rücknahmestellen mit Kapazitäten zur Zwischenlagerung sind vorstellbare Optionen. Als Ideallösung können Anlieferfahrzeuge des Gewerbes die Wertstoffe im Rücktransport übernehmen.
- An Stellen mit erhöhter Tourismusaktivität sollte die Getrenntsammlung in Abhängigkeit von den verfügbaren Verwertungsmöglichkeiten unbedingt in intensiverem Umfang durchgeführt werden (z.B. Sammlung biologischer Abfälle bei Vorhandensein einer Kompostiermöglichkeit oder Biogasanlage). Auch eine besonders hohe Anfallhäufigkeit bestimmter Abfallstoffe oder gezielte Steuerungsabsicht kann hierfür Anlass bieten.
- Grundsätzlich ist ansonsten die Vorgehensweise analog zum Scenario C zu präferieren.

ABHOLUNG UND TRANSPORT – Szenario D

Haushaltsabfälle	Bioabfälle	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau- / Abbruchabfälle
Hecklader Umladestation Schubbodentransporter Wechselcontainer		Hecklader Abrollcontainer Absetz-container Wechsel-container	Hecklader*) Abrollcontainer Absetzcontainer Schubbodentrans-porter Wechselcontainer	Abrollcontainer Absetzcontainer Wechselcontainer Schubbodentrans-porter

Erläuterungen:

- Um die geeignete Behandlung sicherzustellen ohne Gefahr zu laufen, dafür ineffektive Investitionen in eigene Anlagen zu tätigen, muss der Großteil der Abfälle über *Umladestationen* laufen, um von dort aus zur endgültigen Behandlung weiter-transportiert zu werden.
- Im Weiteren ist ein Vorgehen analog zum Scenario C zu präferieren.
- In der einfachsten Art kann traditionell verfügbare Transporttechnik (z.B. auch Pferdefuhrwerke) zur Abfuhr eingesetzt werden und die Abfallsammlung dazu über Abfallsäcke und nicht standardisierte Behältnisse erfolgen.

**) insofern eine lose Bereitstellung am Straßenrand erfolgt)*

BEHANDLUNG – Szenario D

Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Mechanisch-biologische Behandlung *oder* Rostfeuerung	Altpapier-sortierung Altglas-sortierung Sortierung von Leichtver-packungen	Sperrmüll-sortierung Mechanisch-biologische Behandlung	Sortierung oder direkter Wiedereinsatz

Erläuterungen:

- Im Grundsatz geht die Abfallbehandlung nur durch *Nutzung zentral errichteter Anlagen* zu realisieren, daraus folgt prinzipiell ein Vorgehen analog zu Scenario C.
- Ein Mitwirken bzw. Beitritt zu Zweckverbänden ist zu empfehlen.

Erläuterungen:

- Im Grundsatz analog Scenario C

- Da es Abfalltransporte unbedingt zu minimieren gilt, sind alle geeigneten und vor Ort machbaren Optionen der dezentralen Nutzung bestimmter Abfälle auszuschöpfen. Daher sollte bspw. die *Eigenkompostierung* von Haushalten durch geeignete Maßnahmen gefördert und in Tourismusgebieten, wo eine Getrenntsammlung bestimmter Abfälle lohnt, tatsächlich in kleinere Anlagen zur Aufbereitung (z.B. Verpressung) oder Nutzung von Abfällen (z.B. *Kleinanlagen zur Kompostierung oder Vergärung biologischer Abfälle*) investiert werden.

BESEITIGUNG/ENDABLAGERUNG – Szenario D

Behandelte und nicht verwertbare Reste der

Haushaltsabfälle (einschließlich biologisch abbaubarer Abfälle)	Verpackungs-abfälle	sperrige Abfälle	Bau-/ Abbruchabfälle
Inertstoffdeponie Zwischenlagerung			Inertstoffdeponie

Erläuterungen:

- Alle Reststoffe der Behandlung sind bei Einhaltung vorgegebener Kriterien deponierbar. Mit Abgabe der Abfälle an zentrale Behandlungsanlagen ist i.d.R. auch die Nutzung der von diesen gebundenen Deponiekapazitäten verbunden.
- Lediglich Inertstoffdeponien werden betrieben, um anfallenden mineralischen Bauschutt und Bodenaushub zeitweilig abzulagern und längere Transporte dieser Abfallmengen bis zu deren weiteren Aufbereitung und Verwertung vor Ort zu vermeiden.

Finanzierung der Abfallwirtschaft und Möglichkeiten der Kostendeckung

Einführung zum Themenbereich

Die Durchführung der Abfallwirtschaft ist zwangsläufig mit Kosten verbunden. Um die Umwelt zu erhalten und gesellschaftliche Daseinsvorsorge zu betreiben, bedarf es insbesondere einer nachhaltig geregelten Abfallwirtschaft womit sich aber auch die notwendigen Kosten erhöhen. Oft bedeutet dies, dass ein nicht unerheblicher Teil der Finanzmittel des Staates oder der Kommunen für abfallwirtschaftliche Dienstleistungen und die Gewährleistung eines umweltgerechten Umgangs mit dem erzeugten Abfall aufzuwenden ist. Die Finanzierung der abfallwirtschaftlichen Maßnahmen bildet damit einen wichtigen Punkt für die Nachhaltigkeit der Abfallwirtschaft und bestimmt darüber hinaus auch die ökonomische Flexibilität der Kommunen. Die Abfallwirtschaft durch Einbindung effektiver Technologien zu verbessern, bedeutet immer auch zusätzliche Kosten, für die geeignete Wege zur Finanzierung gefunden werden müssen.

Die Verantwortung zur Finanzierung der Abfallwirtschaft sollte zwischen dem Staat und den Kommunen aufgeteilt sein. Die staatliche Politik muss umweltpolitische Ziele festlegen deren Umsetzung sie auch durch die Festlegung und den Einsatz ökonomischer Mittel unterstützt. Gleichwohl sollte parallel dazu die finanzielle Organisation der Abfallwirtschaft in der Hand der Kommunen liegen.

Im kommunalen Bereich ist zwischen der Finanzierung von kommunalen Leistungen, die die Bürger in Anspruch nehmen können oder müssen und der Finanzierung von Investitionen für die Abfallwirtschaft zu unterscheiden.

Von den Bürgern benötigte und in Anspruch genommene Leistungen sind u.a. das Einsammeln, das Transportieren und das Entsorgen der verschiedenen Abfälle aus Haushaltungen und öffentlich genutzten Bereichen sowie das zur Verfügung stellen der entsprechenden Abfallbehälter. Die Bereitstellung und Inanspruchnahme dieser Leistungen sollte mit der Erhebung von Gebühren von den Bürgern verbunden werden, die in einer Abfallgebührensatzung festgeschrieben sind.

Investitionen, welche die Kommune zur ordnungsgemäßen Durchführung der Abfallwirtschaft tätigen muss, sind u.a. die Anschaffung entsprechender Abfallsammelbehälter und Abfuhrfahrzeuge, die Errichtung, Betreibung und Nachsorge von Deponien sowie die Errichtung und Betreibung von Abfallbehandlungs- und -verwertungsanlagen. Diese Investitionen müssen durch ein für die Kommune qualifiziertes Modell unter Berücksichtigung aller Vor- und Nachteile finanziert werden.

Unter dem Aspekt, dass Umweltschutz auch als eine wirtschaftspolitische Aufgabe zu verstehen ist, muss der Bereich der staatlichen Finanzierungsmöglichkeiten ebenfalls betrachtet werden. Mit Hilfe der verschiedenen umweltpolitischen Instrumente kann die Umweltpolitik des Staates an folgenden Stellen in die Beziehung zwischen gesellschaftlichen und ökologischen System eingreifen:

- es kann der Verbrauch natürlicher Ressourcen, z.B. durch Erhebung einer Rohstoffsteuer beschränkt werden.
- die Abgabe unerwünschter Reststoffe an die Natur kann, beispielsweise durch Einführung von Umweltlizenzen oder eine Deponieabgabe beschränkt werden.
- speziellen Abgaben oder steuerlichen Regelungen zur Förderung des Recyclings z.B. in der Form von Rohstoffsteuer, Entsorgungsabgaben und/oder -steuern können dazu beitragen, Materialkreisläufe zu etablieren und Abfälle direkt in den für die Produktion benötigten Ressourcenstrom zurück zu führen. Einen ersten Überblick über mögliche Finanzierungsinstrumente zeigt die Tabelle 1.

Tabelle 1: allgemeine Finanzierungsinstrumente der Abfallwirtschaft in verschiedenen Ebenen

Finanzierungsmodelle								
im kommunalen Bereich						im staatlichen Bereich		
Finanzierung öffentlicher Entsorgungsleistungen		Investitionsfinanzierung				Umweltökonomische Instrumente		
Gebührensysteme		Kreditfinanzierung	Beteiligungsfinanzierung	Betreibermodell	Sonst. Finanzierung	Öko-/ Umweltsteuern	Abgaben	Umweltlizenzen
einteilig	mehrteilig							
	Grund-/ Pauschalgebühr	Kommunalkredite	Beteiligung öffentl. Körperschaften (Zweckverbände)		Fondfinanzierung	Entsorgungssteuer	Produktabgabe	
	Leistungsgebühr		Beteiligung privater Dritter (Public-Private-Partnership PPP)		Factoring	Verpackungssteuer	Entsorgungsabgabe	
	Mietgebühr				Leasing	Rohstoffsteuer	Deponieabgabe	

Nachfolgend werden die verschiedenen Finanzierungsinstrumente erläutert und Informationen bezüglich der praktischen Anwendung gegeben.

Finanzierungsmodelle im kommunalen Bereich

Finanzierung öffentlicher Leistungen

Abfallgebühren / Gebührensysteme

Ein Grundprinzip der Abfallwirtschaft sollte die Deckung der Kosten durch die Abfallerzeuger sein („polluter pays“). Deshalb werden Gebühren für die Nutzung der Allgemeinheit angebotener Entsorgungsdienstleistungen erhoben. Im Idealfall erfolgt dabei die Erhebung von kostendeckenden Gebühren für die Leistungen im Einzelnen. Dies stellt dann eine verursachergerechte Anrechnung der Abfallentsorgung, -verwertung bzw. -beseitigung auf den Nutzer dieser Leistungen dar.

Ein wichtiges Element bildet hierbei die „Bereitwilligkeit zum Bezahlen“. Wenn die Bürger bereit sind, die vollen Kosten für die einzelne Dienstleistung zu bezahlen, ist dies ein klares Indiz dafür, dass die Dienstleistung geschätzt und als notwendig erkannt wird und aufrechterhalten werden soll. Auf dieser Basis ist es möglich, die Geldmittel zu generieren, die zur Aufrechterhaltung der Dienstleistung tatsächlich benötigt werden.

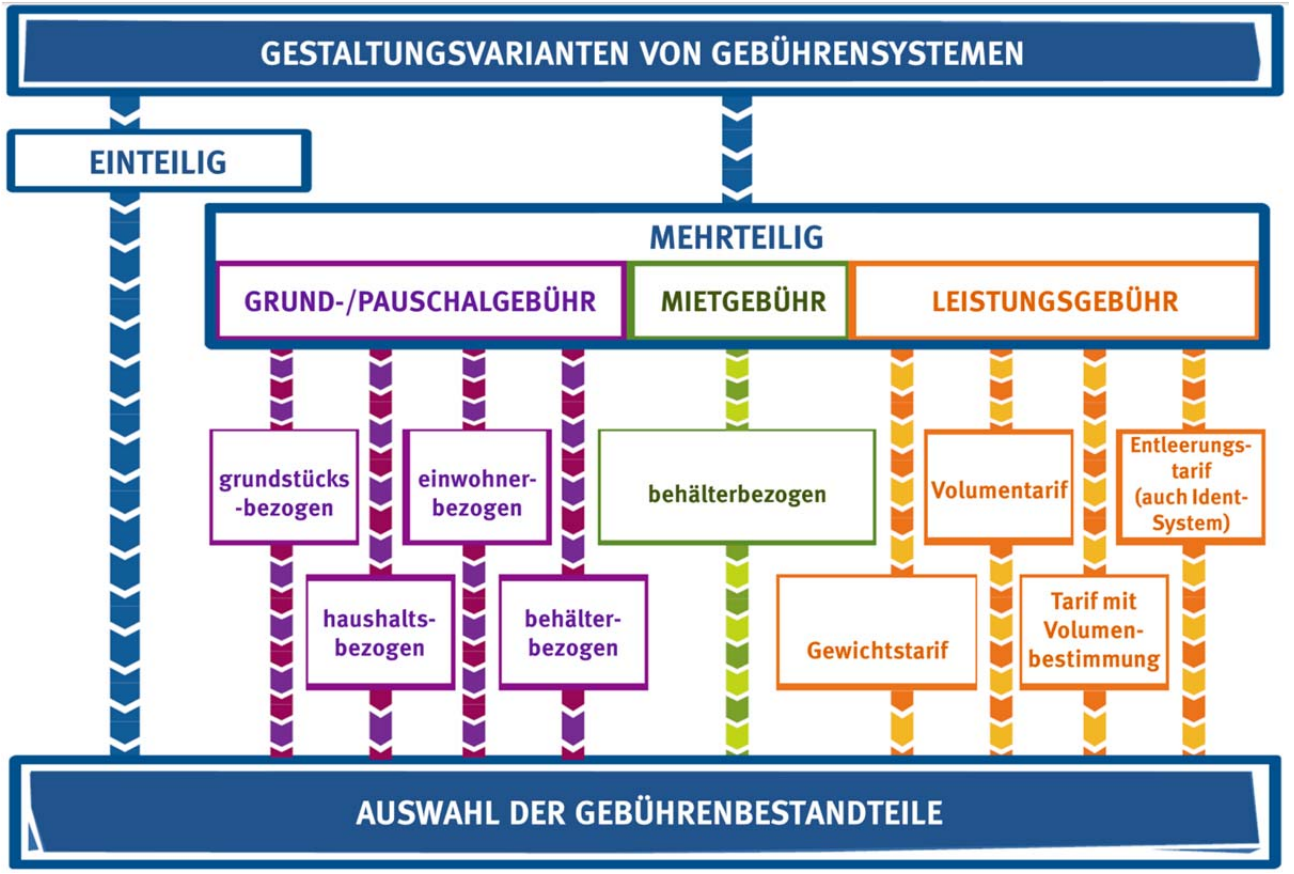
Allerdings wird das Maß, inwieweit eine Person für eine hypothetische Dienstleistung zu zahlen bereit ist auch davon bestimmt, wie viel diejenige Person zu leisten in der Lage ist. Deshalb ist die „Erschwinglichkeit der Bezahlung“ ein weiteres entscheidendes Element für die Finanzierung der abfallwirtschaftlichen Leistungen. Die Unkenntnis oder das Nichtbeachten der individuellen Zahlungsbefähigung kann dazu führen, dass die Kostendeckung für den abfallwirtschaftlichen Service nicht erreicht oder aber eine Zahlung der Leistung und damit die Entsorgung über das angebotene abfallwirtschaftliche System gänzlich oder in Teilen abgelehnt werden. Der Allgemeinheit weitgehend angepasste und verständliche Gebührenmechanismen und -modelle sind deshalb unbedingt erforderlich.

Abfallwirtschaft bedeutet ein großes Spektrum an Leistungen von unterschiedlicher Intensität und für verschiedene Materialien. Die Grenze zwischen diesen und anderen öffentlichen Leistungen kann variieren und sich überschneiden. Die Kosten der Abfallwirtschaft können im Allgemeinen den folgenden Dienstleistungen zugeordnet werden:

- Entsorgung der verschiedenen Arten des gesammelten Abfalls und verwertbaren Produkte, wobei die Entsorgung die Abfallsammlung, den Transport, die Behandlung und/ oder die Abfallbeseitigung beinhaltet,
- Durchführung spezieller Recyclingprogramme (z.B. Rücknahmesysteme, etc.),
- Leistungen zur Information und öffentlichkeitswirksamen Arbeit,
- Verwaltungsleistungen.

Die Kosten reflektieren den aktuellen oder voraussichtlichen Preis dieser Aktivitäten. Der Preis wird vom Abfallerzeuger für ein ihm zur Verfügung stehende Dienstleistung verlangt, basierend auf den Aufwendungen die die Bereitstellung und Durchführung dieser verursacht. Die minimale Bedingung dabei ist die Deckung des Anteils der unvermeidlichen oder fixen Kosten für die Sammlung und Entsorgung des Abfalls, unabhängig davon, ob die Leistung letztlich auch tatsächlich oder im vollen Umfang in Anspruch genommen wurde.

Abbildung 1: Übersicht der Bestandteile möglicher Gebührensysteme



Die *fixen Kosten* in der Abfallwirtschaft sind die Kosten, die unabhängig von der Menge des eingesammelten Abfalls und dem Umfang der Abfallentsorgung anfallen. Sie beruhen auf Kapazitäten, die für eine ordnungsgemäße Abfallentsorgung aufzubauen und vorzuhalten sind. Demgegenüber entstehen *variable Kosten* nur bei tatsächlicher Inanspruchnahme der angebotenen Leistungen.

Fixe und variable Kosten können nicht immer klar getrennt werden. Die Aufteilung der einzelnen Kosten in fixe und variable Aufwendungen wird zum Teil sehr unterschiedlich gehandhabt. Im Regelfall beträgt der Anteil der fixen Kosten zwischen 60 und 80 % und der der variablen Kosten zwischen 20 und 40 %.

Zur Sicherstellung der Kostendeckung über die Gebühreneinnahmen empfiehlt es sich daher ein Gebührensystem zu verwenden, welches sich aus einem leistungsunabhängigen, fixen, und einen leistungsabhängigen, variablen, Anteil zusammensetzt und gegebenenfalls in verschiedene Leistungsbereiche differenziert.

Daraus resultierende, mögliche Komponenten eines Müllgebührensystems sind in Abbildung 1 im Überblick dargestellt. Bei der Auswahl und Bemessung der einzelnen Komponenten muss die gleichmäßige Belastung der Bevölkerung berücksichtigt werden.

Das einteilige Gebührensystem

Das *einteilige Gebührensystem* ist das einfachste Gebührenmodell. Es besteht nur aus einer Gebührenart. Das klassische Beispiel dafür ist die Pauschalgebühr. Sie besteht aus einer fixen Gebühr, unabhängig von der tatsächlichen, individuellen Inanspruchnahme der öffentlichen Leistung. Sie deckt fixe und variable Bestandteile der Abfallwirtschaftskosten. Diese gesamten Kosten werden auf alle Nutzer (Haushalte) der abfallwirtschaftlichen Serviceleistungen aufgeteilt. Dieses Gebührenmodell garantiert eine hohe Kostendeckung sowie Kalkulationssicherheit. Es werden jedoch keine finanziellen Anreize zu abfallreduzierendem Verhalten oder zur Abfalltrennung für das Recycling gegeben.

Die tatsächlichen Kostenstrukturen der Abfallwirtschaft und gesetzte Umweltziele wie die Abfallminimierung und das Recycling legen indes nahe zwei- oder mehrteilige Gebührensysteme zu nutzen. Als Grundbestandteil wird der fixe Teil mittels einer Grund-/ Pauschalgebühr für jeden Haushalt festgesetzt. Diese Ge-

bühr ist der Höhe nach entweder einheitlich (z.B. durch Festlegung auf eine bestimmte Jahresmenge) oder uneinheitlich (bezogen auf spezifische Kriterien, wie z.B. der Grundstücksfläche oder Personenanzahl). Der variable Teil der Gebühr wird durch die Höhe der Inanspruchnahme der Entsorgungsleistungen bestimmt, beispielsweise für jede gesammelte Mülleinheit und er kann mit anderen Kostenkomponenten kombiniert werden. Mehrteilige Gebührenmodelle eignen sich am besten, um das Verursacherprinzip umzusetzen.

Die Abfallgebührenerhebung nach dem Prinzip „Bezahle für das was du einwirfst“ (oder „pay-as-you-throw“ abgekürzt PAYT) stellt die angemessenste Form einer verursacherbezogenen Bezahlung der abfallwirtschaftlichen Dienstleistungen dar. Durch dieses Prinzip wird abfallvermeidendes Verhalten und die Nutzung von Systemen zur getrennten Abfallerfassung gestärkt. Eine derartig gestaltete Abfallgebührenerhebung ermöglicht auch das Erreichen von Verursachergerechtigkeit bei der die Menschen nur ihre tatsächlich erzeugte Abfallmenge und die Kosten für die dazugehörige Behandlung bezahlen müssen. Durch die direkte Bemessung von Leistungseinheiten werden die Haushalte angehalten, Abfälle generell zu vermeiden oder zum Teil in solche Systeme umzulenken, die dem Recycling dienen und gesamtwirtschaftlich kostengünstiger sind.

PAYT setzt einen Kontrast zum bislang oft praktizierten Ansatz der Finanzierung abfallwirtschaftlicher Leistungen, bei dem die Kosten für die Abfallentsorgung über turnusmäßig feststehende Zahlungen oder Steuern beglichen werden und /oder mittels einer Pauschalgebühr, z.B. auf Basis der Grundstücksfläche, der im Haushalt lebenden Personen oder als Teilbetrag für andere Versorgungsleistungen zur Erhebung kommen. PAYT bedeutet, dass Leistungen der Abfallwirtschaft und damit der Verbrauch an Umwelt genauso zu bezahlen sind, wie beispielsweise der Verbrauch von Strom und Wasser. Um einen solchen Weg der verursachergerechten Gebührenerhebung realisieren zu können, bedarf es:

- der Bemessung des erzeugten Abfalls bzw. der dafür in Anspruch genommenen Leistung,
- einer Art von Identifikation um die entstandenen Kosten der Abfallentsorgung dem Verursacher zurechnen zu können und
- einer Bepreisung der jeweiligen Leistungseinheiten um hieraus je nach Leistungsart und – inanspruchnahme individuelle Abrechnungen erstellen zu können.

Obwohl hierfür auch der Wege eines vollständig variablen Gebührenmodells möglich erscheint, empfiehlt es sich auch zur Realisierung von PAYT mehrteilige Gebührenmodelle zu verwenden. Diese sollten in ihrem fixen Gebührenbestandteil allerdings nur die tatsächlichen Bereitstellungskosten für das abfallwirtschaftliche System und ein absolut notwendiges Minimum an Entsorgungsleistungen berücksichtigen und einen ausreichend breiten Korridor für den variablen Gebührenteil beinhalten, damit ein entsprechender Anreiz zur Abfallreduzierung erhalten bleibt. Umfassende Informationen sind bspw. unter www.payt.net sowie dem dort vorgestellten englischsprachigen Handbuch zur Umsetzung von PAYT erhältlich.

Die Bestandteile mehrteiliger Gebührenmodelle werden im Folgenden beschrieben und weitere Ausführungen bezüglich ihrer Eignung gegeben.

Grundgebühr-/ Pauschalgebühr

Die Grundgebühr umfasst, unabhängig von der tatsächlichen Inanspruchnahme der Einrichtungen für die Entsorgung, die fixen Vorhaltekosten. Diese verbrauchsunabhängigen Kosten entstehen, um den Benutzern die Leistungen der Abfallentsorgung überhaupt erst einmal bereitstellen zu können. Zu diesen gehören, neben den Aufwendungen für die Gebührenlegung und das Anfahren des Grundstücks unabhängig davon ob letztlich Abfall entsorgt werden muss, Kosten für das Bereitstellen von Fahrzeugen, die Anschaffung und Lieferung der Abfallbehälter, sowie Personal-, Instandhaltungskosten, Mieten, kalkulatorische Zinsen, Abschreibungen usw.

Sollen in die leistungsunabhängige Gebühr neben den fixen Vorhaltekosten auch die quantitativ nicht direkt zuordenbaren Leistungen, wie z.B. Entsorgung sperriger Abfälle, Schadstoffsammlungen u. ä. eingerechnet werden, ist eine Pauschalgebühr anzusetzen. Dabei werden mehrere gebührenpflichtige Leistungen zu einem Gebührentatbestand zusammengefasst und pauschal verrechnet. Die verschiedenen Bemessungsmaßstäbe der Grund-bzw. Pauschalgebühr sind in Tabelle 2 dargestellt.

Bei der behälterbezogenen Grund- / Pauschalgebühr ist zu berücksichtigen, dass eine Registrierung der Behälter erfolgen muss. Somit ist der Behälter eindeutig dem Gebührenschuldner zugeordnet. Die Daten liegen dem Entsorger oder der Kommune vor und sind verglichen mit einwohner- und grundstücksbezogenen Daten leichter zu pflegen.

Tabelle 2: Bemessungsmaßstäbe der Grund/Pauschalgebühr

Grund- / Pauschalgebühr	
Personenbezogen	***Behälterbezogen***
- Einheitsgebühr pro Kopf der Bevölkerung in Abhängigkeit von der Anzahl der Einwohner je Grundstück oder Haushalt - Gebühr steigt proportional zur Anzahl der Personen je Grundstück bzw. Haushalt	- Bemessung in Abhängigkeit vom bereitgestellten Behältervolumen
Grundstücksbezogen	***Haushaltsbezogen***
- Bemessung je Grundstück	- Bemessung je Haushalt bzw. nach der Anzahl der Haushalte je Grundstück, jedoch ohne Berücksichtigung der Haushaltsgröße

Eine Kombination des Haushalts- und Personenmaßstabes ist geeigneter, wobei die Gebühren degressiv bei steigender Personenzahl pro Haushalt gestaffelt werden können. Die Vor- und Nachteile der personen- bzw. behälterbezogenen Grundgebühr sind in Tabelle 4 dargestellt.

Modelle zur Veranlagung der Leistungsgebühr

Während mit der Grund-/Pauschalgebühr die leistungsunabhängigen bzw. nicht direkt zuordenbaren Kostenbestandteile auf den Gebührenschuldner umgelegt werden, soll der variable Teil der Gebühren an der tatsächlich in Anspruch genommenen Leistung gemessen werden. Die verschiedenen Bemessungsmaßstäbe der Leistungsgebühr sind in folgender Tabelle 3 dargestellt.

Da beim Volumentarif die Behältervolumen frei wählbar sind, stellen Fehleinschätzungen der Gebührenschuldner in Bezug auf das Anfallvolumen und die Wahl der entsprechenden Behältergröße ein Hauptproblem dar. Aus diesem Grund ist hier die Vorgabe eines Mindestabfallvolumens je Einwohner empfehlenswert.

Die feste Vorgabe des Abfuhrrhythmus (kann ggf. auch vorab vom Gebührenschuldner gewählt werden) ermöglicht eine hygienische Abfallentsorgung und ist somit insbesondere für die Entsorgung von Bioabfällen und anderen biologischen und chemischen Abfällen geeignet.

Beim Entleerungstarif bietet sich als moderne und effektive Möglichkeit die Erfassung der Anzahl der Entleerungen ein Identsystem an. Eine detailliertere Beschreibung von Identifikationssystemen erfolgt an anderer Stelle der Dokumentation (siehe Datenblatt "Behälteridentifikation").

Tabelle 3: Bemessungsmaßstäbe der Leistungsgebühr

Leistungsgebühr	
Volumentarif	***Entleerungstarif***
Bemessungsgröße ist das Behältervolumen und der Entleerungsrhythmus (z.B. wöchentlicher, 14-tägiger oder vierwöchiger fester Abfuhrrhythmus) Um Gebührensicherheit und die tatsächliche Nutzung des Sammelsystems durch die Abfallerzeuger zu erreichen, kann dieser Ansatz damit verknüpft werden, ein gebührenpflichtiges Mindestentsorgungsvolumen festzulegen	Bemessungsgrößen sind Behältervolumen und tatsächliche Anzahl der Entleerungen. Der Abfuhrrhythmus ist variabel. Um Gebührensicherheit und die tatsächliche Nutzung des Sammelsystems durch die Abfallerzeuger zu erreichen, kann dieser Ansatz damit verknüpft werden, eine gebührenpflichtige Mindestentleerungsanzahl festzulegen.
Gewichtstarif	***Volumenmesstarif***
Bemessungsgröße ist das Abfallgewicht (spez. Gewicht von Rest- und Bioabfall). Voraussetzung ist die Zuordnung der Behälter zum Nutzer durch ein Identsystem. Der Gewichtstarif kann mit einer Entleerungsgebühr kombiniert werden	Bemessungsgröße ist das aktuelle Volumen des Abfalls im Moment der Entleerung. Neben einigen Lösungen, bei denen der Inhalt des Müllbehälters vermessen wird, kommen Abfallsäcke oder Müllschleusen zum Einsatz, die die Möglichkeit der Vorauszahlung bieten. Die Zuordnung des gesammelten Mülls zum Verursacher ist Voraussetzung dieses Systems

Beim Identsystem wird der Behälter während der Entleerung mittels eines Transponders identifiziert und einem Nutzer zugeordnet. Dies ist auch die Voraussetzung für den Gewichtstarif.

Zusätzlich kann zu der veranlagten Massegebühr eine Entleerungsgebühr erhoben werden. Damit wird für den Bürger der Anreiz geschaffen, möglichst volle Behälter zur Abfuhr bereitzustellen.

In Tabelle 5 sind alle Tarife zusammenfassend mit ihren Vor- und Nachteilen dargestellt.

Die Mindestleistungsgebühr nimmt eine Sonderstellung ein und trägt den Charakter einer Grundgebühr. Sie wird unabhängig davon erhoben, ob der Gebührenschuldner die Leistung in Anspruch nimmt. Die Mindestleistungsgebühr dient der Sicherstellung einer umweltverträglichen Entsorgung, die beispielsweise durch wilde Ablagerungen oder Verschiebung der Abfallströme beeinträchtig wird. Durch die Vorgabe von Mindestvolumen oder –entleerungen, die deutlich unter der durchschnittlichen Inanspruchnahme liegen, soll die Anstrengung zur Abfallvermeidung nicht unterbunden werden.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile von verschiedenen Modellen zur Veranlagung der Grundgebühr

	Personenbezogen	Behälterbezogen	Grundstückbezogen	Haushaltsbezogen
Vorteile	• Kalkulationssicherheit • Bestimmte Kosten sind abhängig von der Anzahl der Personen im Haushalt (z.B. Sperrmüll-, Schadstoffentsorgung)	• Kalkulationssicherheit • Einfache Handhabung • Geringer Verwaltungsaufwand • Durch die Möglichkeit der Wahl der Behältergröße ist der finanzielle Anreiz zur Abfallvermeidung und –trennung gegeben	• Einfache Handhabung • Geringer Verwaltungsaufwand	• Nach der Einführung relativ geringer Verwaltungsaufwand
Nachteile	• Hoher Verwaltungsaufwand bei der Einführung und für die Datenverwaltung durch den hohen Wechsel der Haushaltsgrößen • Bei bestimmten Kosten besteht keine Beziehung zwischen der Anzahl der Personen und der Höhe der Kosten (z.B. Altpapier ist eher haushaltsbezogen)	• Kein direkter Zusammenhang zwischen dem Restabfallaufkommen und dem Aufkommen an sperrigem Abfall, Altpapier etc.	• Keine Gleichbehandlung gewährleistet insofern Pauschalbeträge unabhängig von der Grundstücksgröße erhoben werden • Grundstücksgröße ist kein geeigneter Maßstab zur Veranlagung der Kosten anderer Fraktionen z.B. Sperrmüll, Altpapier weil keine Beziehung zwischen diesen Parametern besteht	• Hoher administrativer Aufwand bei der Einführung • Kein geeigneter Maßstab zur Veranlagung der Kosten anderer Fraktionen z.B. Sperrmüll-, Schadstoffentsorgung), weil diese eher personenbezogen sind

Tabelle 5: Vor- und Nachteile der verschiedenen Tarife zur Erhebung einer Leistungsgebühr

	Volumentarif	Entleerungstarif	Gewichtstarif	Volumenmesstarif
Vorteile	• verstärkter Anreiz zur Vermeidung und Verwertung von voluminösen Abfällen • Kalkulation ist nachvollziehbar und transparent • bei freier Behälterwahl ist der Volumentarif für den Bürger akzeptabel	• verstärkter Anreiz zur Vermeidung und Verwertung von voluminösen Abfällen • für Bürger nachvollziehbar	• Stärkerer Anreiz zu Vermeidung und Verwertung von schweren Abfällen • Entspricht dem Wirklichkeitsmaßstab • Für den Bürger nachvollziehbar • Erlaubt es die Entwicklungen in Bezug auf die tatsächliche Abfallerzeugung kontinuierlich zu überwachen (z.B. sofortiges Feststellen der Wirksamkeit bestimmter abfallwirtschaftlicher Maßnahmen)	• belohnt einen hohen Einsatz zur Vermeidung und Trennung von Abfall, insbesondere sperrigen Abfall; ist besonders geeignet in Verbindung mit getrennter Sammlung von Verpackungen und Sperrmüll • keine Bezahlung für ungenutztes Behältervolumen • Bezahlung ist transparent für die Bürger (Preis pro Volumeneinheit)
Nachteile	• geringe Akzeptanz bei beschränkter Behälterwahl • Verpressung der Abfälle • Fehleinschätzung der benötigten Behältervolumen, in der Folge höheres Sperrmüllaufkommen und spezifisch höhere Abfuhrkosten durch kleinere Behälter	• Verpressung der Abfälle • Hoher administrativer Aufwand erforderlich • Wahlfreier Entleerungsrhythmus führt zu hygienischen Problemen • Anfahren aller Standplätze erforderlich, obwohl nur einige Behälter herausgestellt werden	• Hohe Investitionskosten • Höherer Aufwand für Wartung • Anreiz zu Fehlentsorgung von schweren Abfällen	• Hohe Kosten für Messeinrichtungen, deren Einstellung und Wartung • Messempfindlichkeit und Fehleranfälligkeit • Hoher Anreiz für illegale Müllablagerung und Verschmutzung mit wiederverwertbaren Fraktionen

Mietgebühr

Die Mietgebühr soll die Kosten für die Bereitstellung der Abfallbehälter decken. Abhängig von Behältergröße variiert die Höhe der Gebühr. Alternativ dazu können die Kosten auch in der Grund/Pauschalgebühr oder der Leistungsgebühr umgelegt werden.

Wird die Mietgebühr jedoch gesondert ausgewiesen trägt das zur Kalkulationssicherheit bei, denn allein bei der Bereitstellung des Behälters fallen Kosten an. Zudem führt dies zu einer Optimierung der Behältergestellung.

Abrechnungsstrategien

Die Abrechnungsstrategien bezeichnen die Kalkulationsform der Leistungen und können in die drei folgenden Varianten unterteilt werden:

- Lineare oder neutrale Abrechnung: Jeder gesammelte Abfallbehälter bzw. jede Leistungseinheit kostet den gleichen Preis für den Bürger, ungeachtet davon welche Anzahl davon bereitgestellt oder in Anspruch genommen wurde
- Degressive oder passive Abrechnung: Der zweite entleerte Abfallbehälter vom gleichen Abfallverursacher kostet weniger als der erste, der dritte weniger als der zweite usw.. Das gleiche Schema kann auch auf die Behältergröße übertragen werden, d.h. in Relation zueinander ist der Preis größerer Abfallbehälter niedriger als der für kleiner dimensionierte Behälter
- Progressive oder aktive Abrechnung: Der zweite gesammelte Abfallbehälter vom gleichen Abfallverursacher kostet mehr als der erste, der dritte mehr als der zweite usw.

Die Gründe für die verschiedenen Formen der Abrechnungsstrategien variieren in Abhängigkeit von sozialen und politischen Belangen.

Die lineare Form der Gebührenbemessung berücksichtigt keinerlei Faktoren der Müllentstehung oder die verschiedenen Leistungsbereiche und Kostenwirksamkeit der Abfallentsorgung. Jeder Bürger und jede Mehrproduktion an Abfall wird in gleicher Weise betrachtet. Diese Form ist am einfachsten einzuführen und sie macht die Abrechnung leichter. Sie erweckt den Anschein einer gleichwertigen und gerechten Behandlung aber verdeckt dabei die Tatsache der realen Kostenentwicklung bei der Abfallentsorgung und Abrechnung.

Die degressive Form der Gebührenbemessung ist für Erzeuger größerer Mengen an Abfall dem Anschein nach „günstiger“ und steht darüber hinaus im Gegensatz zur progressiven Anrechnungsvariante, bei der diese Abfallerzeuger stärker belangt werden als bei jedem der anderen Ansätze.

Bei der Betrachtung der realen Kostenstrukturen bei der Abfallentsorgung und üblichen Abrechnungsmethodiken wird allerdings deutlich, dass die degressive Abrechnungsstrategie die unterschiedliche Beanspruchung eines städtischen Abfallwirtschaftssystems am besten widerspiegelt und damit die praxisnaheste Lösung darstellt. Dies erklärt sich u.a. aus der Tatsache, dass z.B. die Anfahrtswege der Entsorgung im innerstädtischen Bebauungsbereich i.d.R. kürzer und die Entleerungseffizienz aufgrund größerer Abfallbehälter höher sind als im Vergleich zu Stadtrand- und ländlichen Gebieten. Kleinere Abfallmengen die an verstreut liegenden Punkten abgeholt werden müssen und längere Fahrtdistanzen, erhöhen hier die Kosten.

Möglichkeiten der Investitionsfinanzierung

Kreditfinanzierung

Die klassische Form der langfristigen Fremdfinanzierung kommunaler Einrichtungen ist durch sogenannte Kommunalkredite gegeben. Darunter werden öffentliche Anleihen und Darlehen verstanden, wobei öffentliche Anleihen für Fremdfinanzierungen in der Abfallwirtschaft üblicherweise keine Rolle spielen. Hier kommen sogenannte Schuldscheindarlehen vermehrt zur Anwendung. Dabei ist die betreffende öffentliche Körperschaft nicht an eine bestimmte Hausbank gebunden, sondern kann ihre Gläubigerstruktur offen gestalten.

Je nach Art der Tilgung können folgende Formen des Schuldscheindarlehens unterschieden werden:

- Festbeitragskredit: Der Kredit wird in einer Summe am Ende der Laufzeit fällig. Dadurch ist die Laufzeit des Kredites eindeutig zeitlich bestimmt.
- Ratenkredit: Die Tilgung des Ratenkredites erfolgt auf der Basis fest vereinbarter Tilgungssätze. Die Laufzeit des Kredites ist also abhängig von der Höhe der vereinbarten Tilgungsrate.
- Annuitätendarlehen: Es wird eine fest vereinbarte jährlich zu zahlende Annuität (Summe aus Zins und Tilgung) festgelegt. Während die Annuität konstant bleibt, ändert sich das Verhältnis zwischen Zins und Tilgung mit zunehmender Laufzeit zugunsten des Tilgungsanteils (sinkender Zinsanteil) ständig.

Der Vorteil des Kommunalkredites liegt in den sehr günstigen Konditionen, die aus der zumeist hohen Bonität der öffentlichen Unternehmen resultieren. Diese beruht auf dem geringen Kreditausfallrisiko kommunaler Kreditnehmer, da diese nicht konkursfähig sind. Weiterhin treten materielle Kreditsicherungsprobleme aufgrund kostendeckender Gebühren kaum auf.

Beteiligungsfinanzierung

- Beteiligung öffentlicher Körperschaften an Zweckverbänden: Die Beteiligung öffentlicher Körperschaften an Zweckverbänden ist die typische Organisationsform der interkommunalen Zusammenarbeit. Durch Vergrößerung des Entsorgungsgebietes können optimale Betriebsgrößen erreicht bzw. durch gemeinsame Wahrnehmung entsorgungswirtschaftlicher Aufgaben Rationalisierungseffekte erzielt werden. Der Zweckverband übernimmt die abfallwirtschaftlichen Aufgaben der beteiligten Körperschaften. Häufig werden nur bestimmte Einzelaufgaben, z.B. der Betrieb einer thermischen Behandlungsanlage durch den Zweckverband wahrgenommen. Der Zweckverband besitzt Finanzautonomie, d.h. zur Finanzierung seiner Aufgaben kann er Gebühren und Beiträge erheben. Reichen diese Einnahmen zur Deckung des Finanzbedarfs nicht aus, kann der Zweckverband Verbandsumlagen von den Vereinsmitgliedern erheben.
- Beteiligung Dritter: Durch die liberale Gesetzgebung sind die Gebietskörperschaften bei der Wahl einer Organisationsform für ihre Entsorgungsaufgaben frei. Die Gebietskörperschaften können für sich entscheiden (entsprechend ihrer politischen und ökonomischen Präferenzen), ob und wie sie sich privatisieren möchten oder nicht. In diesem Fall gibt es keine zentralen Spezifikationen für die sogenannte „Pflichtenübertragung auf einen Dritten“. Eine komplette Privatisierung ist nur in ausgewählten Fällen und unter erheblichen Vereinbarungen möglich. Die häufigsten Organisationsformen sind folgende:
  1. Regiebetrieb: weisen keine eigene Rechtspersönlichkeit auf und sind somit rechtlicher Bestandteil der Verwaltung der jeweiligen Gebietskörperschaft;
  2. Eigenbetrieb: haben keine eigene Rechtspersönlichkeit, aber organisatorisch selbständig; eigene haushaltwirtschaftliche Einheit mit unabhängiger Buchführung.
  3. Eigengesellschaft: private Gesellschaft in der Hand der Gebietskörperschaft mit eigener Rechtspersönlichkeit.
  4. Joint Venture: Öffentliche Einrichtung mit dem Einfluss privater Unternehmen.
  5. Management- und Service-Vertrag (Contracting): Das Objekt ist im Besitz der Gebietskörperschaft, aber der Betrieb und andere Managementaufgaben sind einem privaten Unternehmen übertragen.
  6. Betreibermodell: Delegation des Anlagenbetriebs auf ein privates Unternehmen mit der Möglichkeit, dass die Erfüllung von Aufgaben bei der Gebietskörperschaft verbleibt.
- Beteiligung privater Dritter (Public Private Partnership – PPP): Partnerschaften mit dem privaten Sektor – besser bekannt als Public Private Partnerships (PPP) – beschreiben ein weiteres neues Modell der Zusammenarbeit zwischen öffentlichen Körperschaften und der Privatwirtschaft. PPP können Ressourcen aus dem privatwirtschaftlichen Bereich in den öffentlichen Bereich zur Versorgung und Belieferung öffentlicher Anlagen und Leistungen einbringen. Der Begriff PPP wird genutzt, um die vielen Arten von Tätigkeitsabsprachen zu lockern und dadurch informelle und strategische Partnerschaften zu planen, die Leistungsverträge abzuschließen und formale Gemeinschaftsunternehmen zu bilden. Privat finanzierte Initiativen sind eine Form der PPP; sie sind im Prinzip aber auch eine Form des Contracting oder der Auftragsvergabe, die folgende Funktionen beinhalten:
  1. einen langfristigen Servicevertrag zwischen der öffentlichen Körperschaft und dem privatwirtschaftlichen Ausführenden,
  2. die Vorhaltung von Kapital und zugehörigen Leistungen durch den Ausführenden,
  3. eine einheitliche Bezahlung durch die öffentliche Körperschaft, welche den Kapitaleinsatz und die Leistungen abdeckt,
  4. die Integration des Design, der Gebäude, der Finanzierung und der Ausführung in die Vorschläge des Ausführenden,
  5. die Verlagerung des Risikos auf denjenigen Partner, der am besten in der Lage ist, mit diesem Risiko umzugehen und die Kosten zu tragen,

6. Lieferungen entgegen Leistungsstandards werden in den Leistungsbedingungen ausgeschlossen,
7. ein leistungsbezogener Zahlungsmechanismus,
8. ein „bilanzunlastiges“ Verfahren für die öffentliche Körperschaft, sodass jeder Kapitaleinsatz während des Projektes nicht gegen Fremdkapitalzusagen verstößt,
9. Unterstützung vom Staat durch Gewährung spezieller Darlehen

Eine mögliche Form der PPP ist die gemeinsame Gründung einer gemischtwirtschaftlichen Gesellschaft durch den öffentlichen Entsorgungsträger mit einem privaten Entsorgungsunternehmen bei gleichzeitiger Auftragsvergabe an diese Gesellschaft. Alternativ kann durch den öffentlichen Entsorgungsträger zunächst eine Eigengesellschaft gegründet und diese mit einem Entsorgungsvertrag ausgestattet werden. In einer zweiten Stufe werden Gesellschaftsanteile (i.d.R. bis zu 49 %) an ein privates Entsorgungsunternehmen veräußert, so dass die Aufgaben nunmehr durch die gemischtwirtschaftliche Gesellschaft erfüllt werden.

Für den öffentlichen Entsorgungsträger sind PPPs in erster Linie wegen der damit verbundenen Entlastung des Vermögenshaushalts und der Bindung privaten Kapitals, aber auch wegen des in der Privatwirtschaft vorhandenen Know-hows und der Flexibilität und Schnelligkeit privater Partner interessant.

PPPs unterliegen insbesondere dann einer speziellen Prüfung, wenn der Fall bestätigt werden muss, dass der benötigte Kapitaleinsatz das Niveau der herkömmlichen Mittel (z.B. Steuern, Gebühren) übersteigt. Der Kapitalbedarf bestimmt sich nach der Art der Leistungsausführung sowie der Qualität der Leistung. Eine PPP darf nicht als Rettung der Finanzierung angesehen werden, da damit ein Gewinn für die öffentliche Körperschaft unwahrscheinlich ist; PPPs leisten aufwändigeren Service. Die Herausforderung für die öffentliche Körperschaft ist die Entwicklung von qualitativ hochwertigen PPPs. PPPs müssen in der Lage sein, bedeutsame Leistungssteigerungen und effiziente Einsparungen zu liefern.

PPPs können nicht auf unausgereifte Ansprüche ausgerichtet sein, in dem Sinne, dass der privatwirtschaftliche Bereich sich besser organisiert sowie mehr Gewinne und mehr Service bietet als der öffentliche Bereich. Eine PPP muss in der Praxis durch realistische Projekte getestet, ausgewertet und auf den Geschäftsfall vorbereitet werden. Diese Verhältnisse lassen eine Wertsteigerung durch eine Partnerschaft wahrscheinlicher werden. Eine ordnungsgemäße Risikoabschätzung und Regeln sichern so einen Prozess.

Umfangreiche Informationen zum PPP-Ansatz und weitere Links sind auf den Seiten des PPP Infrastructure Ressource Center (PPPIRC) zu finden:

- http://ppp.worldbank.org

Betreibermodelle

Betreibermodelle sind sehr komplexe Ausgestaltung organisatorischer und finanzieller Gebilde, welche Zusammenhänge zwischen öffentlichen Körperschaften und dem privatwirtschaftlichen Bereich in finanzieller Hinsicht und der Bereitstellung von Leistungen beinhalten. In der Abfallwirtschaft lassen sich diese Modelle üblicherweise bei der Errichtung und Betreibung von Deponien und bei der Betreibung von Kläranlagen finden.

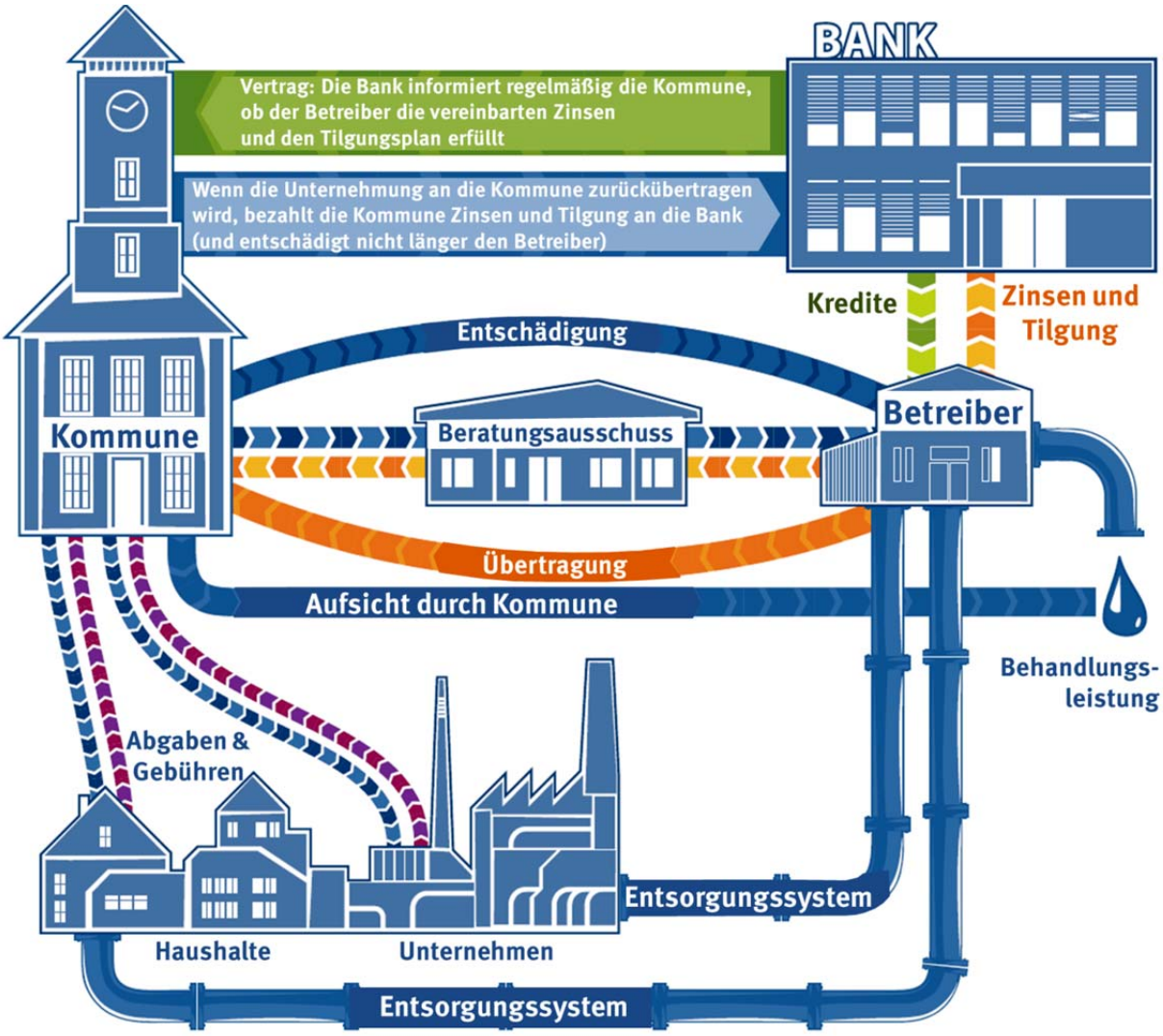
Die grundlegende Idee eines solchen Modells ist, dass das private Unternehmen die Finanzierung, die Errichtung und Betreibung der Entsorgungsanlage auf einer öffentlichen Fläche übernimmt. Dabei wird mit der verantwortlichen Abfallwirtschaftsbehörde zusammengearbeitet, welche die Abfallentsorgungsanlage entsprechend dem Bedarf erstellt, plant, baut und betreibt.

Die Auswahl des zukünftigen Betreibers wird durch eine öffentliche Ausschreibung ermittelt. Die Abfallwirtschaftsbehörde nutzt dann die Anlage um die Abfallentsorgung des jeweiligen Gebietes sicherzustellen und zahlt dem Betreiber eine Vergütung für den bereitgestellten Service. Grundlage für dieses Modell sind umfangreiche und langfristige (bis zu 30 Jahre) Vertragsbedingungen.

Nicht zu vernachlässigen ist das Risiko, dass die gesamte Anlage und alle entsprechenden Verbindlichkeiten (finanzielle als auch organisatorische) an die öffentliche Körperschaft zurückfallen in dem Fall, dass der beauftragte Betreiber der Anlage seinen Pflichten nicht nachkommt oder insolvent wird. Eine private Finanzierung in Verbindung mit der entsprechenden Sachkenntnis ist hier ein großer Vorteil.

Die Funktionsweise des Betreibermodels ist in Abbildung 2 am Beispiel des Bereiches der Abwasserbehandlung dargestellt.

Abbildung 2: Beispiel eines Betreibermodells (am Beispiel des Bereiches Abwasserbehandlung)



Sonstige Finanzierungsmodelle

Fondfinanzierung

Die Fondfinanzierung wird für sehr kapitalintensive Projekte, z.B. Errichtung von thermischen Abfallbehandlungsanlagen genutzt. Finanztechnisch handelt es sich dabei um ein Schuldscheindarlehen einer privaten Kapitalsammelstelle (Immobilienfond). Die Kapitalbeschaffung erfolgt durch die private Kapitalsammelstelle auf zwei Wegen:

1. durch den Verkauf von Anteilsscheinen, wobei damit eine Eigenkapitalbildung verbunden ist, die u.a. für b) erforderlich ist,
2. durch die Aufnahme zusätzlichen Fremdkapitals.

Das auf diese Weise finanzierte Investitionsobjekt befindet sich dann im Eigentum des Immobilienfonds. Das Investitionsobjekt wird anschließend einer kommunalen Einrichtung (z.B. Zweckverband) zur dauerhaften Nutzung zur Verfügung gestellt, üblicherweise über einen Leasingvertrag. Vorteile für die öffentliche Einrichtung sind die private Kapitalbeschaffung, die Nicht-Belastung des Vermögenshaushaltes und die Bindung privaten Know-hows. Zu bedenken ist, dass das Investitionsrisiko meist voll bei der kommunalen Einrichtung liegt.

Factoring

Unter Factoring wird der Verkauf eigener Forderungen an Dritte verstanden. Bei einem Factoring modell schließt ein privates Entsorgungsunternehmen mit einem öffentlichen Entsorgungsträger einen langfristigen Entsorgungsvertrag über das Erbringen einer definierten Entsorgungsleistung. Für die Inanspruchnahme dieser Leistungen zahlt der öffentliche Entsorgungsträger ein Entgelt an den privaten Entsorger, welches wiederum aus dem Gebührenaufkommen bestritten wird. Der private Entsorger errichtet nach Absprache mit dem öffent-

lichen Entsorgungsträger das Investitionsobjekt. Das hierfür benötigte Fremdkapital wird beschafft, indem die aus dem Leistungsvertrag resultierenden Entgeltforderungen gegen den öffentlichen Entsorgungsträger durch das private Entsorgungsunternehmen verkauft werden. Der damit erlöste Barwert ist entsprechend hoch bzw. die Finanzierung ist günstig, da die Forderungen sicher sind aufgrund der Tatsache, dass der öffentliche Entsorgungsträger nicht konkursfähig ist und hinter den Forderungen Entsorgungsgebühren stehen. Vorteilhaft ist, dass der Vermögenshaushalt nicht berührt wird. Nachteilig ist jedoch, dass der öffentliche Entsorgungsträger gegenüber privaten Betreibern und dem Kreditinstitut auf sog. Einreden verzichtet, d.h. er muss auch bei Leistungsstörungen die Entgeltzahlungen an den privaten Betreiber fortführen. Außerdem ist die vertragliche Bindung meist sehr lang, was zu Lasten der Flexibilität der öffentlichen Einrichtung, z.B. bei Bedarfsveränderungen geht.

Leasing

Unter Leasingmodellen wird das Anmieten eines bestimmten Objektes mit einer zukünftigen Kaufoption verstanden. Der Eigentumsübergang vom Leasinggeber auf den Leasingnehmer ist nicht zwangsläufiger Vertragsbestandteil, sondern lediglich eine Möglichkeit. Leasingmodelle werden gegenwärtig vor allem zur Erschließung privaten Kapitals zur langfristigen Finanzierung kommunaler Investitionen eingesetzt, das sog. Finanzierungsleasing. Bei diesem Modell errichtet eine Leasinggesellschaft ein bestimmtes Investitionsobjekt auf Fremdkapitalbasis. Die öffentliche Einrichtung nutzt dieses Investitionsobjekt auf der Basis eines Leasingvertrages mit der Leasinggesellschaft. Die Leasinggebühren werden im Bereich der öffentlichen Abfallentsorgung aus den Abfallgebühren der Anschlusspflichtigen bezahlt.

Vorteilhaft erweist sich beim Leasing, dass der Vermögenshaushalt nicht belastet wird. Demgegenüber geht jedoch das materielle Investitionsrisiko vom Leasinggeber auf den Leasingnehmer über, da das Objekt von der Leasinggesellschaft unter dem Gesichtspunkt errichtet wird, dass es während der gesamten objektüblichen Nutzungsdauer ausschließlich durch die Kommune genutzt wird und dies eine entsprechende langfristige vertragliche Bindung voraussetzt. Ändert sich der Bedarf an einer bestimmten Entsorgungsleistung, der unter Nutzung der Anlage gedeckt wird (im Extremfall ist die Nutzung der Anlage unnötig), dann ist die Kommune durch den langfristigen Leasingvertrag weiterhin zur Zahlung verpflichtet.

Umweltökonomische Instrumente im staatlichen Bereich

Die umweltökonomischen Instrumente dienen dazu, Anreize und/ oder Finanzierungsmöglichkeiten zu schaffen, um bestimmte umweltpolitische Ziele zu verwirklichen. Die Preise für die Nutzung der Ressource Umwelt werden durch politische Entscheidungen festgelegt. Sie sollen für den Produktionsfaktor Umwelt marktanaloge Prozesse simulieren, die ansonsten nicht zustande kommen. Durch derartig gestaltete Ökosteuern und –abgaben werden umweltschädliche Aktivitäten für die Verursacher verteuert. Damit werden Anreize geschaffen, umweltschonendere Techniken und Verhaltensweisen zu verwenden.

Bis jetzt gibt es keine einheitliche Verwendung der Begriffe, die die verschiedenen finanziellen Instrumente beschreiben sollen, die durch den Staat genutzt werden, um die Geldmittel zu erhöhen und Steuerungsfunktionen für umweltbezogene Handlungen auszuführen. Diese Instrumente, welche nachfolgend beschrieben werden, entsprechen der Darstellung bei Ekins und Speck (1999):

- *kostendeckende Gebühren*, mit denen zur Nutzbarmachung der Umwelt beigetragen werden soll oder die zur Kontrolle und Aufsicht der Nutzung dienen. Die Höhe einer kostendeckenden Gebühr ist vom Umfang der geplanten Leistung oder anderen Bestimmungen, welche die Höhe der Einnahmen beeinflussen, abhängig.
- *Steuern*, welche einerseits erhoben werden, um umweltzerstörendes Verhalten zu verändern und andererseits, um Einnahmen zu erhöhen. Allerdings kann der Erfolg solcher Anreize nur danach beurteilt werden, wie die Einnahmen im Verhältnis zur Verhaltensänderung stehen.
- *Einnahmenerhöhende Steuern*, welche das Verhalten beeinflussen und trotzdem reichlich Einnahmen einbringen und die Umweltfestlegungen erforderlich machen.

Diese drei Formen der Umweltabgaben schließen sich nicht gegenseitig aus: eine kostendeckende Gebühr kann anreizendere Effekte haben als eine einnahmeerhöhende Steuer, oder die Einnahmen aus einer einnahmeerhöhenden Steuer können teilweise für umweltpolitische Zwecke genutzt werden. Deshalb ist die Unterscheidung zwischen Steuern und Gebühren schwierig[1].

[1] siehe auch: Study on Environmental Taxes and Charges in the EU. Report of ECOTEC and others, April 2001

Umwelt-/ Ökosteuern

Im Gegensatz zu Umweltabgaben, welche direkt in umweltrelevante Projekte fließen, werden die Einnahmen durch diese Ökosteuern dem allgemeinen Staatshaushalt zugerechnet und nicht direkt oder automatisch dem speziellen Gebiet, wo sie erhoben werden. Sie sollen die Staatseinnahmen durch Steuern erhöhen und einen Beitrag der Bürger zum öffentlichen Haushalt leisten, damit kollektive Aufgaben finanziert werden können, die durch öffentliche Einrichtungen durchgeführt werden.

Einnahmensteigernde Steuern

- Rohstoffsteuer bzw. Ressourcenverbrauchssteuer: Die Steuer zielt auf den ökonomischen Verbrauch von bestimmten Ressourcen und beabsichtigt die Förderung der Entwicklung produktsparender Prozesse und Technologien. Ein sehr bekanntes Beispiel dafür ist die Mineralöl- oder Treibstoffsteuer.

Anreizsteuern

- Entsorgungssteuer: Die Entsorgungssteuer dient als Lenkungsinstrument, um das Potential zur Vermeidung von Abfall zu erhöhen. Es sollen Waren produziert werden, die wiederverwendungsfähig, wiederverwertungsfreundlich und abfallarm bei der Entsorgung sind. Ziel ist ein Wirtschaftssystem mit geschlossenen Rohstoffkreisläufen, das sich an jeweils minimierten Umweltbeeinträchtigungen orientiert.
- Verpackungssteuer: Die Verpackungssteuer ist eine örtliche Verbrauchssteuer, die beim Verkauf von nicht wieder verwendbaren oder nicht recyclebare Verpackungen erhoben werden kann. Die Anwendung dieser Steuer ist räumlich begrenzt und durch gesetzliche Regelungen schwierig durchzusetzen. (Zu beachten: Die Einführung dieser Steuer ist in einer Anzahl europäischer Länder gestoppt worden.)
- Steuern auf Kommunen: Ein besonderes Instrument, welches durch staatliche Behörden erhoben wird, ist die Steuer auf Kommunen für übersteigende Müllmengen. Dieses Instrument wird auf Kommunen angewandt, wenn die Gesamtsumme des gesammelten Haushaltmülls durch die Kommune die rechtsverbindlich festgelegte Menge übersteigt. Diese Steuer soll die Kommunen stärken, ihr Abfallwirtschaftssystem zu verbessern, das allgemeine Bewusstsein zur Abfallvermeidung unter der Bevölkerung zu steigern und so viel wie möglich die Abfallmenge zu beschränken. Jede Tonne Abfall, die das erlaubte Level übersteigt, wird mit einer speziellen Steuer belangt, die durch die Kommune an die Behörde, die diese Steuer eingeführt hat, zu bezahlen ist. Die Bemessungsgrundlage zur Anwendung der Besteuerung ist die Gesamtmenge des gesammelten Abfalls aus Haushalten innerhalb eines Jahres. Einige Arten des Abfalls werden nicht mit in die Erfassung der jährlichen Abfallmenge eingerechnet. Das sind wiederverwertbare Fraktionen, wie z.B. Papier oder Glas, welche in speziellen Sammlungen erfasst werden sowie jedes Material, welches noch nach der Sammlung vom Haushaltsmüll eliminiert, getrennt oder recycelt werden kann, wobei Recycling auch thermische Abfallverwertung beinhalten kann. Diese Menge ist von der erlaubten Menge ausgenommen und nicht Gegenstand der Steuer, um das Abfallrecycling zu unterstützen.

Umweltabgaben

Bei den Umweltabgaben dominiert die Anreizfunktion zur Vermeidung und Verminderung von Umweltgefährdungen. Sie besitzen damit neben der Finanzierungsfunktion eine Lenkungsfunktion. Die Einnahmen durch die Umweltabgaben werden zweckgebunden, d.h. für den Bereich, in dem sie erhoben wurden, verwendet.

Entsorgungsabgaben

Entsorgungsabgaben werden dem Verbraucher direkt mit Kauf eines Produktes oder mit Nutzung einer Dienstleistung zugeschlagen. Dadurch trägt der Verbraucher die Kosten der Verwertung dieser Produkte. Die neue EU-Gesetzgebung hat zu einer Zahl von Bestimmungen geführt, wo Gebühren für die Ausführung der Abfallwirtschaft erhoben werden sollen, z.B.

- "Grüner Punkt" für Verpackungsabfall. Durch die Zahlung einer Lizenzgebühr werden Unternehmen berechtigt den "Grünen Punkt" zu nutzen, der dem Verbraucher zeigt, dass die Sammlung und Sortierung von den Herstellern und Händlern finanziert wird (www.gruener-punkt.de).
- Rücknahmesysteme (z.B. für Elektro- und Elektronikgeräte, Altautos und Batterien) Gesetzliche Regelungen verlangen die Kalkulation der Kosten für die Rücknahme und Entsorgung dieser Materialien durch die Produzenten und Händler, die – ähnlich dem Verpackungsbereich- diese Kosten dem Produktpreis zuschlagen.

Entsorgungsabgaben können auch sektorspezifisch erhoben werden, beispielsweise im Tourismus oder bei der Schifffahrt.

- Tourismus: Die Abgabe kann von den Touristen als Teil der Übernachtungskosten oder indirekt in der Kurtaxe oder anderen lokalen Gebühren erhoben werden.
- Um illegale Abfallentsorgung auf See zu unterbinden wird von allen Schiffen beim Einlaufen in das Hafengebiet eine Entsorgungsabgabe erhoben. Damit können Schiffsabfälle im Hafen umweltfreundlich entsorgt werden.

Produktabgaben

Produktabgaben werden erhoben, um den Ver- und Gebrauch von Rohstoffen und Gütern aus energie- und rohstoffpolitischen Gründen einzuschränken. Beispiele dafür sind die Dosenabgabe (früher in Dänemark erhoben) oder der Pflichtpfand (welcher auf Einwegdosen und Einwegflaschen erhoben wird).

Abfallbehandlungsabgaben/-steuern

Diese Form der Abgabe existiert in vielen europäischen Ländern, wo sie in Verbindung mit verschiedenen Möglichkeiten der Abfallbehandlung als Deponieabgabe, Verbrennungsabgabe oder Abfallbehandlungsgebühr erhoben wird, um Abfallströme in ökologisch hochwertigere Entsorgungsanlagen zu lenken. Die am weitesten verbreiteten Varianten sind die Folgenden.

- Deponieabgabe/-steuer: Dabei handelt es sich um spezielle Abgaben oder Zuschläge für deponierte Abfälle. Sie sollen dazu führen, dass die Abfalldeponierung im Vergleich zu anderen Behandlungswegen nicht billiger, sondern im Sinne einer umweltfreundlichen Stoffstromlenkung eventuell sogar teurer ist. Damit wird ein höherer Anreiz geschaffen, mehr Abfälle zu verwerten. Darüber hinaus kann eine Deponieabgabe auch zur Anwendung gebracht werden, um Ablagerungen auf nicht umweltkonformen Deponien zu verringern. Dazu muss eine solche Abgabe in Abhängigkeit von der Abfallart und der Ausstattung der Deponie gestaffelt werden. Dieses soll den umweltpolitischen Effekt zur Folge haben, dass nicht umweltgerechte Deponien schnell nachgerüstet oder geschlossen werden. Die Abgabe sollte dazu in einen unabhängigen Fond fließen, der von einer neutralen Institution verwaltet wird. Aus diesem Fond könnten dann sowohl Deponieschließungen als auch Rekultivierungsmaßnahmen und Altlastensanierungen finanziert werden. Um eine Verbringung von Abfällen auf Billigdeponien, eventuell auch in das Ausland, abzuwenden, ist es neben rechtlichen Vorkehrungen auch notwendig, eine Harmonisierung solcher Abgaben auch länderübergreifend zu organisieren.
- Verbrennungsabgabe/-steuer: Dabei handelt es sich um spezielle Abgaben oder Zuschläge für Abfälle die einer Verbrennung zugeführt werden. Auch hier kann durch eine entsprechende Differenzierung bzw. Staffelung ebenfalls ein Lenkungseffekt in Bezug auf die Nutzung bestimmter Anlagen (z.B. von reinen Verbrennungsanlagen älteren Typs auf Anlagen mit Energierückgewinnung) erreicht werden. Darüber hinaus kann eine solche Abgabe sicherstellen, dass es bei der Abkehr von der Abfallablagerung nicht automatisch zu einem Systemwechsel hin zur ausschließlichen Abfallverbrennung kommt. Stattdessen hat diese Art der Abgabe auch das Ziel, einen Wechsel vom reinen Beseitigungsansatz für Abfälle hin zu einem stoffstromorientierten Behandlungs- und Verwertungsmodell zu unterstützen.

Umweltlizenzen und Zertifikate

Umweltlizenzen bzw. Umweltzertifikate bezeichnen das umweltpolitische Instrument, mit dem der Staat durch die Ausgabe oder den Verkauf von Umweltverschmutzungsrechten seine umweltpolitischen Ziele durchsetzen will. Ziel soll es sein, einen vorgegebenen fixierten Umweltstandard – z.B. die Höhe einer bestimmten Immissionsbelastung – mit minimalen volkswirtschaftlichen Kosten zu erreichen.

Die Umweltverschmutzer können Schadstoffe nur mit diesen Lizenzen und nur in Höhe der erworbenen Menge an Lizenzen in die Umweltmedien abgeben. Die einzelnen Umweltverschmutzer können ihre einzelwirtschaftlichen Kosten minimieren, in dem sie versuchen, ihren Schadstoffeintrag in die Umwelt zu reduzieren. Wer hingegen viel emittieren will, muss sich bei denjenigen Lizenzen kaufen, der sie nicht benötigt. Somit ist eine effizientere Nutzung knapper Umweltgüter gewährleistet, die bisher übermäßig verschwendet wurden.

Einsatzmöglichkeiten für den Handel mit Nutzungslizenzen liegen bei der Abfallwirtschaft in der Begrenzung der Menge an Einwegverpackungen, bestimmten Stoffen (z.B. Düngemittel) oder umweltschädlichen Produkten.

Vorteile der Umweltlizenzen sind die Sicherstellung der politisch fixierten maximalen Belastung der Umwelt

und die Minimierung der einzelwirtschaftlichen Kosten durch Verkauf von Umweltlizenzen und Verstärkung der Vermeidungsmaßnahmen. Demgegenüber steht jedoch ein wettbewerbspolitisches Problem, da durch die Hortung von Lizenzen Marktmonopole entstehen und Markteintrittsschranken aufgebaut werden können.

Handelbare Zertifikate für das Treibhausgas CO_2 berechtigen unter dem inzwischen in der EU eingeführten Mechanismus des Emissionshandels die Betreiber von Kraftwerks- und Industrieanlagen zum Ausstoß einer genau festgelegten Menge CO_2. Werden von einer Anlage mehr Emissionen ausgestoßen, so muss der Betreiber zusätzliche Zertifikate ankaufen. Wird jedoch der Ausstoß dieses klimaschädlichen Gases vermindert, so kann der Betreiber Zertifikate verkaufen und damit Einnahmen tätigen.

Die Durchführung des Emissionshandels wird durch extra eingerichtete Emissionshandelsstellen überwacht. Diese vergeben und löschen Emissionszertifikate und führen ein Register. Die Vergabe von Emissionszertifikaten bei Neuanlagen richtet sich nach der Nutzung der technischen Möglichkeiten zur Reduktion von Treibhausgasen. Damit soll ein Anreiz für Investitionen in moderne klimaschonende Techniken und zur Nutzung CO_2–armer Brennstoffe geschaffen werden. Die Emissionshandelsstelle in Deutschland ist im Umweltbundesamt angesiedelt.

Insbesondere können durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen aus Abfällen mit hohem biogenen Anteil bei der Energieerzeugung durch Mitverbrennung (siehe auch Datenblatt "Industrielle Mitverbrennung") CO_2-Zertifikate generiert werden. Müllverbrennungsanlagen nehmen derzeit nicht am Emissionshandel teil.

Neben dem dargestellten Emissionshandel gibt es noch zwei weitere Mechanismen:

- Joint Implementation (JI; gemeinsame Klimaschutzprojekte zwischen Industrieländern)
- Clean Development Mechanism (CDM; Maßnahmen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern).

Diese projektbezogenen Mechanismen sind im Kyoto-Protokoll festgelegte Instrumente. Diese ermöglichen den Industrie- und Schwellenländern einen Teil ihrer Verpflichtungen aus dem Kyoto-Protokoll zur Minderung ihrer Treibhausgasemissionen zu möglichst geringen Kosten auch außerhalb ihres Territoriums einzulösen. Demnach können Industrieländer mit Entwicklungsländern gemeinsame Projekte zum Klimaschutz durchführen, bei denen Emissionen im Entwicklungsland gemindert werden. Für diese Emissionsminderung erhält das Unternehmen, welches in einem Entwicklungsland in klimafreundliche Technik investiert hat, Zertifikate, mit denen es seine eigenen Emissionen abdeckt oder es kann die Zertifikate im Rahmen des Emissionshandels verkauft.

In der Abfallwirtschaft ist dieser Mechanismus insbesondere bei Deponiegasprojekten interessant, da Methan aus Deponien den größten Teil der Emissionen im Abfallbereich verursacht. Wird das auf den Deponien erfasste Methan in einem Blockheizkraftwerk zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt, so lassen sich zusätzliche Zertifikate generieren, da Strom und Wärme aus fossiler Energie ersetzt werden. Projekte bei denen in Entwicklungsländern bislang unkontrollierte Deponien in geordnete Deponien mit Gaserfassung und Energieerzeugung aus dem Deponiegas (siehe auch Datenblatt „Deponien für nicht gefährliche Abfälle") umgewandelt werden, gehören daher zu den Vorhaben, für die Finanzierungen über CDM in Frage kommen. Die Kategorie der CDM-Projekte im Bereich Abfallwirtschaft kann ebenfalls industrielle Abfallstoffe, wie z.B. Abwasser aus der Palmöl- oder Stärkeproduktion und von Viehfarmen einschließen. Hier besteht die Möglichkeit im Abwasser entstehendes Methan zu gewinnen und dieses als Biogas zur Energieerzeugung einzusetzen oder zu verbrennen und damit das Treibhauspotenzial der Emission herab zu setzen.

Das mittels CDM geschaffene Modell ist als Anreiz für industrialisierte Länder konzipiert, um in Projekte zu investieren, bei denen mit vergleichsweise wenig Geld viele klimaschädliche Emissionen verhindert werden sowie Entwicklungsländern die in neue umweltfreundliche Techniken und Investitionen investieren die benötigte Finanzierung zu ermöglichen.

Ein Leitfaden zum CDM wurde über UNEP erarbeitet und ist im Internet zugänglich unter

- http://www.cd4cdm.org/Publications/FinanceCDMprojectsGuidebook.pdf

Sammlung und Abfuhr sowie Umschlag und Transport von Siedlungsabfällen

Einführung zum Themenbereich

Anfallende Abfälle sind entsprechend der Zielstellung der Abfallhierarchie zu entsorgen, d.h. nicht vermiedene Abfälle sind vorrangig der der stofflichen und energetischen Verwertung zuzuführen. Ein gutes Abfallwirtschaftskonzept sollte vorschreiben, dass zum Abfallmanagement immer auch die Aufbereitung bzw. Behandlung, Lagerung sowie alle notwendigen Maßnahmen der Erfassung und des Transportes von Abfällen gehören. Um dieser Festlegung gerecht werden zu können, ist es erforderlich, dass die Abfälle am Anfallort in geeigneter Weise bereitgestellt werden. Ist es technisch oder wirtschaftlich nicht möglich, die erfassten und abgefahrenen Abfälle in der Nähe ihres Anfallortes aufzubereiten oder zu behandeln, sind Transporte zu den entsprechenden Behandlungs- und/oder Ablagerungseinrichtungen entweder auf direktem Weg oder nach Umschlag in einer Umladestation notwendig.

Die Teilabschnitte Abfallsammlung und Abfalltransport umfassen jeweils die folgenden Teilprozesse:

1. die Sammlung aller gemischten Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten, sowie der an der Anfallstelle getrennt erfassten Wertstofffraktion vom Ort ihrer Sammlung;
2. den Transport der gesammelten Abfälle zu den Aufbereitungs-, Behandlungs- und/oder Ablagerungseinrichtungen einschließlich hierfür notwendiger Umschlagsprozesse.

Abfallsammlung und -transporte haben eine außerordentlich hohe Bedeutung für das Funktionieren eines Abfallwirtschaftssystems, werden aber diesbezüglich oft unterschätzt oder mit zu geringer Aufmerksamkeit bedacht. Nicht zuletzt sind dies jedoch sehr arbeitsintensive Prozesse, welche in einem modernen und hocheffizienten System zwischen 60-80% aller Kosten verursachen und somit unbedingt Gegenstand ständiger Optimierung sein sollten, um eine kostengünstige Abfallwirtschaft tatsächlich implementieren zu können. Art, Größe und Arrangement der Behältnisse für die Abfallsammlung aber auch der Abfuhrrhythmus haben einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung der zu behandelnden Abfälle sowie die Menge und Qualität der getrennt erfassten Wertstoffe. Damit sind dies aber auch entscheidende Faktoren für die anfallenden Behandlungskosten. Bereits die erste Phase, nämlich die Sammlung und Abfuhr der Abfälle, bietet Gestaltungsmöglichkeiten von denen die Wirksamkeit des Abfallmanagements und Frage, welche Abfallströme tatsächlich zur Behandlung kommen müssen, sehr wesentlich abhängen.

Für eine effiziente und optimierte Organisation und Durchführung der Abfallsammlung ist vor allem folgenden Aspekten große Beachtung zu schenken:

- Größe der Sammelgebietes,
- seine strukturellen, wirtschaftlichen und sozialen Gegebenheiten,
- die geltenden rechtlichen Vorgaben,
- Ansprüche der Nutzer des Systems und
- das Spektrum geeigneter Sammelsysteme und -techniken.

Wichtige Anmerkungen hinsichtlich der vorgenannten Punkte werden sowohl in diesem Abschnitt der Informationssammlung als auch bei der Charakterisierung des Anwendungsrahmens und in den weiterführenden technischen Erläuterungen der Datenblätter zur „Sammel- und Transporttechnik“ gegeben.

Abfallsammlung

Der Vorgang der Abfallsammlung umfasst den Abschnitt welcher mit der Bereitstellung und dem Befüllen von Abfallsammelbehältnissen beginnt und von der Abholung der Abfälle durch ein Sammelfahrzeug bzw. der Entleerung der Abfallsammelbehältnisse beendet wird. Als Abfallsammelsystem bezeichnet man demzufolge eine Kombination aus menschlichen Aktivitäten, technischen Vorkehrungen und Prozessen, die speziell geprägt ist durch:

- die zur Abfallsammlung genutzten Behältnisse[1] ,
- die zur Bereitstellung der Behältnisse und ihre Entleerung genutzten Methoden,
- die zum Einsatz kommenden Sammelfahrzeuge[1].

In Siedlungsgebieten mit einer hohen Vielfalt an Wohnbebauungen, Gewerbegebieten und Industrieeinrichtungen ist es nahezu unmöglich, alle anfallenden

[1] Geeignete Sammelbehältnisse, Abfuhr- und Transporttechniken werden in den angegeben Datenblättern dargestellt.

Abfälle mit nur einem System effizient zu erfassen. Es müssen daher verschiedene Sammelsysteme, jeweils angepasst an die anfallenden Abfallmengen und -qualitäten, räumlichen Voraussetzungen und sonstige lokale Erfordernisse parallel zum Einsatz kommen.

Verschiedene Arten der Abfallsammlung und Abfuhrgestaltung werden nachfolgend beschrieben. Technische Einzelheiten zu den jeweils dazugehörigen Sammelbehältnissen, Fahrzeug- und Transporttechniken sind in den extra beigestellten Datenblättern wiedergegeben. Verweise und automatische Verlinkungen im nachfolgenden Text bilden die Brücke zwischen den allgemeinen Erläuterungen hier und den speziellen technischen Beschreibungen in den Datenblättern. Sie erleichtern auch den raschen Zugriff darauf.

Gestaltung der Abfallsammlung

Die Abfallsammelbehältnisse und die Art und Weise ihrer Bereitstellung und Entleerung werden durch die jeweilige Ausgestaltung der Abfallsammlung bestimmt. Diese ist das Ergebnis aus den spezifischen Voraussetzungen des Sammelgebietes, den dort anfallenden Abfallarten und logistischen Aspekten. Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Systeme unterscheiden: das Holsystem und das Bringsystem.

Holsystem

Restabfälle aus Haushalten und dem Gewerbebetrieb, Abfälle die spezieller Aufmerksamkeit bedürfen (z.B. Bioabfälle und schadstoffhaltige Abfälle) oder auf Seiten des Abfallerzeugers zu übergroßen (z.B. räumlichen) Belastungen führen (bspw. Bauabfälle und Sperrmüll) werden üblicherweise im Holsystem gesammelt und abgefahren. Dazu werden die Abfallsammelbehältnisse unmittelbar am Anfallort bereitgestellt. Die befüllten Behältnisse werden dann von den Abfallerzeugern oder dem Entsorgungsteam zur Entleerung/Abfuhr an den nächstgelegenen Straßenrand gebracht. Deshalb wird das Verfahren alternativ auch als Straßensammlung bezeichnet.

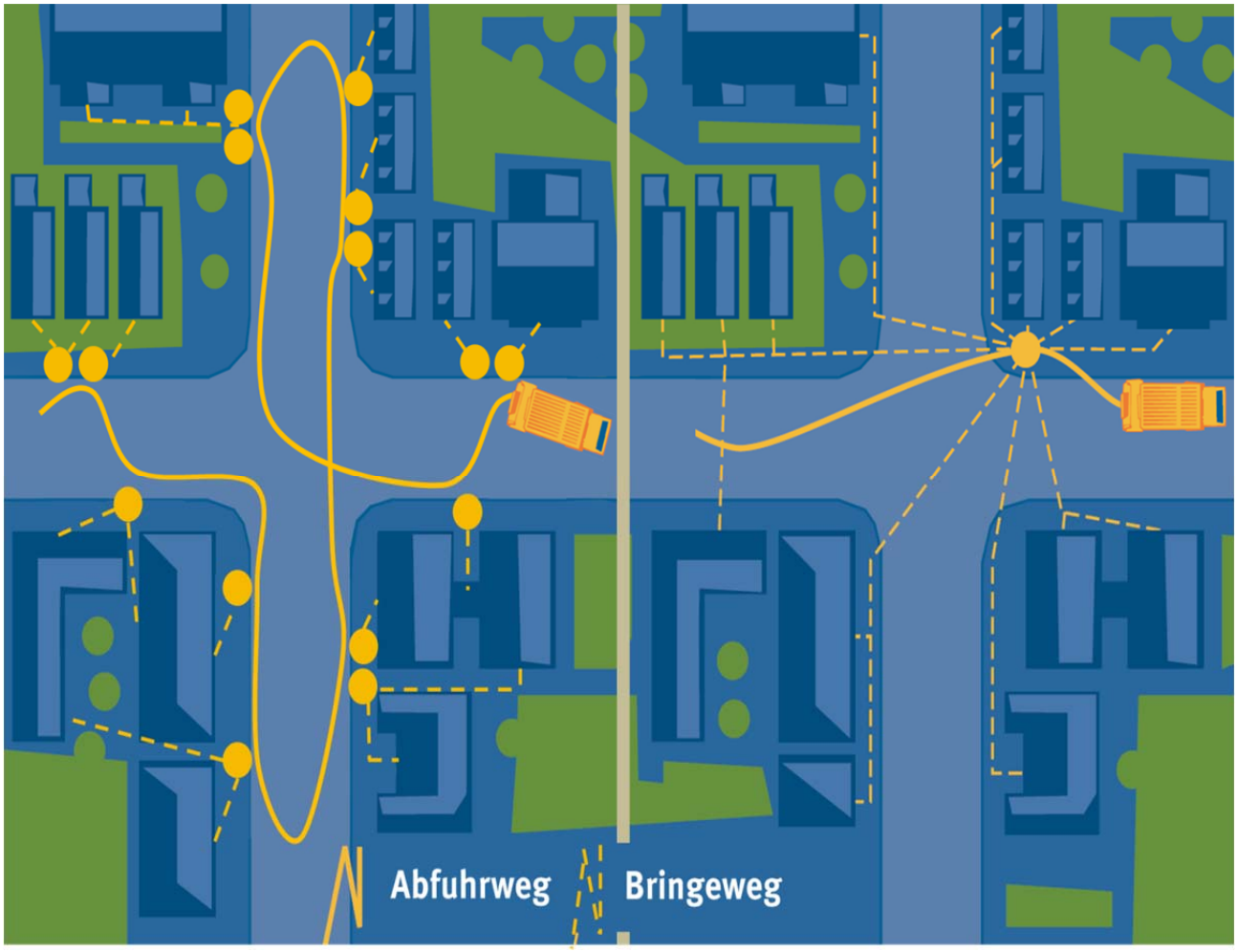
Das Sammelfahrzeug fährt dann die einzelnen Straßenzüge ab und entleert dabei die bereitgestellten Sammelbehältnisse (für Bauabfälle werden in diesem Fall Absetz- oder Abrollcontainer verwendet). Jeder der Haltepunkte zur Containerleerung kann auch als Sammel- oder Abholpunkt bezeichnet werden. Die Nutzung speziell dem Abfallerzeuger zugeordneter Sammelbehälter erleichtert den Überblick bei der Sammlung und macht es durch Einsatz von Behälteridentifikationstechnik überdies möglich, Abfallgebühren verursachergerecht zu erheben. Notwendig bei dieser Art der Sammlung ist jedoch ein ausreichendes Platzangebot sowohl an den eigentlichen Aufstellplätzen als auch an den Abholpunkten bzw. am Straßenrand. Diese Anforderung führt insbesondere in Gebieten mit hoher Bebauungsdichte zu Problemen, andererseits ist eine Straßensammlung in eher spärlich besiedelten Gegenden oftmals mit hohen Kosten verbunden, da zwischen den einzelnen Sammelpunkten große Entfernungen liegen können und pro Sammelpunkt häufig nur relativ kleine Mengen zur Abholung kommen.

Bringsystem

Beim Bringsystem werden Abfälle vom Abfallerzeuger zu Abfallsammelbehältern gebracht, die an zentral gelegenen Plätzen bereitgestellt sind. Bei diesem Sammelsystem nutzt eine Vielzahl von Abfallerzeugern die aufgestellten Behälter gemeinsam. Üblich ist deshalb der Einsatz von größer dimensionierten, nicht beweglichen Abfallcontainern, z.B. vom Typ Depotcontainer. Diese Container müssen je nach Nutzungsgrad regelmäßig bzw. bei Bedarf geleert werden. Im Gegensatz zur Straßensammlung müssen die Abholfahrzeuge jedoch nicht mehr alle Straßenzüge zur Entleerung der Abfallbehälter abfahren sondern haben eine erheblich geringere Anzahl von Sammelpunkten, die noch dazu zentral gelegen ist, anzufahren. Die Nutzung dieses Sammelsystems ist speziell in dichtbesiedelten Gebieten und für bereits im Haushalt getrennt erfasste Abfallarten, insbesondere trockene Wertstoffe, eine gute und zudem sehr wirtschaftliche Lösung. Um die Akzeptanz und Nutzungsintensität der Sammelpunkte durch die Öffentlichkeit zu maximieren, muss beim Aufstellen der Container und bei der Festlegung der Abholzeiten auf lokale Gegebenheiten besonderes Augenmerk gelegt werden. Dabei sind Ruhezeiten, Blickästhetik und eine gute und gleichmäßige Verteilung wichtige Gesichts-punkte. Erfolgversprechende Sammelpunkte verfügen über eine weite Erkennbarkeit und befinden sich an Orten mit hoher Bevölkerungsfrequentierung, z.B. in unmittelbarer Nähe von Einkaufszentren oder im Bereich von Großparkplätzen. Hohe Aufmerksamkeit verdient auch die regelmäßige Säuberung der Standorte.

Eine spezielle Teilkomponente innerhalb eines Bringsystems sind öffentliche Rücknahmestellen oder Wertstoffhöfe. Hierbei handelt es sich um beaufsichtigte Sammelstellen für verschiedene, vor allem recycelbare Abfallstoffe aus Haushaltungen. Die Abfallerzeuger können hier bestimmte Abfälle kostenfrei abgeben, für andere Abfallarten kann die Abgabe auch kosten-

Abbildung 1: Schematische Zeichnung zum Vergleich von Hol- und Bringsystem für die Abfallsammlung



pflichtig sein. Eine kostenfreie Entgegennahme sollte insbesondere für gut recycelbare Wertstoffe organisiert werden bzw. dann erfolgen, wenn die Betriebskosten für diese Rückgabestellen bereits Teil der allgemeinen Abfallabgaben sind. Mit der Nutzung dieser Einrichtungen sollte es den Abfallerzeugern in jedem Falle ermöglicht werden, durch Trennung seiner häuslichen Abfälle und gezielte Rückgabe von Wertstoffen seine Gebührenlast zu verringern.

Die Sammlung der Wertstoffe über Rücknahmestellen bzw. Wertstoffhöfe führt aufgrund der Beaufsichtigung im Regelfall zu einer besseren Erfassungsqualität und Reinheit der jeweiligen Materialien und erlaubt damit ein hochwertigeres Recycling sowie höhere Verkaufserlöse. Sehr deutlich sichtbar ist dies z.B. am Beispiel von Altpapier (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Unterschiede hinsichtlich der Erfassungskosten und erzielten Erfassungsqualität für graphisches Altpapier in Abhängigkeit vom eingesetzten Sammelsystem (Beispieldaten aus Deutschland, INTECUS GmbH, Stand 2005)

Sammelsystem	Holsystem Monotonne	Bringsystem Depotcontainer	Wertstoffhof
Erfassungskosten	~100 €/Mg	~70 €/Mg	~110 €/Mg
Anteil an unerwünschten Stoffen im erfassten Altpapier	~ 18 % (davon 2% Nicht-Papier Stoffe)	~ 3.5 % (davon 0,4% Nicht-Papier Stoffe)	~ 0.5 % (davon 0,1% Nicht-Papier Stoffe)

Die höheren Erlöse durch Absatz des gesammelten Materials als höherwertige Sortengruppe/Qualitäten kompensieren (wenigstens teilweise) die höheren Aufwendungen für Einrichtung und Betrieb der Rücknahmestellen bzw. Wertstoffhöfe. Gleichzeitig können die Einrichtungen auch der Entgegennahme von besonders umweltgefährdenden Stoffen wie Batterien/ Akkumulatoren, Altlacke/ Farbreste, Elektronikschrott u. ä. dienen

und somit deren kontrollierte Entsorgung unterstützen. Rücknahmestellen bzw. Wertstoffhöfe können darüber hinaus auch gut in Sozialprogramme und Wohlfahrtsdienstleistungen eingebunden werden. So kann durch Reparatur- und Aufbereitungsarbeiten oder ein unmittelbares Recycling der erfassten Materialien bei diesen Erfassungsstellen behinderten, arbeitssuchenden und sozial benachteiligten Personengruppen Beschäftigung angeboten werden, die vollständig oder wenigsten zum Teil aus dem Verkauf der Produkte finanzierbar ist. Gute Beispiele hierfür sind die Aufbereitung bzw. Ersatzteilgewinnung bei Altelektronikgeräten oder die Aufarbeitung von Altmöbeln, die im Gebrauchtwarenverkauf wieder abgesetzt werden können.

Gestaltung der Abholung

Prinzipiell sind drei Methoden zur Abholung von Abfällen zu unterscheiden:

- Umleerverfahren (befüllter Sammelbehälter wird geleert aber verbleibt am Ort),
- Wechselentleerung (befüllter Sammelbehälter wird gegen leeren ausgetauscht),
- Einweg-Verfahren (befüllter Sammelbehälter [Sack] wird mit abgeholt und entsorgt).

Zusätzlich zu diesen Verfahren ist für bestimmte Abfallarten auch eine systemlose Sammlung und Abfuhr möglich. Hierbei werden unregelmäßig anfallende Abfälle die zudem schlecht in üblichen Behältertypen gesammelt werden können in loser Form gesammelt und auf Abruf abgefahren. Häufig betrifft dies Abfälle wie Altmöbel, Haushalts- und Elektronikaltgeräte, schadstoffhaltige Produkte.

Für jede der genannten Sammel- und Abfuhrmethoden gibt es entsprechend kompatible oder sogar speziell dafür vorgesehene Behältersysteme [Datenblätter Sammlung] sowie Abfuhr- und Transportfahrzeuge [Datenblätter Abfallsammlung und Transport] mit den entsprechenden Ladevorrichtungen sowie Arrangements in Bezug auf deren Besatzung.

Einfache Entleerung oder Umleerverfahren

Diese Methode wird insbesondere bei der Abholung von Haushaltsabfällen und geringeren Mengen Abfall aus Gewerbebetrieben angewendet, wobei i.d.R. standardisierte Behältertypen eingesetzt werden. Der Behälterinhalt wird dabei mittels hydraulischer Ladetechnik in den Aufbau des Sammelfahrzeuges entleert und der entleerte Behälter zur Wiederbefüllung an seinen Ausgangsort zurück gestellt. Verschiedene Sammelfahrzeuge sind hierzu einsetzbar. Bei Einsatz von mobilen Abfallbehältern bis ca. 1,5 m³ Erfassungsvolumen sind Heckladerfahrzeuge, Frontladerfahrzeuge als auch Seitenladerfahrzeuge mögliche Varianten. Zur Entleerung von Depotcontainersystemen sind Fahrzeuge mit offenen Absetzcontaineraufbauten am geeignetsten.

Wechselentleerung

Diese Methode stellt insbesondere bei der Erfassung von Abfällen mit hoher Dichte, wie z.B. Baustellenabfällen oder auch bei konzentriertem Anfall von weniger verdichteten Abfällen in großer Menge, z.B. in Industriebetrieben, Hotelanlagen u. ä. ein geeignetes Verfahren dar. Dabei erfolgt der Austausch (Wechsel) der befüllten gegen leere Behälter direkt am Aufstellungsort. Das Sammelfahrzeug bringt den leeren Behälter und fährt nach dem Austausch den gefüllten Behälter zur Behandlungs- und/oder Entsorgungsanlage. Aus wirtschaftlichen Gründen kommen vor allem Großbehälter bzw. großvolumige Container, z.B. Absetzcontainer und Abrollcontainer, zum Einsatz deren Abfuhr mit Fahrzeugen erfolgt, die hierfür die entsprechenden Aufbauten und Ladeeinrichtungen besitzen.

Einweg-Verfahren

Bei diesem Ansatz werden die gesammelten Abfälle lose oder in Behältnissen abgefahren, welche zusammen mit dem Abfall zur weiteren Aufbereitung bzw. Entsorgung gelangen. Es handelt sich dabei um einfache, kostengünstige Behältnisse wie z.B. Säcke oder sogenannte Big Bags die den weiteren Aufbereitungsprozess nicht negativ beeinflussen, ggf. sogar mit recycelt/ verwertet werden können und insbesondere eine sehr wirtschaftliche Sammlung unterstützen. Diese hohe Wirtschaftlichkeit begründet sich u.a. aus der Tatsache, dass keine soliden Behälter angeschafft, entleert, zurückgestellt und gereinigt werden müssen. Die Nachteile liegen jedoch in einem oft erhöhten personellen Aufwand bei der Sammlung und in den eher kleinen Mengen die pro Behältnis erfasst werden können. Heckladerfahrzeuge und Fahrzeuge mit offenen Absetzcontaineraufbauten sind geeignete Abfuhrtechniken.

Systemlose Sammlung und Abfuhr und weitere Sonderformen

Bei der systemlosen Sammlung wird der Abfall je nach Abfallart in loser Form oder in unterschiedlichen Behältern bereitgestellt und abgefahren. Daraus folgt, dass sehr unterschiedliche Fahrzeuge zur Abfuhr eingesetzt werden. Dies können Heckladerfahrzeuge, aber auch Fahrzeuge mit Schubbodenauflieger, Absetzcontaineraufbau oder einfache Kipp- oder Pritschenlaster sein.

Eine weitere, allerdings investitionsintensive Sonderform bei der die Abfallerfassung und -abfuhr gewissermaßen in einem Schritt vereinigt sind, bilden Saug- oder Vakuumsysteme. Diese kommen derzeit in besonders dichten und hochbesiedelten Bebauungsstrukturen oder aber an solchen Stellen zum Einsatz, bei denen besondere Anforderungen an die Blickästhetik oder möglichst umgehende Entsorgung (z.B. Ausschluss hygienischer Gefährdungen) bestehen. Mit dem Verfahren entfällt die zwischenzeitliche Aufbewahrung der Abfälle (in Behältern) am Anfallort.

Abfalltransport

Im Anschluss an die Sammlung der Abfälle müssen diese zu den entsprechenden Behandlungs- bzw. Entsorgungseinrichtungen verbracht werden. Dabei können Transporte über kurze als auch längere Strecken notwendig werden. Im Gefolge der häufig angestrebten Verlegung der Abfallbehandlung an zentrale Standorte gewinnen Langstreckentransporte und Umschlagprozesse für Abfälle zunehmende Bedeutung.

Für kurze Transportentfernungen empfiehlt es sich, gleich die Fahrzeuge zu nutzen, mit denen die Abfälle bereits von den Sammelstellen abgefahren wurden [Datenblätter Abfallsammlung und Transport]. Diese auch für Langstreckentransporte einzusetzen ist hingegen unökonomisch, da es sich um Fahrzeuge handelt, die speziell für Abfuhrprozesse ausgelegt sind und demzufolge geringere Ladekapazitäten aufweisen dafür aber zusätzliches Personal an Bord haben.

Die Nutzung von Langstreckentransporte erfolgt insbesondere dann, wenn entsprechende Behandlungsmöglichkeiten erst in größerer Entfernung gegeben sind und andere Optionen wirtschaftlich ausscheiden. Es kommen verschiedene Transporttechniken einschließlich der hierfür geeigneten Containersysteme [siehe Datenblätter „Absetzcontainer“, „Abrollcontainer“, „Wechselcontainer“] und Fahrzeugtechnik [siehe Datenblatt „Schubbodentransporter“] in Betracht. Unter bestimmten Umständen bedeutet dies auch eine Umladung von Abfällen vom Abfuhrfahrzeug in Umladestationen. Um einen wirtschaftlichen Prozess zu garantieren, müssen die damit verbundenen Kosten in Summe geringer ausfallen, als der direkte Antransport der Abfälle in den Sammelfahrzeugen.

Unterschiede bei den Abfalltransporten bestehen vor allem in Bezug auf:

- die Art des zum Einsatz kommenden Transportmittels, d.h. Fahrzeug, Zug, Schiff;
- die Art des genutzten Containersystems bzw. Fahrzeugaufbaus, d.h. geschlossen oder offen, austauschbar oder festverbunden;
- den Zustand des Abfalls beim Transport, d.h. lose oder komprimiert/verpresst.

Beim Errichten von Umladestationen muss diesen Punkten Rechnung getragen werden.

Fahrzeug-, Zug-, oder Schiffstransport

Abfalltransporte erfordern die Existenz eines ausgebauten Straßen- bzw. Transportwegenetzes zwischen den Anfallstellen und Behandlungs- bzw. Ablagerungseinrichtungen. Es ist wichtig bereits bei der Planung von Entsorgungseinrichtungen den Aspekt des verfügbaren Transportwegenetzes zu berücksichtigen. So es keine gut ausgebauten Straßenverbindungen gibt, sind insbesondere auch Eisenbahntrassen und schiffbare Wasserwege als mögliche Transportrouten mit in Betracht zu ziehen, wobei es jedoch zusätzliche Aufwendungen für Umladeprozesse zu berücksichtigen gilt. Im Falle solcher Lösungen spricht man von kombinierten Transporten.

Weitere Nachteile von kombinierten Transporten sind neben den Zusatzaufwendungen für Umschlagprozesse die relativ geringe Flexibilität im Falle sich verändernder Bedingungen und relativ hohe Abfallmengen, die für einen wirtschaftlich effizienten Transport benötigt werden. Schiffstransporte können darüber hinaus auch von länger währenden Einschränkungen wie Überflutung, Eisdrift o.ä. betroffen sein, woraus die Notwendigkeit erwächst zusätzliche Zwischenlagerkapazitäten einplanen und vorhalten zu müssen. Ebenso bedarf es zur Durchführung von Schiffs- und Eisenbahntransporten erfahrener Unternehmen, die sich mit der Problematik der Abfalltransportlogistik auskennen und in der Lage sind, die Transportkette durchgängig und unter Bereitstellung der jeweils erforderlichen Kapazitäten zu organisieren.

Die Vorteile von Schiffs- und Eisenbahntransporten liegen im Vergleich zum Straßentransport bei einer signifikant höheren Beladungskapazität je eingesetztem Transportmittel (maximale Beladung: LKW 25 t, Eisenbahn ca. 1000 t, Binnenschiff 500 bis 3000 t), und somit einer erheblich geringeren Emissionsbelastung, geringerem Energieverbrauch und höherer Sicherheit beim Transport. Bei allen drei Transportvarianten ist eine Anpassung an die zu befördernden Abfallmengen relativ einfach zu realisieren, jedoch gilt es zu beachten, dass es bei eher kurzfristig benötigten Transporten auch bei

allen Varianten zu Engpässen hinsichtlich der verfügbaren Transport- und Umschlagkapazitäten kommen kann

In Abwägung aller Vor- und Nachteile der jeweiligen Varianten besteht im Straßentransport nach wie vor die am besten geeignete Lösung für Abfalltransporte. Die beiden anderen Möglichkeiten sind insbesondere dann interessant, wenn sehr große Abfallmengen über lange Strecken zu bewegen und Anfallstelle sowie Behandlungseinrichtung direkt an Wasserwegen oder Eisenbahntrassen gelegen sind.

Transporte in festverbundenen Aufbauten

Abfalltransporte in Langstreckenfahrzeugen mit Festaufbauten nehmen mit der offenen Beladung des Abfalls in den Fahrzeugaufbau unter Zuhilfenahme von Ladetechnik wie z.B. Radlader, Greifer oder von Schüttrampen an Umladestationen ihren Anfang. Für Transporte von verdichtetem Abfall eignen sich vor allem Sattelzüge mit geschlossenem, robustem Aufbau. An der Umladestation werden die Abfälle zuerst meist lose in den Aufbau eingebracht und dort mittels stationärer Kompaktoren oder fahrzeugeigener Verdichtungseinrichtungen verpresst.

Für den Abfalltransport in unverdichtetem Zustand werden ebenfalls Sattelzüge, allerdings mit einem oben offenen Fahrzeugaufbau eingesetzt. Diese Aufbauten können dann wieder über einen eingebauten Kippmechanismus entleert werden oder sie verfügen dazu über ein Schubbodensystem. Transporte in oben offenen Aufbauten sind auch bei Schiffs- und Eisenbahntransporten gebräuchlich, besonders betrifft dies den Transport von mineralischen Abfällen, Schrott oder sperrigem Abfall.

Transport in Wechselbauten

Insbesondere auch um weitere Energieaufwendungen bei Umladeprozessen zu vermeiden, sind Wechselaufbauten und abnehmbare Containeraufbauten bevorzugte Transportlösungen in allen drei Beförderungsvarianten. Der Vorteil des Verfahrens liegt eindeutig beim einfachen Austausch der Transportbehälter als einzig notwendigem Umladeschritt. Bei einer Reihe von Techniken bedarf es dazu nicht einmal zusätzlicher Hilfstechnik wie z.B. Krananlagen. Hier erlaubt bereits die Fahrzeugkonstruktion selbst den Austausch der Aufbauten vorzunehmen. Emissionen und Energieverbrauch können auf diesem Wege auf ein Minimum reduziert werden, was auch positive bei der Genehmigung der Umladeanlagen zum Tragen kommt. Um diesen Vorteil bereits bei der Übergabe der Abfälle von der Abfuhr an das Langstreckentransportmittel nutzen zu können, sind Sammelfahrzeuge mit Wechselaufbauten zunehmend in Anwendung.

Für getrennt erfasste Wertstoffe wie Altpapier und Altglas die normalerweise unverpresst zur Abfuhr kommen eignen sich besonders oben offene Absetzcontainer für den Langstreckentransport.

Neuere Entwicklungen der Sammelfahrzeugtechnik erlauben es darüber hinaus auch schon, diese Fahrzeuge mit geschlossenen Wechselcontainern auszustatten welche über eine integrierte Verpresseinrichtung verfügen. Moderne Sattelschlepperlösungen sind in der Lage bis zu drei Wechselcontainer auf einmal aufzunehmen und können darüber hinaus auch den Containerwechsel ohne zusätzliche Hilfstechnik durchführen. Auch Eisenbahnwagons sind in der gleichen Auslegung verfügbar, ebenso möglich ist ein Transport von Wechselcontainern auf dem Schiff. In den beiden letztgenannten Fällen bedarf es beim Be- und Entladeprozess jedoch häufig der Hilfe durch Krantechnik.

Hinweis: Detaillierte Beschreibungen der im Text angesprochenen Technologien und Ausrüstungen sind in den nachfolgend aufgelisteten Kapiteln enthalten.

Tabelle 2: Übersicht der auch in separaten Informationsabschnitten und Datenblättern behandelten Technologien und Ausrüstungen

Teilabschnitt	Datenblatt
Sammlung	Abrollcontainer Absetzcontainer Mobiler Sammelbehälter Depotcontainer Sacksammlung Big Bag
Abfuhr	Heckladerfahrzeug Frontladerfahrzeug Seitenladerfahrzeug Saugsystem Behälteridentifizierung
Umschlag und Transport	Schubbodensystem Wechselcontainer Umladestation

ABROLLCONTAINER

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammlung, zeitweise Lagerung und Transport verschiedener fester Abfallarten

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	X
Altmetall	X	Altholz	X	Bau- und Abbruchabfälle	X
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	X
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Alle Arten von festen Industrie- und Gewerbeabfällen, die an einem eng begrenzten Ort in kurzer Zeit in hohem Umfang anfallen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
in der Regel nicht notwendig, insofern Stückgutgröße des Abfalls Abmessungen des Containers nicht überschreitet, ansonsten Vorzerkleinerung

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
nicht containerabhängig

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Aufstellung kann nur an Stellen mit ausreichend verfügbaren Platz und Anfahrtsmöglichkeit für Abholfahrzeug erfolgen, ansonsten keine Einschränkungen. Abrollcontainer sind insbesondere zur Erfassung/Lagerung von einigen Abfällen aus Haushalten an zentralen Standplätzen gut geeignet, z.B. für Haushaltsgroßgeräte, sogenannte „Weiße Ware“ an Wertstoffhöfen. Der Standplatz sollte soweit befestigt sein, dass der Absetzcontainer, auch gefüllt, nicht einsinkt.

Klimatische Gegebenheiten:
keine Einschränkungen, Möglichkeit des Anfrierens in starken Frostlagen

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Das Abrollcontainer-System ist eines der meist verwendeten Standard-Container-Sammel- und Transportsysteme (DIN 30 722), was Aufnahme und Fixierung des Containers am Transportfahrzeug betrifft. Es handelt sich um die am einfachsten zu nutzende und deshalb am häufigsten verwendete Containerart für die Sammlung und den Transport von einzelnen Abfällen im Wechselbehältersystem (voller Container wird gegen leeren Container ausgetauscht und dann abgefahren). Für den Transport von Abrollcontainern können neben den Fahrzeugen auch Anhänger verwendet werden. In der Regel werden sie direkt vom Fahrzeug geladen. Abrollcontainer eignen sich als Sonderformat auch für die Erfassung von Abfällen aus Haushalten im Bringsystem, insbesondere für die Erfassung von Materialien mit hoher Dichte oder geringer Verdichtbarkeit (z.B. Glas oder grafisches Papier). Häufig werden hierfür Mehrkammervarianten mit flexiblen Zwischenwänden für die getrennte Erfassung mehrerer Fraktionen in einem Container eingesetzt.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- geeigneter, anfahrbarer Platz zum Aufstellen und entsprechendes Transportfahrzeug mit geeigneter Aufnahme- und Fixiereinrichtung (z.B. Hakenlift) für den Container

BESONDERE VORTEILE	- für verschiedene Schritte bei der Abfallsammlung, vor allem für Transport, aber auch zur Sammlung und zeitweiligen Lagerung von Abfällen geeignet - breite Anwendung für verschiedene Transportgüter - viele kompatible Sonderformen, Austauschbarkeit der Container - relativ günstiger Beschaffungspreis durch hohen Standardisierungsgrad
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- keine Verpressung im Container außer in der Sonderform Pressmüllcontainer möglich - bei größeren Transportentfernungen geeignetere Technik verfügbar (siehe Datenblatt „Schubbodentransporter“)
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Die folgende Abbildung zeigt Absetzcontainer wie sie für die getrennte Abfallsammlung auf Wertstoffhöfen eingesetzt werden sowie Abrollcontainer mit Einwurföffnungen für die getrennte Erfassung von Wertstoffen (Glas, PPK). Letzteres stellt eine Sondervariante des Mehrkammersystems dar. Abbildung 1: Abrollcontainer auf Wertstoffhof (links) und Abrollcontainer als Mehrkammersystem (rechts) (Bildquellen links: Harald Heinritz, www.abfallbild.de / Bildquelle rechts: Intecus GmbH) Der Abrollvorgangbei Be- oder Entladen des Containers ist in folgenden Abbildungen dargestellt. Der Container kann mit dem gesammelten Abfallfraktionen geladen und zur nächsten Behandlungs- oder Umladestation transportiert werden (Abbildung 2). Abbildung 2: Ladevorgang eines Abrollcontainers über am Transportfahrzeug installierten Hakenlift (Bildquelle rechts: Intecus GmbH/ Bildquelle links: Harald Heinritz, www.abfallbild.de)
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Die Nutzlast ist limitiert durch die zulässige Gesamtmasse des Fahrzeugs und die Bauform (zulässige Zuladung) des Containers
ANWENDUNGS-BEREICH	Das Fassungsvermögen von Abrollcontainern variiert zwischen 5 und 40 m³. Dabei beträgt die Länge zwischen 4.400 und 7.800 mm (über alles), die Breite in der Regel 2.320 mm. Die Höhe des Containers ist abhängig von der Bauform; für die Basisvariante ist von einer Höhe von 500–2.500 mm auszugehen. Die Behältermasse beträgt je nach Ausführung (leicht, stabil, schwer) und Nutzungsvariante zwischen 1.300 kg und 3.300 kg. Die Höhe des Aufnahmebügels beträgt 1.570 mm laut DIN 30 722.

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Bei Auswahl von speziellen Bauformen ist der Anschluss an externe stationäre oder Fahrzeugverdichter bzw. die Integration der Presseinrichtung in den Container zur Erhöhung der Abfallmasse im Container möglich. Systeme sind: - Systeme mit stationärer Verdichtung - Systeme mit mobiler Verdichtung für Sammelfahrzeuge - Systeme mit integrierter Verdichtung Soweit ein durch ein Bahnunternehmen zu erteilendes ACTS-Zertifikat (Abrollcontainer-Transportsystem) für den Container vorliegt, kann der Abrollcontainer auch per Güterwaggon oder Schiff transportiert werden. Mehrere Hersteller bieten auch Vorrichtungen zum Kippen von 2- und 4-rädrigen Müllgroßbehältern (MGB) (siehe Datenblatt „Mobiler Abfallsammelbehälter“) als Abrollcontainer-Variante an.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
PERSONALBEDARF	Das Aufnehmen, Absetzen und der Transport der Container erfolgt durch eine Person, den Fahrer des Transportfahrzeuges.
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	Zum Transport von Abrollcontainern ist ein Fahrzeug mit Abrollkipper erforderlich. Für einen Abrollcontainer mit interner Verpressung wird ein Elektro-Starkstromanschluss benötigt.
FLÄCHENBEDARF	Für das Abstellen und Aufnehmen von Abrollcontainern wird ein fester, ebener Untergrund mit einer max. Neigung von 5 % benötigt. Die erforderliche Grundfläche für den Abrollcontainer beträgt je nach Bauform 4.400 (max. 7.800) x 2.320 mm. Darüber hinaus muss die Manövrierfähigkeit durch das Abholfahrzeug und ggf. für einen Wechselcontainer gegeben sein.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	- Transportfahrzeug mit Hakenliftaufbau (3 Achsen, 20 Mg Nutzlast): ~ 90.000–130.000 Euro - Container (Basisvariante): ~ 3.500–7.000 Euro
BETRIEBSKOSTEN	- Reparatur und Wartung: 11 % der Investition/a - Personalkosten für 1 Person
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZANWENDUNGEN	Die Abrollcontainertechnik ist eine seit langem erprobte, zuverlässige Technik die von Abfallentsorger- und Transportfirmen weltweit genutzt wird.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Fahrzeugaufbauten (Hakenlift): - F.X. Meiller Fahrzeug- und Maschinenfabrik GmbH & Co KG, München www.meiller.com - Hüffermann Nutzfahrzeuge GmbH, Wildeshausen, www.hueffermann.de - PALFINGER GmbH, Ainring, www.palfinger.de Container - Laudon GmbH & Co. KG, Weilerswist www.laudon.de - Werner & Weber Deutschland GmbH, Oberhausen, www.werner-weber.com Umladung/Verdichtung - Avermann Maschinenfabrik GmbH, Osnabrück www.avermann.de - Husmann Umwelttechnik GmbH, Dörpen www.recycling-umwelt-technik.de
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	

Referenz für anwendbare Normen:
- **DIN 30722-1 bis 4**: Abrollkipperfahrzeuge, Abrollkippeinrichtung
- **DIN 30730:** Mobile Behälterpressen - Absetzkipperfahrzeuge und Abrollkipperfahrzeuge

ABSETZCONTAINER

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammlung, zeitweise Lagerung und Transport verschiedener fester Abfallarten

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	X
Altmetall	X	Altholz	X	Bau- und Abbruchabfälle	X
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	X
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Alle Arten von festen Industrie- und Gewerbeabfällen, die an einem eng begrenzten Ort in kurzer Zeit in hohem Umfang anfallen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
in der Regel nicht notwendig, insofern Stückgutgröße des Abfalls Abmessungen des Containers nicht überschreitet, ansonsten Vorzerkleinerung

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
nicht containerabhängig

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Aufstellung kann nur an Stellen mit ausreichend verfügbaren Platz und Anfahrtsmöglichkeit für Abholfahrzeug erfolgen, ansonsten keine Einschränkungen. Abrollcontainer sind insbesondere zur Erfassung/Lagerung von einigen Abfällen aus Haushalten an zentralen Standplätzen gut geeignet, z.B. für Haushaltsgroßgeräte, sogenannte „Weiße Ware“ an Wertstoffhöfen. Der Standplatz sollte soweit befestigt sein, dass der Absetzcontainer, auch gefüllt, nicht einsinkt

Klimatische Gegebenheiten:
keine Einschränkungen, Möglichkeit des Anfrierens in starken Frostlagen

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Das Absetzcontainer-System ist eines der meist verwendeten Standard-Container- Sammel- und Transportsysteme (DIN 30 720), was Aufnahme und Fixierung des Containers am Transportfahrzeug betrifft. Analog zu Abrollcontainer-Systemen (siehe Datenblatt „Abrollcontainer“) handelt es sich bei Absetzcontainern um eine sehr einfach zu nutzende und deshalb häufig verwendete Containerart für die Sammlung und den Transport von einzelnen Abfallmengen im Wechselbehältersystem (voller Container wird gegen leeren Container ausgetauscht und dann abgefahren). Für den Transport von Absetzcontainern können neben den Fahrzeugen auch Anhänger verwendet werden. In der Regel werden sie direkt vom Fahrzeug geladen.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- geeigneter, anfahrbarer Platz zum Aufstellen und Transportfahrzeug mit geeigneter Aufnahmeeinrichtung (Absetzkipper) für den Container

BESONDERE VORTEILE	- für verschiedene Schritte bei der Abfallsammlung, vor allem für Transport, aber auch zur Sammlung und zeitweiligen Lagerung von Abfällen geeignet - breite Anwendung für verschiedene Transportgüter - viele kompatible Sonderformen, Austauschbarkeit der Container - relativ günstiger Beschaffungspreis durch hohen Standardisierungsgrad
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- keine Verpressung im Container außer in der Sonderform Pressmüllcontainer möglich - bei größeren Transportentfernungen geeignetere Technik verfügbar (siehe Datenblatt „Schubbodentransporter“)
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Abbildung 3: gestapelte Absetzcontainer (links) und Ladeprozess eines Absetzcontainers (rechts) (Bildquellen links, rechts: Intecus GmbH) Als Sonderformen für diese Containerart sind weiterhin verfügbar: eingebaute Kipp- und Verpresseinrichtung, stapelbare Container, abklappbare Rückwand. Abbildung 4: Absetzcontainer zur Sammlung von verschiedenen Abfallfraktionen (Bildquellen rechts, links: Petra Hoeß, FABION Markt + Medien, www.abfallbild.de)
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Geringere Zuladung als Abrollcontainer. Nutzlast ist limitiert durch die zulässige Gesamtmasse des Fahrzeugs und die Bauform (zulässige Zuladung) des Containers
ANWENDUNGS-BEREICH	Das Fassungsvermögen von Absetzcontainern variiert laut DIN zwischen 5 und 20 m³, weitere Größen werden ebenfalls verwendet. Dabei betragen die Länge zwischen 1.500 und 4.800 mm und die Breite in der Regel 1.520 mm. Die Höhe des Containers ist abhängig von der Bauform; für die Basisvariante ist von einer Höhe von maximal 1.500 mm auszugehen. Die Behältermasse beträgt je nach Ausführung und Nutzungsvariante zwischen 300 kg und 1.500 kg.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Zusätzlich zu einigen Spezialausführungen mit integrierten Sonderfunktionen ist auch die Integration einer Presseinrichtung in den Container zur Erhöhung der Abfallmasse im Container möglich.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
PERSONALBEDARF	Das Aufnehmen, Absetzen und der Transport der Container erfolgt durch eine Person, den Fahrer des Transportfahrzeuges
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	Zum Transport von Absetzcontainern ist ein Fahrzeug mit Absetzkipper erforderlich. Für einen Absetzcontainer mit interner Verpressung wird ein Elektro-Starkstromanschluss benötigt.
FLÄCHENBEDARF	Die benötigte Grundfläche für den Absetzcontainer beträgt je nach Bauform mindestens 3.000 x 1.900 mm. Darüber hinaus muss die Manövrierfähigkeit durch das Abholfahrzeug und ggf. für einen Wechselcontainer gegeben sein
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	- Transportfahrzeug mit Aufbau (3 Achsen, 13 Mg Nutzlast): ~ 75.000–120.000 Euro - Container (Basisvariante): ~ 1.500–3.500 Euro
BETRIEBSKOSTEN	- Reparatur und Wartung: 11 % der Investition/a - Personalkosten für 1 Person
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die Absetzcontainertechnik ist eine seit langem erprobte, zuverlässige Technik die von Abfallentsorger- und Transportfirmen weltweit genutzt wird.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Fahrzeugaufbauten: - F.X. Meiller Fahrzeug- und Maschinenfabrik GmbH & Co KG, München www.meiller.com - PALFINGER GmbH, Ainring, www.palfinger.de Container - Laudon GmbH & Co. KG, Weilerswist www.laudon.de - Sirch GmbH & Co. KG, Kaufbeuren-Neugablonz www.sirch.com - Werner & Weber Deutschland GmbH, Oberhausen, www.werner-weber.com - Husmann Umwelttechnik GmbH, Dörpen www.recycling-umwelt-technik.de
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	

Referenz für anwendbare Normen:
- **DIN 30720-1 und-2:** Behälter für Absetzkipperfahrzeuge
- **DIN 30723-1 und-2:** Absetzkipperfahrzeuge, Absetzkippeinrichtung
- **DIN 30730:** Mobile Behälterpressen - Absetzkipperfahrzeuge und Abrollkipperfahrzeuge
- **DIN 30735:** Behälter mit einer maximalen Breite von 1520 mm für Absetzkipperfahrzeuge

MOBILER ABFALLSAMMELBEHÄLTER / MÜLLGROSSBEHÄLTER (MGB)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammlung von kommunalem Abfall und Abfällen aus privaten Haushalten und dem Kleingewerbe

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Alle Arten von festen Industrie- und Gewerbeabfällen, die an einem eng begrenzten Ort in kurzer Zeit in hohem Umfang anfallen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
bei Verwendung für die oben spezifizierten Abfallarten im üblichen Anfallzustand nicht notwendig, falls Stückgutgröße des Abfalls die Abmessungen des Behälters überschreitet ist eine Vorzerkleinerung erforderlich

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
durch die Behälterwahl normalerweise nicht beeinflusst

Besondere Schutzerfordernisse:
Um das Unfallrisiko zu minimieren, sind 4-rädrige MGB mit einer feststellbaren Bremse herstellerseitig gegen ein unkontrolliertes Wegrollen zu sichern, zudem sind die Deckel dieser Behälter so zu gestalten, dass diese auch von innen geöffnet werden können. Zur Verhinderung von Fehlbefüllungen sind bei der Nutzung für bestimmte Abfallarten (z.B. Glas-, Papiersammlung) entsprechende Aufsätze mit Einwurfbegrenzungen sinnvoll

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Die Nutzung von MGB ist normalerweise in allen Gebietsstrukturen möglich, aufgrund unterschiedlicher Größen und Typen sind sie für die Erfassung von Abfällen in Gebieten mit unterschiedlichster Bevölkerungsdichte geeignet. Aufstellplätze sollten soweit befestigt sein, dass der Behälter auch gefüllt nicht einsinkt. Außerdem sollte es möglich sein, diesen ebenerdig bewegen zu können, um einen leichten Transport vom Standplatz zum Ort der Leerung zu ermöglichen. Behältertypen aus Kunststoff sind in Gebieten mit hohem Ascheanfall ungeeignet.

Klimatische Gegebenheiten:
grundsätzlich keine Einschränkungen, aber Möglichkeit des Anfrierens in starken Frostlagen. Ist der Anteil an organisch abbaubarem Material im Abfall hoch, sollte aus hygienischen Gründen eine regelmäßige Entleerung gewährleistet sein. Dies gilt insbesondere in Gebieten, wo Temperaturen oberhalb 20°C regelmäßig auftreten.

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Das MGB-System ist das europaweit meistverwendete Sammelbehältersystem, was die Sammlung haushaltsnah zu erfassender Abfälle betrifft. Die MGB sind fahrbar als 2-rädrige Versionen mit einem Aufnahmevolumen von 80–390 Litern und 4-rädrig mit einem Aufnahmevolumen von 500–5.000 Litern ausgelegt. MGB werden insbesondere für die Abfallsammlung im Holsystem mit Umleerung eingesetzt (Behälter wird am Anfallort des Abfalls befüllt und von dort zur Leerung mit einem Sammelfahrzeug (siehe auch Datenblätter „Hecklader“, „Seitenlader“) abgeholt. Dabei wird der Abfall aus dem Behälter in das Sammelfahrzeug ent-

	leert und der entleerte Behälter am Ort belassen. Standardisierte Behälter sind mit einem Kamm bzw. Rand zur Aufnahme an den Lifter des Sammelfahrzeugs ausgestattet
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Sammelfahrzeug mit entsprechender Aufnahmevorrichtung (z.B. Kamm- oder Diamondschüttung) für mobile Sammelbehälter
BESONDERE VORTEILE	- breite Anwendung für haushaltsnah zu erfassende Abfälle - leicht handhabbar und manuell bewegbar - Möglichkeit der farblichen Gestaltung zur Zuordnung charakteristischer Farben für bestimmte Abfallfraktionen ein hoher Standardisierungsgrad ermöglicht - Austauschbarkeit der Container - relativ günstigen Einkaufspreis - kompatible Sonderformen für verschiedene Abfallarten, z.B. Bioabfall
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- geringes Aufnahmevolumen, keine Verpressung im Behälter außer für spezielle gewerbliche Anwendungen - Brandgefahr bei Kunststoffbehältern - Anfrieren feuchter Abfälle bei Frost
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Abbildung 5: Mobile Abfallsammelbehälter für Restabfall (rechts), für Altpapier (Mitte) und für Bioabfall (links) aus jeweils Kunststoff (Bildquelle rechts, Mitte: Intecus GmbH, Bildquelle links: Harald Heinritz, www.abfallbild.de) Als weitere Sonderformen werden u.a. angeboten: Ausführung in verzinktem Stahl, mit Rund- oder Flachdeckel, mit Belüftungssystem für Bioabfall und als manueller Kehrwagen. 4-rädrige Müllgroßbehälter verfügen über Feststellbremsen gegen unkontrolliertes Davonrollen, ferner sind Behältervarianten mit abschließbaren Deckelkonstruktionen verfügbar. Abbildung 6: MGB (1.100 l) mit Feststellbremsensystem (rechts), Behältervariante mit abschließbarer Deckelkonstruktion (Bildquellen links, rechts: Harald Heinritz, www.abfallbild.de)

STOFFFLUSS UND -MENGEN	In Abhängigkeit von Sammelgebiet, Fahrzeugtechnik und Behältergröße sind pro Normarbeitstag und Fahrzeugtour Leerungsleistungen von 250 bis 900 Behältern möglich
ANWENDUNGS-BEREICH	MGB eignen sich für alle Gebietstypen und Bebauungsverhältnisse und hierbei insbesondere zur Sammlung von kommunalem Abfall und Abfällen aus dem Kleingewerbe. Üblich sind Container im Größenbereich von 80–390 Litern Aufnahmevolumen (2-rädrige Versionen) sowie von 500–5000 Litern Aufnahmevolumen (4-rädrige Versionen). Die Nutzung von standardisierten Leerungssystemen an Sammelfahrzeugen ermöglicht ein an den Behältern angebrachter Aufnahmerahmen (-kamm). Als kaum noch genutzte Sonderbauform existiert die Diamond Schüttung, die insbesondere für den Einsatz an Seiten- und Frontladesystemen geeignet ist. Von der Nutzung von Behältern aus Kunststoff in Gebieten mit hohem Anfall an Aschen aus der Feststofffeuerung (z.B. Kaminaschen) ist wegen der bestehenden Gefahr von Brandschäden und Verformungen durch Hitze abzuraten
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	MGB stehen bei der Abfallerfassung am Beginn der Entsorgungskette, d.h. ihre Verwendung ist mit allen folgenden Entsorgungsschritten und Techniken vereinbar. Erforderlich sind in der Regel Liftersysteme zur Aufnahme der MGB an den Sammelfahrzeugen. Diese werden in folgenden Varianten angeboten: - für 2rädrige MGB als Einzel- oder Doppellifter - für 2 und 4rädrige MGB bis zu MGB 1.100 oder - von MGB 1.100 bis MGB 5.000
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
PERSONALBEDARF	Die Entleerung der MGB wird in der Regel unter Verwendung von Heckladerfahrzeugen (siehe Datenblatt "Hecklader") durch eine Sammelmannschaft, bestehend aus einem Fahrer und 1 bis 4 Ladern, durchgeführt. Unter optimierten Bedingungen ist eine Behälterleerung in einer Teamstruktur 1+1 (ein Fahrer und ein Lader) durchführbar. In Gebieten mit geringer Behälterdichte finden auch sogenannte Seiten- (siehe Datenblatt "Seitenlader") oder Frontlader (siehe Datenblatt "Frontlader") als Sammelfahrzeuge Anwendung, bei denen der Fahrer die Sammelfunktion mit übernimmt.
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	Zur Sammlung von MGB ist die Nutzung eines Sammelfahrzeugs mit entsprechender Aufnahmevorrichtung (Schüttung) nötig. (Siehe auch Datenblätter „Seitenlader", „Hecklader", „Frontlader")
FLÄCHENBEDARF	Der Platzbedarf für MGB mit einem Volumen von 80–240 Litern ist gering. Bei der Einrichtung von Standplätzen für 4-rädrige MGB (bspw. 1.100 l) ist großes Augenmerk auf die Manövrierfähigkeit der Behälter zu richten. Die Sammelbehälter sollten stufenfrei, auf festem Untergrund und möglichst straßennah aufgestellt sein.

Abbildung 7: Beispiel von Stellplätzen für MGB 1.100 in einer Großwohnanlage (rechts) und vor einer Schule (links) (Bildquelle links: Intecus GmbH, Bildquelle rechts: Reinhard Weikert, www.abfallbild.de)

Tabelle 1: Abmessung für Behälterarten nach DIN

Behälter (l)	Höhe (mm)	Breite (mm)	Eigenmasse (kg)	Max. Zuladung (kg)
MGB 120	930	480	11	48
MGB 240	1.070	580	15	96
MBG 1.100	1.450	1.210	69	440

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN

INVESTITIONS-KOSTEN	Behälteranschaffung: - MGB 80-120: 15–35 Euro - MGB 240: 22–45 Euro - MGB 1.100: ab 160 Euro Die dargestellten Preisspannen setzen eine Mindestabnahmemenge von mehreren 1.000 Stück voraus. Die Kosten für die Schwerkraftschlösser belaufen sich auf rund 20 Euro für zweirädrige MGB und 50 Euro für 4-rädrige MGB.
BETRIEBSKOSTEN	- Laufende Kosten: keine - Reparatur und Wartung: 11 % der Investition/a - Kosten für Behälteränderungsdienst

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die Sammlung von kommunalen Abfällen wird europaweit zum größten Teil mittels MGB durchgeführt. In Deutschland am häufigsten in Anwendung sind MGB mit einem Aufnahmevolumen von 80, 120, 240 und 1.100 Litern.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Zu den Herstellerbetrieben für MGB zählen z.B.: - SULO Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Herford, www.sulo-umwelttechnik.de - ESE GmbH, Neuruppin www.ese.com - SSI Schäfer- Fritz Schäfer GmbH, Neunkirchen www.ssi-schaefer.de - Paul Craemer GmbH, Herzebrock-Clarholz www.craemer.de

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Eine Firmenauflistung und weitere Informationen ist erhältlich über die Gütegemeinschaft Abfall- und Wertstoffbehälter e.V., Köln www.ggawb.de

Referenz für anwendbare Normen:
Zur Absicherung der Produktqualität wurden in Deutschland für Abfallbehälter eingeführt:
- Gütezeichen **RAL-GZ AWB**,
- RAL-Güterichtlinie **RAL-GZ 951/1** über Abfall- und Wertstoffbehälter aus Kunststoff
- RAL-Güterichtlinie **RAL-GZ 951/2** über Abfall- und Wertstoffbehälter aus Metall

Folgende DIN definieren Maßgaben für mobile Abfallsammelbehälter:
- **DIN EN 840-1 bis 6**: Fahrbare Abfallsammelbehälter: Abmessungen, Prüfverfahren, Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen,
- **DIN 30760**: Fahrbare Abfallsammelbehälter - Abfallsammelbehälter mit zwei Rädern und einem Nennvolumen von 60 l bis 360 l für Diamondschüttungen

Folgende VDI-Richtlinie definiert Maßgaben für mobile Abfallsammelbehälter:
- **VDI 2160** - Abfallsammlung in Gebäuden und auf Grundstücken - Anforderungen an Behälter, Standplätze und Transportwege

Umwelt Bundesamt

DEPOTCONTAINER

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Getrennte Erfassung bestimmter Abfallarten / Wertstoffe aus dem Spektrum der kommunalen Abfälle im Rahmen des Bringsystems und von Gewerbe- bzw. Industrieabfall

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien	X	Elektro(nik)altgeräte	(X)
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Grundsätzlich für alle festen Abfallarten, die an vielen dicht beieinander liegenden Orten kontinuierlich in geringem Umfang anfallen, möglich			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Um den Einwurf stofffremder Abfälle zu unterbinden, werden die Aufnahmeöffnungen in der Regel abfallspezifisch ausgeführt (z.B. bei Glas: Rundloch, Papier: Einwurfschlitz). Sperrige Abfälle, z.B. große Kartons müssen daher in der Regel vor dem Einwurf zerkleinert oder gefaltet werden

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
uneingeschränkt, nicht behälterabhängig

Andere Aspekte:
Erhöhte Lärmbelastungen im Umfeld durch überdurchschnittliche Einwurfhöhe sind möglich

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
uneingeschränkt anwendbar, aber durch Platzverfügbarkeit begrenzt, daher erfolgt die Aufstellung an zentralen Plätzen bzw. häufiger auch am Stadtrand. Unterflurvarianten sind verfügbar, die den Einsatz dieser Containerart auch bei Platzmangel oder unter Wahrung des Stadtbildes ermöglichen

Klimatische Gegebenheiten:
keine Einschränkungen, aber Möglichkeit des Anfrierens in Frostlagen

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Depotcontainer sind Abfallsammelbehälter mit einem größeren Aufnahmevolumen, die in der Regel zur Erfassung von Wertstoffen (insbesondere Altpapier, Altglas und Alttextilien) im Bringsystem eingesetzt werden. Um die Sammlung effizient zu gestalten, werden Depotcontainer mit einem Innenvolumen zwischen 2 und 5 m³ angeboten. Als wichtiges Sonderformat sind die sog. Unterflurbehälter zu nennen, die vor allem an dicht besiedelten Standorten mit hoher repräsentativer Funktion oder aufgrund fehlender Containerstellmöglichkeiten zur Anwendung kommen. Glascontainer sind in zunehmendem Maße mit Lärmdämmsystemen ausgerüstet. Die Entleerung erfolgt in der Regel mittels LKW Bordladekran eines Abrollkippers oder mit Spezialschüttung am Heck- oder Frontlader-Fahrzeug. Als Entleerungstechniken werden die Doppelhakenentleerung oder das Kinshofer-Entleerungssystem angewendet.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Verfügbarkeit von Transportfahrzeugen mit Kraneinrichtung zur Leerung bzw. Verladung - unabdingbar für die Aufstellung von Depotcontainern ist die unmittelbare Straßennähe
BESONDERE VORTEILE	- Austauschbarkeit der Container - breite Anwendung für im Bringsystem zu erfassende Abfälle und Wertstoffe - günstiger Einkaufspreis durch hohen Standardisierungsgrad - logistisch kostengünstige Sammelmethode
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- keine Verpressung im Container - Brandgefahr bei Behältern zur Altpapiererfassung im öffentlichen Raum - geringe Füllmasse für Kartonagen - bei Unterflurbehältern limitierte Einwurföffnung

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Die folgende Abbildung zeigt Depotcontainer für die Abfallarten Glas und Alttextilien sowie Einwürfe von Unterflurcontainern an öffentlichen, zentralen Standpunkten.

Abbildung 8: Depotcontainer für Altglas getrennt nach Farben (links), Depotcontainer für Alttextilien (Mitte), Unterflurcontainer (rechts) (Bildquelle links: Harald Heinritz, www.abfallbild.de / Bildquelle Mitte, rechts: Intecus GmbH)

Der Entleerungsvorgang von Depotcontainern und Unterflurcontainern erfolgt mit einem Transportfahrzeug mit Kraneinrichtung zur Leerung bzw. zur Verladung (Abbildung 2).

Abbildung 9: Entleerungsvorgang von Depotcontainer (links) und Unterflurcontainer (rechts) (Bildquellen: Intecus GmbH)

Depotcontainer bestehen grundsätzlich aus einer Einwurföffnung und einer am Containerboden befindlichen Öffnung, die während des Entleerungsvorgangs über dem Fahrzeug geöffnet wird und so den Inhalt in den Fahrzeugcontainer umfüllt. Oftmals sind im Depotcontainer sogenannten Fallbremens bzw. Schalldämmmatten installiert, die eine Lärmbildung durch den Einwurf von insbesondere Glas mindert (Abbildung 10).

	Abbildung 10: Querschnitt eines Depotcontainers mit Fallbremse und Schalldämmmatte (Bildquelle rechts: Harald Heinritz, www.abfallbild.de)
STOFFFLUSS UND -MENGEN	In Abhängigkeit von Sammelgebiet, Sammelfraktion, Fahrzeugtechnik und Behältergröße können pro Tag und Fahrzeugtour 50 bis 100 Behälter geleert werden.
ANWENDUNGS-BEREICH	In Deutschland wird mit einer Stellplatzdichte von einem Containerstellplatz pro 500 Einwohner kalkuliert. Bei Einführung des Depotcontainers im Bringsystem muss mit zusätzlichen Aufwendungen für die Beräumung von Nebengestellungen gerechnet werden.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Geeignet als Teil eines Gesamtentsorgungssystems für Abfälle, die an vielen eng beieinander liegenden Orten kontinuierlich in geringem Umfang anfallen und möglichst sortenrein erfasst werden sollen. Technisch es nur über Spezialtechnik mit anderen Systemen kompatibel.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
PERSONALBEDARF	Die Entleerung der Depotcontainer wird in der Regel durch den Fahrer des Sammelfahrzeugs durchgeführt.
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	Depotcontainer können mittels Ladekran über das vorher festgelegte Entleerungssystem geleert werden.
FLÄCHENBEDARF	Durch die Entleerung per Kran wird nur eine geringe Standplatzfläche ohne Rangierabstand benötigt. Der Untergrund muss befestigt, der Raum über dem Standplatz hindernisfrei sein. Der Standplatz kann relativ flexibel, ohne Festlegung auf ein bestimmtes Grundstück ausgewählt werden. In Gebieten mit geringem Angebot an geeigneten Standplätzen können alternativ Unterflursysteme zum Einsatz kommen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Preise für Depotcontainer können aufgrund der hohen Vielfalt und unterschiedlicher lokaler Anforderungen (Repräsentation, Lärmschutz) sehr stark schwanken. - Depotcontainer 3 m³ Standard ab 450 bis über 1.000 Euro - Unterflurbehälter 5 m³ ab 4.000 EUR inkl. Montage
BETRIEBSKOSTEN	- laufende Kosten: keine - Reparatur und Wartung: 11 % der Investition pro Jahr - Behälteränderungsdienst - Standplatzreinigung

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die Sammlung von Wertstoffen, insbesondere von Pappe, Papier & Karton, von Alttextilien und den verschiedenen Glasfraktionen, wird sowohl in Deutschland als auch in einer Reihe anderer europäischer Staaten größtenteils mittels Depotcontainern durchgeführt.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	In Deutschland bieten verschiedene Firmen Depotcontainer als auch Unterflursysteme an. Dazu zählen beispielsweise: Depotcontainer: - SULO Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Herford, www.sulo-umwelttechnik.de - ESE GmbH, Neuruppin www.ese.com - Schletter GmbH, Kirchdorf/Haag i.OB www.schletter.de - Kinshofer Technik, Miesbach www.kinshofer-technik.de - SSI Schäfer- Fritz Schäfer GmbH, Neunkirchen, www.ssi-schaefer.de Unterflursysteme: - SULO Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Herford, www.sulo-umwelttechnik.de - ESE GmbH, Neuruppin www.ese.com - SSI Schäfer- Fritz Schäfer GmbH, Neunkirchen, www.ssi-schaefer.de - Bauer GmbH, Südlohn, www.bauer-suedlohn.de - Unterflur-Container & Projektierung Uthof www.uthof.de - SUBFLOORCON GmbH, Münster www.subfloorcon.de

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Referenz für anwendbare Normen:

- **DIN EN 13071** Blatt 1–3: Stationäre Abfallsammelbehälter bis 5 000 l, mit Behälteraufnahme an der Oberseite und Bodenentleerung

NICHTSTANDARDISIERTE BEHÄLTNISSE FÜR DIE (SYSTEMLOSE) ABFALLSAMMLUNG – SÄCKE BZW. TÜTEN

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammlung von kommunalen Haushaltsabfällen und geringen Mengen von Gewerbe- und Industrieabfällen

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien	X	Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Grundsätzlich für alle festen Abfallarten, die an vielen dicht beieinander liegenden Orten kontinuierlich in geringem Umfang anfallen, möglich			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
keine

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
uneingeschränkt, nicht behälterabhängig

Andere Aspekte:
- ungeeignet bei flüssigen, heißen, besonders sperrigen oder schweren Abfällen,
- eventuell Gesundheitsrisiken durch die Möglichkeit des Austretens von spitzen Gegenständen bei Aufnahme und Transport von Säcken
- allgemein zerstörungsanfällig (z.B. Vandalismus, streunende Tiere) daher kurzfristig abzufahren

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
uneingeschränkt anwendbar, ggf. aber aus ästhetischen Gründen begrenzt

Klimatische Gegebenheiten:
bedingt oder nicht wetterfest

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Die systemlose Sammlung, d.h. die Sammlung von Abfällen ohne standardisierte Behältnisse/Container, ist weltweit verbreitet. In Europa ist die Sammlung von Leichtverpackungen über 80 l-Säcke häufig. Abfälle/Wertstoffe werden aber auch über teils stoffgleiche mit zu entsorgende Behältnisse, z.B. Pappkartons bei der Altpapiersammlung oder weiterverwendbare Boxen, z.B. zur Glassammlung erfasst. In der Restabfallsammlung werden Säcke vor allem bei der Erfassung einmalig anfallender zusätzlicher Mengen eingesetzt.

Soweit die Entsorgung von Abfallsäcken mit einer Gebühr belegt ist, werden üblicherweise Abfallsäcke vertrieben, bei denen das Volumen, die Wanddicke sowie die Reißfestigkeit vorab bestimmt sind.

Für die Sammlung von Leichtverpackungen über das Duale System wurden in Deutschland beispielsweise die folgenden Kriterien festgelegt:

	- Material: LDPE-Folie - Farbe: gelblich transparent - Mindestwandstärke: 22 µm - Streckspannung: mindestens 15 MPa - Volumen: 90 l - Beilage eines Verschlusses.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- keine spezielle Fahrzeugtechnik erforderlich, in der Regel wird ein Hecklader mit interner Presse und tiefer Schüttkante eingesetzt
BESONDERE VORTEILE	- geringe Investitionskosten - flexible Lagerung und Bereitstellung von stark variierenden Abfall-mengen - flexibler Fahrzeugeinsatz - verursachergerechte Gebührenveranlagung durch Verkauf und Einsatz markierter Säcke möglich
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- kontinuierliche Kosten - Brand- und Vandalismusgefahr - bedingt oder nicht wetterfest (Wind, Regen, Schnee) - Beeinträchtigung des Straßenbilds bei Bereitstellung - starke körperliche Beanspruchung des Sammelpersonals - erhöhte Gefährdung von Sammelpersonal und Fußgängern durch herausragende spitze Gegenstände bei der Bereitstellung - zusätzliche Kosten durch Vertrieb
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Gängige Abfallsackformen haben eine Größe von 50 Litern bis 120 Litern und bestehen zumeist aus den Kunststoffarten PE-LD, PE_HD und seltener aus Kraftsackpapier. Abbildung 11: Bereitstellung von Säcken zur Getrenntsammlung von Leichtverpackungen (links), Sacksammlung für Grüngut (Mitte), biologisch abbaubarer Abfallsack (rechts) (Bildquelle links: Intecus GmbH; Bildquellen Mitte, rechts: Harald Heinritz, www.abfallbild.de) In den letzten Jahren kommen verstärkt biologisch abbaubare Abfallsäcke zur Erfassung des Küchenabfalls in den Haushalten zum Einsatz. Der gefüllte Abfallsack wird dann direkt in einen separaten (mobilen) Müllbehälter aus festem Material (z.B. Biotonne) eingeworfen.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	In Abhängigkeit von Sammelgebiet, Fahrzeugtechnik und Behältergröße können pro Tag und Fahrzeugtour bis zu 2.400 Säcke geleert werden. Wird der Sack als Ergänzung zum regulären Sammelbehälter für Restabfall angeboten, sind bei einer Sammeltour durchschnittlich weniger als 10 Säcke zusätzlich abzufahren.

ANWENDUNGS-BEREICH	- alle festen Abfälle, die in die vorgesehenen Säcke/Tüten einfüllbar sind und diese durch ihre Beschaffenheit, Masse oder Temperatur nicht zerstören, üblicherweise Verpackungen, Papier/Pappe oder Restmüll
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Abfallsäcke sind nicht an bestimmte technische Entsorgungssysteme gebunden.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	keine
PERSONALBEDARF	Die Sammlung von Abfallsäcken wird in der Regel durch eine Sammelmannschaft, bestehend aus einem Fahrer und 1 bis 3 Ladern, durchgeführt. Im Restabfallbereich werden Säcke oft zur Bereitstellung einmalig anfallender überdurchschnittlicher Abfallmengen zusätzlich zum regulären Abfallbehälter genutzt
FLÄCHENBEDARF	Der Platzbedarf für Abfallsäcke ist gering. Die Abfallsäcke sind möglichst wettergeschützt und für Passanten ungefährlich bereitzustellen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Kosten für Abfallsäcke sind gering. Sie betragen in Deutschland je nach Qualität und Stückzahl zwischen 0,16 und 0,50 €. Optional können Sackständer zum Einsatz kommen, der Stückpreis dafür variiert stark und kann in Deutschland bis ca. 60 EUR betragen. Im Vergleich zur Entsorgung über Abfallbehälter muss mit zusätzlichen Aufwendungen für den Verkauf/die Verteilung der Säcke gerechnet werden.
BETRIEBSKOSTEN	- keine laufenden Kosten oder Kosten für Reparatur und Wartung - Vertriebskosten in Deutschland: 0,05 EUR pro Sack
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die Sammlung von kommunalen Abfällen, insbesondere von Leichtverpackungen, wird in vielen Gebieten systemlos durchgeführt. Die Nutzung von verschiedenen Abfallsäcken, -boxen und -tüten ist daher weitverbreitet.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Herstellung und Großvertrieb von Abfallsäcken erfolgt in der BRD durch eine Vielzahl mittelständischer Betriebe. Beispiele sind: - TransPak AG, Solms www.transpak.de - WBV Eselgrimm GmbH und Co., Oelde www.wbv-worldwide.com
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
Referenz für anwendbare Normen: - **DIN EN ISO 527 1-4** Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften	

BIG BAGS

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammlung von örtlich temporär anfallenden festen, trockenen Abfällen von schüttfähiger bzw. sehr kleinstückiger Konsistenz, gelegentlich auch sperrigen Material

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X[1]
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X[2]	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien	X	Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X	Bau- und Abbruchabfälle	X
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X[3]	z.B. asbesthaltige Abfälle, die aufgrund der Staubgefahr entsprechend der Sicherheitshinweise (u.a. adäquate Abdichtung) zu sammeln und transportieren sind			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X				
Andere Abfallarten	X	Grundsätzlich für alle festen Abfallarten, die an vielen dicht beieinander liegenden Orten kontinuierlich in geringem Umfang anfallen, möglich			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
keine

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
uneingeschränkt, nicht behälterabhängig

spezielle Gesundheitsrisiken:
eventuell Gesundheitsrisiken durch Staubentstehung beim Befüllen und Bewegen möglich; Risiko des unkontrollierten Austritts des Inhaltes durch Riss in Behälterwand

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Big Bags können problemlos aufgestellt werden, jedoch ist dabei zu beachten, dass ein gefüllter Big Bag in der Regel nur mit technischen Hilfsmitteln, also mit Kran oder Gabelstapler, bewegt werden kann.

Klimatische Gegebenheiten:
keine Einschränkungen aber Möglichkeit des Anfrierens am Boden in Frostlagen und bei langen Standzeiten

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Big Bags sind Gefäße aus verstärktem Stoff, die zur Sammlung und vorübergehender Lagerung von klein dimensionierten, festen Abfällen dienen. Sie sind insbesondere für kleinstückige Abfälle in einer Anfallmenge geeignet, die zwischen Sack und Absetzcontainer liegt. Die Ausführung von Big Bags erfolgt in Ein- als auch Mehrwegvarianten.

[1] Getrenntsammlung mit Big Bags von Grünabfällen/Grünschnitt/Parkabfällen und Abfällen der Laubsammlungen
[2] nur bei sehr geringem Feuchtegehalt
[3] als Sammelbehälter für gefährliche Abfälle nur einsetzbar, wenn durch die Sammlung und den Transport kein Risiko für Mensch und Umwelt eintritt und Sicherheitshinweisen gefolgt wird

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Zum Bewegen befüllter Big Bags (Umsetzen, Aufladen) wird i.d.R. Zusatztechnik (Kran oder Gabelstapler) benötigt.
BESONDERE VORTEILE	- geringe Investitionskosten - flexible Lagerung und Bereitstellung von stark variierenden Abfallmengen - geringer Platzbedarf für Lagerung und Nutzung - keine Spezialabfuhrfahrzeuge erforderlich
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- außer für trockene, kleinstückige Materialien nur eingeschränkt geeignet - nach Verdichtung ist die Entleerung teilweise problematisch
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Die Sammlung trockener Abfälle, insbesondere von Bauabfällen, über Big Bags ist weltweit verbreitet. Die gängige Größe hat eine Grundfläche von 900 x 900 mm bei unterschiedlicher Höhe und verschiedenen maximalen Füllmassen zwischen 300 und 1.500 kg. Die folgende Abbildung zeigt einen Big Bag, der asbesthaltige Abfälle beinhaltet. Aufgrund der Gefährdung durch Staubbildung sind auf dem Big Bag entsprechende Verweise auf Sicherheitsregeln gedruckt. Abbildung 12: Big Bag mit asbesthaltiger Füllung (links) und Hinweis auf Sicherheitsvorschrift (rechts) (Bildquellen: Harald Heinritz, www.abfallbild.de) Big Bags sind erhältlich in den Sonderformen: - mit Ein- und Auslauf - mit/ohne Abdichtung - für verschiedene Korngrößen - für verschiedene maximale Sammelmassen
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Der Big Bag wird besonders für kleinstückige Abfälle in einer Anfallmenge die zwischen dem Volumen von Sack und Absetzcontainer liegt (Massebereich 300–1.500 kg), angewendet.
ANWENDUNGS-BEREICH	- normallerwiese nicht als Dauererfassungslösung bzw. Standardabfuhrbehältnis in Nutzung sondern bei Anfall mittlerer Abfallmengen in kurzer Zeit und bei begrenztem Platzdargebot.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Big Bags können als eigenständige Erfassungslösung oder als Ergänzung zu anderen Erfassungsbehältnissen eingesetzt werden (z.B. auf Baustellen). Big Bags werden häufig auch zur Anlieferung von industriellen Rohstoffen verwendet. Ggf. kann der entleerte Big Bag zur Aufnahme von Abfällen dienen.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
PERSONALBEDARF	Der Fahrer des Sammelfahrzeugs übernimmt die Aufgabe des Be- und Entladens. Die Entleerung an der Entsorgungsanlage wird ggf. auch von ihm oder Anlagenpersonal durchgeführt. Ein Fahrer je Sammelfahrzeug für Big Bags.
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	Das Bewegen von befüllten Big Bags (Umsetzen, Aufladen) kann i.d.R. nur mit Kran oder Gabelstapler erfolgen.
FLÄCHENBEDARF	Der Platzbedarf für Big Bags ist gering. Da er nach Befüllung nur noch mit technischen Hilfsmitteln bewegt werden kann, sollte er aber am Ort der Bereitstellung bereits für den Abtransport bereit aufgestellt werden, was dort temporäre Behinderungen verursachen kann.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Kosten für Big Bags sind relativ gering. Sie betragen je nach Qualität und Stückzahl in Deutschland zwischen 4,50 und 13 EUR. Optional kann ein Big Bag-Ständer zum Einsatz kommen.
BETRIEBSKOSTEN	- Laufende Kosten: bei Mehrwegeinsatz bis zu 30 % des Beschaffungswertes pro Weg
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Im Bauwesen, besonders in der Rekonstruktion, wird der Big Bag häufig zur Abfallerfassung verwendet.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Herstellung und Großvertrieb von Big Bags erfolgt in der BRD durch eine Vielzahl mittelständischer Betriebe. Beispiele für Hersteller- und Vertriebsfirmen sind: - Buhck Umweltservices GmbH & Co. KG www.buhck.de - HIRSCH Bremer Reinigung und Recycling GmbH www.hirsch-gmbh.com - akcensis GmbH, Wesel www.ixkes.de/big-bag - ams Umweltschutz GmbH, Berlin www.amsberlin.de
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
Referenz für anwendbare Normen: - **DIN 55461-2:1991-07:** Großpackmittel; Flexible IBC; Maße	

ABFALLSAMMELFAHRZEUG MIT HECKBELADUNG („HECKLADER“)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammelfahrzeug mit Heckbeladung für die Sammlung aller haushaltsnah zu erfassenden kommunalen Abfälle

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X[1]	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X[4]	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Alle Abfallarten, die kontinuierlich in einer relativ kurzen Zeit flächendeckend anfallen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Keine, Nutzung standardisierter Sammelbehälter für effiziente Sammlung, aber technisch modifiziert auch für die systemlose Sammlung, z.B. von Sperrmüll und Säcken, geeignet

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
Verpressung im Fahrzeug führt zur Vermischung und zu einem möglichen Zusammenbacken der geladenen Abfälle, eine nachträgliche Trennung wird erschwert

spezielle Schutzerfordernisse / Gesundheitsrisiken:
Lader: Bei einer gleichzeitigen Sammlung auf beiden Straßenseiten ist häufiges Queren der Fahrbahn erforderlich. Deshalb ist diese Sammelmethode, soweit dies die Arbeitsschutzvorschriften überhaupt zulassen, nur in Zonen mit geringem Verkehrsaufkommen zu empfehlen.
Fahrer: Sofern der Fahrer auch als Lader fungiert, besteht erhöhte Unfallgefahr beim Ein- und Aussteigen auf der Fahrerseite. Risiken können durch Einsatz von durchstiegsfähigen Fahrerhäusern minimiert werden.

Andere Aspekte
Es besteht die Möglichkeit der Ausstattung des Fahrzeuges mit Bordcomputertechnik zur Erfassung der einzelnen Entleerungen und weiterer Sammeldaten (z.B. Entleerungsgewicht) für ein Leistungsmonitoring und zur späteren Gebührenberechnung. Hierbei kommt es insbesondere zur Nutzung der Identtechniken (siehe auch Datenblatt „Behälteridentifizierung“)

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Für eine effektive Sammlung mit Hecklader ist der Sammelbehälter so bereitzustellen, dass er barrierefrei durch den/die Lader vom Standplatz zum Sammelfahrzeug und zurück transportiert werden kann. Konkrete Maßnahmen dafür sind beispielsweise die Auswahl/Anlage eines geeigneten Behälterstandplatzes und die Verhinderung der Verparkung zwischen Straße und Standplatz.

Klimatische Gegebenheiten:
Keine Einschränkungen in Bezug auf die Anwendbarkeit

---

[4] Sammelsystem nur für haushaltsnah zu erfassende Abfälle

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Der Hecklader ist das am weitesten verbreitete Standard-Sammelfahrzeug für verschiedene Abfallarten. Eine Reihe von speziellen Konstruktionsvarianten ist dafür verfügbar. Das Fahrzeug wird für die Aufnahme und den Kurzstreckentransport von Abfällen unter verschiedenen Sammelbedingungen eingesetzt. Der Abfall wird händisch oder per Lifter in die Ladewanne geladen. Ein Verdichtungsmechanismus fördert und verdichtet den Abfall aus der Ladewanne in den Aufbau-Sammelbehälter des Fahrzeugs. Wenn der Aufbau voll ist, wird das Heckteil an der Entsorgungs-/Behandlungsanlage geöffnet, um den Abfall zu entladen.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

- zur Entleerung von Sammelbehältern eine Kamm-/Diamondschüttung

BESONDERE VORTEILE

- hohe Ladekapazität durch Verpressung des Abfalls
- Sammlung vieler Abfallarten möglich.
- Nutzung in verschiedenen Perioden der Abfallerfassung (Sammlung und Kurzstreckentransport)

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- Relativ hohe Investition pro Fahrzeug
- mindestens 2 Personen zur Bedienung

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Grundkomponenten des Heckladerfahrzeuges sind:
- Chassis
- Aufbau (Fahrzeugcontainer) mit Kompaktiereinrichtung
- Schüttung
- Lifter

Von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung sind zulässiges Nutzvolumen und zulässige Nutzlast, woraus sich die Anzahl der Entleerfahrten bestimmt. Der Lifter ist mit einer Aufnahme für Behälter mit Kamm/Diamond ausgerüstet. Andere bewegliche Behältertypen oder Säcke können ebenfalls aufgenommen werden.

Abbildung 13: Standard-Hecklader mit geteilter Kammschüttung (links) und Nahaufnahme einer Kammschüttung (rechts) (Bildquelle links: Petra Hoeß, FABION Markt + Medien, www.abfallbild.de / Bildquelle rechts: MOBA GmbH, www.moba.de)

Kompaktiereinrichtung und Lifter können automatisch, halbautomatisch oder manuell bedient werden. Die Verdichtung des Abfalls nach dem Ladeprozess erfolgt linear mittels Pressplatte oder durch Rotation in einer Drehtrommel. Die Vorteile des Drehtrommelfahrzeugs liegen in der geringen Eigenmasse und der geringen Fahrzeuglänge. Die Presseffizienz ist jedoch nur bei selbst-kompaktierenden Fraktionen Restabfall und biologischer Abfall gut, so dass der Einsatz weitgehend auf diese Abfallarten limitiert ist.

Abbildung 14: Zweikammerfahrzeug zur parallelen getrennten Sammlung von 2 Fraktionen (links) und Drehtrommelfahrzeug mit low-entry Fahrerhaus „Econic“ (rechts) (Bildquellen links, rechts: Intecus GmbH)

Weitere konstruktive Besonderheiten:
2 oder 3 Achsen, Luft- oder Stahlfederung, mitlenkende Nach- oder Vorlaufachse, Trittbretter zur externen Mitfahrt

Abbildung 15: Entleerung von Hecklader über Pressplatte (links, rechts) (Bildquelle links: Intecus GmbH, Bildquelle rechts: Petra Hoeß, FABION Markt + Medien, www.abfallbild.de)

STOFFFLUSS UND -MENGEN	Die Nutzlast ist limitiert durch die zulässige Gesamtmasse des Fahrzeugs und den Fahrzeugcontainertyp.
ANWENDUNGS-BEREICH	Zulässiges Ladevolumen und -masse von Heckladern bewegen sich im Bereich von 5–27 m³ und 6–12 Mg.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Die Fahrzeuge können technisch so ausgestattet werden, dass der Sammelvorgang überwacht (GPS) und datenmäßig aufgezeichnet (Readersystem für Identtechnik, Datenbus, Bordcomputer) werden kann. Damit ist der Einsatz im Zusammenhang mit einer Behälteridentifizierung möglich (siehe auch Datenblatt "Behälteridentifizierung“).
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	Folgende Zusatzinstallationen für Sonderaufgaben stehen unter anderem zur Verfügung: - Kran zur Entleerung von Depotcontainern - Kippeinrichtung zur direkten Entleerung von Sammelbehältern in Abrollcontainer
PERSONALBEDARF	1 Fahrer und bis zu 5 Lader (meist 1–2 Lader)

FLÄCHENBEDARF	In der Regel werden die Abfälle am Tag der voraussichtlichen Abholung am Straßenrand bereitgestellt. Neben den vorzusehenden Standplätzen für die Abfallsammelbehälter bedarf es einer Anfahr- und Haltemöglichkeit für das Fahrzeug. In verdichteter Bebauung werden die Abfallbehälter oder die systemlos gesammelten Abfälle häufig auf dem Grundstück durch das Ladepersonal abgeholt. Weiterhin ist Parkraum auf dem Betriebshof vorzusehen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investitionskosten (3-Achser, 10 Mg Nutzlast) belaufen sich auf 140.000–190.000 Euro.
BETRIEBSKOSTEN	Laufende Kosten entstehen für - Reparatur und Wartung: ~11 % der Investitionskosten pro Jahr - Personal: 2–6 Personen (häufigste Variante ist der Betrieb mit einem Fahrer und einem oder zwei Lader(n)
ANDERE RELEVANTE ASPEKTE	
ARBEITSSCHUTZ	Bei Nutzung der Fahrzeuge sind besondere Arbeitsschutzaspekte zu beachten. In Deutschland existieren hierfür u.a. - Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – Abfallsammlung Schutzmaßnahmen (TRBA 213) - GUV-Regel: Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten der Abfallwirtschaft, Teil 1: Sammlung und Transport von Abfall
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Der Hecklader ist das am weitesten verbreitete Standard-Sammelfahrzeug für verschiedene Abfallarten. Trotz des sich ständig ausweitenden Angebotes an verschiedenen Fahrzeugtypen finden Hecklader unverändert guten Absatz.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Beispiele für Herstellerfirmen von Fahrzeugkomponenten und Komplettlösungen sind: Chassis: - Daimler AG, Stuttgart, www.mercedes-benz.de - MAN Truck & Bus AG, München, www.truck.man.eu Aufbau und Lifter: - HS Fahrzeugbau GmbH, Emstek www.hs-fahrzeugbau.com - ZÖLLER-KIPPER GmbH, Mainz www.zoeller-kipper.de - FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Osterholz-Scharmbeck www.faun.com
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	

Eine Firmenauflistung und weitere Informationen ist erhältlich über:
- Verband der Arbeitsgeräte- und Kommunalfahrzeug- Industrie e.V., Berlin, www.vak-ev.de
- Gemeinsame Arbeitsgruppe von VKU und BDE Fahrzeuge und Behälter - Technische Übersicht und Standards www.vku.de/abfallwirtschaft.html

Referenz für anwendbare Normen:
Viele Konstruktions- und Sicherheitsmerkmale sind in den folgenden Dokumentationen standardisiert
- **DIN EN 1501, Blätter 1, 4 und 5:** Abfallsammelfahrzeuge und die dazugehörigen Schüttungen

ABFALLSAMMELFAHRZEUG MIT FRONTBELADUNG („FRONTLADER“)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Sammelfahrzeug mit Frontbeladung für die Sammlung der meisten kommunalen und gewerblichen Abfälle, die in Umleerbehältern (siehe auch Datenblatt "Mobile Abfallsammelbehälter") bereitgestellt werden

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X				
Andere Abfallarten					

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung: keine

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
Verpressung im Fahrzeug führt zur Vermischung und zu einem möglichen Zusammenbacken der geladenen Abfälle, eine nachträgliche Trennung wird erschwert

Andere Aspekte
Es besteht die Möglichkeit der Ausstattung des Fahrzeuges mit Bordcomputertechnik zur Erfassung der einzelnen Entleerungen und weiterer Sammeldaten (z.B. Entleerungsgewicht) für ein Leistungsmonitoring und zur späteren Gebührenberechnung. Hierbei kommt es insbesondere zur Nutzung der Identtechniken (siehe auch Datenblatt „Behälteridentifizierung“).

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Für eine effektive Sammlung ist der Sammelbehälter so aufzustellen, dass er für das Sammelfahrzeug erreichbar und ohne Verrücken durch den Lifter gefasst werden kann. Eine besondere Eignung ist für Sammelgebiete mit offener Bebauungsstruktur (vor allem ländliche Gebiete) gegeben. Im innerstädtischen Raum, insbesondere mit hoher Dichte an parkenden Fahrzeugen und begrenzter Verfügbarkeit von Stellflächen am Straßenrand ist die Einsatzfähigkeit eingeschränkt.

Klimatische Gegebenheiten:
Keine Einschränkungen in Bezug auf die Anwendbarkeit

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Der Frontlader ist für die Sammlung von verschiedenen Abfallarten im Umleerverfahren (Entleerung des bereitgestellten Sammelbehältnisses in eine andere Aufbewahrungseinheit und Belassen des entleerten Behältnisses am Sammelort) geeignet und weit verbreitet. Im Vergleich zum Hecklader liegen seine Vorteile in der Einmannbedienung für Sammlung und Transport. Frontlader sind in der Regel auf die Umleerung von 4-rädrigen Müllsammelbehältern bis 5 m³ Aufnahmevolumen ausgelegt. Der Frontlader wird in der Regel nach dem logistischen Knotenprinzip in Sammelgebieten mit geringer Behälterdichte bei Bereitstellung voluminöser Behälter, insbesondere für die Sammlung gewerblicher Abfälle, eingesetzt. Einige Frontlader sind mit einem Wechselbehältersystem (siehe auch Datenblatt "Wechselcontainer") ausgestattet.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- zur Sammlung sind standardisierte Sammelbehälter, z.B. des Typs MGB (siehe auch Datenblatt "Mobile Abfallsammelbehälter") zu verwenden, um deren Aufnahme durch den Frontlader zu ermöglichen - Sammelbehältnisse müssen an dem Fahrzeug zugänglicher Stelle bereitstehen
BESONDERE VORTEILE	- Durchführung der Sammlung mit nur einer Person Besatzung - gute Sicht auf Umleervorgang - hohe Ladekapazität durch Kompaktierung des Abfalls im Fahrzeug - Nutzung in verschiedenen Perioden der Abfallerfassung (Sammlung und Kurzstreckentransport)
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- relative hohe Investitionskosten - nicht alle Arten von Abfällen aus Haushalten können damit gesammelt werden - eingeschränkte bzw. nicht effiziente Einsatzmöglichkeit in stark verbauten und durch parkenden Verkehr beeinträchtigten Gebieten - Bereitstellung der Sammelbehälter an zugänglicher Stelle notwendig
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Grundkomponenten des Heckladerfahrzeuges sind Chassis, Aufbau (Fahrzeugcontainer) mit Kompaktiereinrichtung, Schüttung und Lifter. Zum Ladevorgang fährt der Frontlader die bereitgestellten Sammelbehälter bis in Reichweite seines Lifters an. Der Lifter befindet sich hinter dem Fahrerhaus und besteht aus einem Teleskoparm und der Schüttung, die z.B. als Kralle, Kamm oder Diamond ausgelegt sein kann. Der Lifter wird manuell oder automatisch mittels Joystick vom Fahrersitz aus bedient. Während des Ladens wird der Sammelbehälter mit dem Lifter in die Kompaktiereinheit eingefüllt. Die Kompaktierung der geladenen Abfälle erfolgt in der Regel durch zwei hydraulisch betriebene gegenläufige Schnecken. Sie können manuell, halb- oder vollautomatisch betrieben werden. Der Kompaktierungsmechanismus verpresst die Abfälle und transportiert sie in den Fahrzeugcontainer. Wenn der Fahrzeugcontainer gefüllt ist, wird der Inhalt meist über eine Klappe in der Rückwand des Fahrzeugcontainers entleert. Für einige Wechselcontainersysteme existieren alternative Entleerungsoptionen. Abbildung 16: Frontlader mit Festaufbau (Bildquellen links, rechts: Intecus GmbH)
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Die Nutzlast ist limitiert durch die zulässige Gesamtmasse des Fahrzeugs und den Fahrzeugcontainertyp.
ANWENDUNGS-BEREICH	Das Fahrzeug wird für die Aufnahme und den Kurzstreckentransport von Abfällen unter verschiedenen Sammelbedingungen eingesetzt. Zulässiges Ladevolumen und -masse von Frontseitenladern betragen bis zu 34 m³ und 12 Mg.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Der Lifter ist mit einer Aufnahme für standardisierte Abfallbehälter ausgerüstet. Andere bewegliche Behältertypen oder Säcke (siehe auch Datenblatt "Nichtstandardisierte Behältnisse, Abfallsack") können nur mit Spezialausrüstung geleert werden.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	keine
PERSONALBEDARF	1 Fahrer, der gleichzeitig als Lader fungiert
FLÄCHENBEDARF	Der Frontlader wird meist bei der Entsorgung von MGB 1.100 und größer eingesetzt. Da große Behälter in der Regel schwierig zu bewegen sind, ist eine direkte Anfahrmöglichkeit für den Frontlader an den Behälter sinnvoll. Weiterhin ist Parkraum auf dem Betriebshof vorzusehen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	- Investitionskosten (3 Achsen, 20 Mg Nutzlast, Festaufbau) 140.000–180.000 Euro - Zusatzkosten für Wechselaufbau: ca. 20.000 Euro
BETRIEBSKOSTEN	Laufende Kosten entstehen für - Reparatur und Wartung: ~11 % der Investitionskosten pro Jahr
ANDERE RELEVANTE ASPEKTE	
ARBEITSSCHUTZ	Bei Nutzung der Fahrzeuge sind besondere Arbeitsschutzaspekte zu beachten. In Deutschland existieren hierfür u.a. - Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – Abfallsammlung Schutzmaßnahmen (TRBA 213) - GUV-Regel: Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten der Abfallwirtschaft, Teil 1: Sammlung und Transport von Abfall

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT	
REFERENZANWENDUNGEN	Frontlader sind häufig und weltweit eingesetzte Fahrzeugtypen für die Sammlung von verschiedenen Abfallarten im Umleerverfahren.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Beispiele für Herstellerfirmen von Fahrzeugkomponenten und Komplettlösungen sind: Chassis: - Daimler AG, Stuttgart, www.mercedes-benz.de - MAN Truck & Bus AG, München, www.truck.man.eu Aufbau und Lifter: - HS Fahrzeugbau GmbH, Emstek www.hs-fahrzeugbau.com - FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Osterholz-Scharmbeck www.faun.com - Schmidt Kommunalfahrzeuge GmbH, Brahmenau www.schmidt-kommunal.de

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Eine Firmenauflistung und weitere Informationen ist erhältlich über:
- Verband der Arbeitsgeräte- und Kommunalfahrzeug- Industrie e.V., Berlin, www.vak-ev.de
- Gemeinsame Arbeitsgruppe von VKU und BDE Fahrzeuge und Behälter - Technische Übersicht und Standards www.vku.de/abfallwirtschaft.html

Referenz für anwendbare Normen:
- **DIN EN 1501, Blätter 3, 4 und 5:** Abfallsammelfahrzeuge und die dazugehörigen Schüttungen

ABFALLSAMMELFAHRZEUG MIT SEITENBELADUNG (“SEITENLADER“)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Fahrzeug mit seitlichem Liftersystem zur haushaltsnahen Sammlung der meisten Arten von Abfällen, die in Umleerbehältern (siehe auch Datenblatt "mobiler Abfallsammelbehälter") bereitgestellt werden

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Alle Abfallarten, die kontinuierlich in einer relativ kurzen Zeit flächendeckend anfallen und in Behältern passenden Standards erfasst und fahrzeugzugänglich bereitgestellt werden			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
keine, aber Nutzung standardisierter Sammelbehälter

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
Verpressung im Fahrzeug führt zur Vermischung und zu einem möglichen Zusammenbacken der geladenen Abfälle. Eine nachträgliche Trennung wird erschwert.

spezielle Schutzerfordernisse / Gesundheitsrisiken:
Passanten: Mit sogenannten „echten“ Seitenladern werden die Behälter ohne direkte Beobachtungsmöglichkeit des Ladevorgangs geleert. Das Risiko der Verletzung von Passanten ist durch zusätzliche Spiegel und Kameras zu minimieren.
Fahrer: Der Fahrer fungiert gleichzeitig als Lader. Damit sind Erholungsphasen während der Sammeltour wie bei der Sammlung mittels Hecklader nicht möglich. Unerfahrene Fahrer haben den Drang, sich im Fahrzeug so zu bewegen, dass sie den Ladevorgang direkt überblicken können. Dies kann unter anderem zu Überdehnungen im Bewegungsapparat führen.

Andere Aspekte
Es besteht die Möglichkeit der Ausstattung des Fahrzeuges mit Bordcomputertechnik zur Erfassung der einzelnen Entleerungen und weiterer Sammeldaten (z.B. Entleerungsgewicht) für ein Leistungsmonitoring und zur späteren Gebührenberechnung. Hierbei kommt es insbesondere zur Nutzung der Identtechniken (siehe auch Datenblatt „Behälteridentifizierung“).

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Für eine effektive Sammlung mit Seitenlader ist der Sammelbehälter so bereitzustellen, dass er ohne Verrücken durch den Lifter des Sammelfahrzeugs gefasst werden kann. Konkrete Maßnahmen dafür sind beispielsweise die Verhinderung der Verparkung zwischen Straße und Standplatz und die Ausrichtung des Schüttkamms des Behälters hin zur Straßenmitte. Aufgrund der einfacheren Umsetzbarkeit sind im Allgemeinen ländliche Gebiete für den Seitenladereinsatz besser geeignet.
In einigen Kommunen werden Seitenlader mit doppelter Kammschüttung eingesetzt. Dafür sind jeweils 2 Behälter direkt nebeneinander bereitzustellen, die dann in einem Zug geleert werden.
Der Seitenlader kann die Sammelbehälter nur an einer Seite aufnehmen, in den meisten Staaten rechts. Um eine zweimalige Befahrung der Straße zum Zwecke der Sammlung zu vermeiden, sind die zu entleerenden Behälter auf einer Seite der Straße bereitzustellen.

Klimatische Gegebenheiten:
Keine Einschränkungen in Bezug auf die Anwendbarkeit.

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Seitenlader-Fahrzeuge werden für die Aufnahme und den Kurzstreckentransport von verschiedenen Abfällen unter verschiedenen Sammelbedingungen eingesetzt, am häufigsten für die haushaltsnahe Sammlung, in Deutschland insbesondere in ländlichem Raum bzw. in Sammelgebieten mit geringer Behälterdichte. Sein Vorteil gegenüber dem Hecklader ist, dass lediglich eine Person für Transport und Ladung benötigt wird. Dafür ist eine entsprechende Bereitstellung der Behälter am Straßenrand ist erforderlich.

Prinzipiell ist zwischen zwei verschiedenen Seitenlader-Varianten zu unterscheiden: Beim “echten” Seitenlader werden alle Prozesse ausschließlich vom Fahrersitz aus gesteuert, beim “unechten” Seitenlader oder “Einzelgänger” müssen die Sammelbehälter manuell bewegt und der Lifter manuell gesteuert werden. In Deutschland hat sich die „echte“ Seitenladertechnik durchgesetzt.

Der Lifter befindet sich hinter dem Fahrerhaus und besteht aus einem Teleskoparm mit mindestens zwei Metern Reichweite und der Schüttung, die z.B. als Kralle, Kamm, Diamond ausgelegt sein kann. Für den Lifter sind verschiedene Automatisierungsgrade verfügbar. Seitenlader sind teilweise mit einem Wechselbehältersystem (siehe auch Datenblatt "Wechselcontainer") ausgestattet.

BESONDERE VORTEILE

- Hohe Ladekapazität durch Kompaktierung des Abfalls im Fahrzeug
- Nutzung in verschiedenen Perioden der Abfallerfassung (Sammlung und Kurzstreckentransport)
- Im Vergleich zum Hecklader nur eine Person als Besatzung notwendig (siehe Datenblatt „Hecklader“)

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- relative hohe Investitionskosten im Vergleich zu Heck- und Frontladern (siehe auch Datenblätter „Hecklader“, „Frontlader“)
- Sammelbehälter müssen in geeigneter Position am Straßenrand bereitgestellt werden

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Grundkomponenten des Heckladerfahrzeuges sind Chassis, Aufbau (Fahrzeugcontainer) mit Kompaktiereinrichtung, Schüttung und Lifter.

Die „echten“ Seitenlader sind in der Regel auf die Umleerung von 2 rädrigen MGB ausgelegt, unechte“ Seitenlader können meist alle genormten Abfallbehältnisse bis 1.100 l kippen. Während des Ladevorgangs wird der Sammelbehälter mit dem Lifter in die Kompaktiereinheit eingefüllt. Der Lifter wird manuell oder automatisch mittels Joystick vom Fahrersitz aus bedient und ist mit einer Aufnahme für Behälter mit Kamm/ Diamond oder Kralle ausgerüstet. Andere bewegliche Behältertypen oder Säcke können nur mit Spezialausrüstung geleert werden. Der Kompaktierungsmechanismus verpresst die Abfälle und transportiert sie in den Fahrzeugcontainer.

Die Kompaktierung wird in der Regel durch zwei hydraulisch betriebene gegenläufige Schnecken ausgeführt. Sie können manuell, halb- oder vollautomatisch betrieben werden. Wenn der Fahrzeugcontainer gefüllt ist, wird der Inhalt meist über eine Klappe in der Rückwand des Fahrzeugcontainers entleert. Für einige Wechselcontainersysteme existieren alternative Entleerungsoptionen.

Weitere konstruktive Optionen des Seitenladers sind:
- meist dreiachsiges Fahrzeug mit selbstlenkender Vor- oder Nachlaufachse für bessere Manövrierfähigkeit,
- Pneumatische oder Stahlfederung,
- Low-entry Fahrerhaus für häufiges ein- und aussteigen

	Abbildung 17: „Echte“ Seitenlader (links, rechts) (Bildquellen links & rechts: Intecus GmbH)
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Die Nutzlast ist limitiert durch die zulässige Gesamtmasse des Fahrzeugs und den Fahrzeugcontainertyp.
ANWENDUNGS-BEREICH	Zulässiges Ladevolumen und -masse von Seitenladern bewegen sich im Bereich von 5–29 m³ und 6–12 Mg.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Mit Spezialausrüstung ist es möglich, bewegliche Behältertypen, die nicht über Kamm/Diamond oder Kralle zur Aufnahme verfügen, einzusammeln. Die Fahrzeuge können zudem so ausgestattet werden, dass der Sammelvorgang überwacht (GPS) und datenmäßig aufgezeichnet (Readersystem für Identtechnik, Datenbus, Bordcomputer) werden kann. Damit kann ein Einsatz im Zusammenhang mit einer Behälteridentifizierung erfolgen (siehe auch Datenblatt "Behälteridentifizierung").
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- keine
PERSONALBEDARF	1 Fahrer und eventuell ein oder mehrere Lader
FLÄCHENBEDARF	In der Regel werden die Abfälle am Tag der voraussichtlichen Abholung am Straßenrand bereitgestellt. Neben den vorzusehenden Standplätzen für die Abfallsammelbehälter bedarf es einer Anfahr- und Haltemöglichkeit für das Fahrzeug sowie Manövrierraumes für den Teleskoparm am Ladepunkt. Weiterhin ist Parkraum für das Fahrzeug auf dem Betriebshof vorzusehen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investitionskosten für einen Seitenlader belaufen sich auf 160.000–220.000 Euro.
BETRIEBSKOSTEN	Laufende Kosten entstehen für - Reparatur und Wartung: ~11 % der Investitionskosten pro Jahr - Personal: 1–2 Personen (häufigste Variante ist der Betrieb mit einem Fahrer/Lader)
ANDERE RELEVANTE ASPEKTE	
ARBEITSSCHUTZ	Bei Nutzung der Fahrzeuge sind besondere Arbeitsschutzaspekte zu beachten. In Deutschland existieren hierfür u.a. - Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – Abfallsammlung Schutzmaßnahmen (TRBA 213) - GUV-Regel: Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten der Abfallwirtschaft, Teil 1: Sammlung und Transport von Abfall

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN	Seitenlader-Fahrzeuge sind nicht generell weit verbreitet aber spielen eine durchaus signifikante Rolle für die Sammlung haushaltsnah zu erfassender Abfälle, insbesondere in ländlicher Struktur.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Beispiele für Herstellerfirmen von Fahrzeugkomponenten und Komplettlösungen sind: Chassis: Daimler AG, Stuttgart, www.mercedes-benz.de - MAN Truck & Bus AG, München, www.truck.man.eu Aufbau und Lifter: - HS Fahrzeugbau GmbH, Emstek www.hs-fahrzeugbau.com - FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Osterholz-Scharmbeck www.faun.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Eine Firmenauflistung und weitere Informationen sind erhältlich über:
- Verband der Arbeitsgeräte- und Kommunalfahrzeug- Industrie e.V., Berlin, www.vak-ev.de
- Gemeinsame Arbeitsgruppe von VKU und BDE Fahrzeuge und Behälter – Technische Übersicht und Standards www.vku.de/abfallwirtschaft.html

Referenz für anwendbare Normen:
Viele Konstruktions- und Sicherheitsmerkmale sind in den folgenden Dokumentationen standardisiert
- **DIN EN 1501, Blätter 1, 3 und 5:** Abfallsammelfahrzeuge und die dazugehörigen Schüttungen

SAUGSYSTEM (PNEUMATISCHE ABFALLSAMMLUNG)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- automatisierte Sammlung, Lagerung und Transport von Abfällen aus Haushalten, öffentlichen Einrichtungen und gewerblichen Quellen

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X	z.B. infektiöse Abfälle in Krankenhäusern			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Alle Arten von kleinstückigen Abfällen die an vielen Stellen kontinuierlich in geringen Mengen anfallen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
prinzipiell nein, aber Kleinstückigkeit der Abfälle muss gegeben sein bzw. vorab herbeigeführt werden; für sperrige Abfälle muss eine konventionelle Entsorgung oder ausreichende Zerkleinerung ermöglicht werden

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
keine Einschränkungen

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

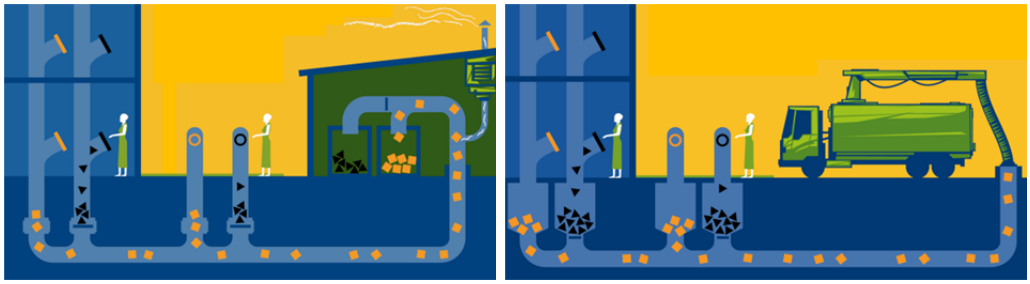
Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Das Sammelsystem eignet sich besonders in dichter Wohnbebauung, in Krankenhäusern, Flughäfen, Bürohäusern oder in Gegenden mit hoher Sensibilität gegenüber Lärm- oder Sichtbelästigungen durch konventionelle Entsorgungssysteme.

Klimatische Gegebenheiten:
keine Einschränkungen in Bezug auf die Anwendbarkeit

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Die pneumatische Abfallsammlung dient der effizienten, zentralen Erfassung von Abfällen in einem Gebiet mit vielen kleinen, dicht beieinanderliegenden Anfallstellen. Das System besteht aus den Einwurfschächten, den Transportleitungen, dem/den Sammelbehälter(n) zur Zwischenlagerung und dem Modul zur Erzeugung des Unterdrucks und der Reinigung der Transportluft. Hauptgründe für eine Anwendung sind der geringe Flächenbedarf und der komfortable, hygienische, unterirdische Abtransport der Abfälle vom Anfallort, eine Zwischenlagerung von Abfällen am Anfallort entfällt. In bestimmten Bereichen wird das System auch aus ästhetischen Gründen (historische Stadtzentren) oder aufgrund von Gegebenheiten, die eine konventionelle Sammlung schwierig machen (z.B. Verkehrssituation) genutzt.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- sperrige Abfälle, insbesondere Altholz und Kartonagen, müssen entweder manuell vorzerkleinert oder konventionell entsorgt werden - Installation als Gesamtsystem erforderlich

BESONDERE VORTEILE	- geringe Flächeninanspruchnahme: dies gilt sowohl für die Gestaltung des einzelnen Gebäudes wie für das gesamte (Wohn-)Gebiet - Gute Zugänglichkeit: die Platzierung der Aufgabemöglichkeiten des Abfalls (Einwurfmulden) ist unabhängig von der Erreichbarkeit durch Abfallsammelfahrzeuge - Ästhetik - hoher Nutzungskomfort und hygienische Lösung durch Kapselung - geringe Aufwendungen für Sammlung und Transport, Vermeidung von Sammelverkehr - für verursachergerechte Abrechnung geeignet
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- hohe planerische und bauliche Aufwendungen - langer Zeitraum zur Implementierung
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Prinzipiell kann zwischen einem stationären System (siehe Abbildung 18) mit Zwischenspeicherung in einem Abrollcontainer und dem mobilen System mit Zwischenspeicherung in einem Bunker und Abfuhr mit einem Saugfahrzeug (siehe Abbildung 18) unterschieden werden. Die Einwurföffnungen in Form eines Schleusenzuganges können sowohl im Gebäude oder auch im öffentlichen Raum installiert sein. Abbildung 18: Pneumatische Abfallsammlung - stationäres System mit Abfallcontainer (links) und mobiles System mit Saugfahrzeug (rechts)  Die Getrennthaltung der einzelnen Abfallarten im System ist möglich. Alternativ können in einem einspurigen System die Abfälle in charakteristisch für die jeweilige Abfallart gefärbten Abfallsäcken erfasst und nachträglich optisch getrennt werden (z. B. System OPTIBAG). Abbildung 19: Einwurflösung für pneumatisches Sammelsystem (links) und Saugfahrzeug bei der Entleerung eines Bunkers (rechts) (Bildquelle links: INTECUS GmbH / Bildquelle rechts: Envac Group, www.envacgroup.com)
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Je nach Bauart werden für mobile Systeme Bunker von 1–6 m³ und für stationäre Systeme Standard-Abroll-/Absetzcontainer von 20–36 m³ eingesetzt (siehe Datenblätter „Abrollcontainer“ und „Absetzcontainer“)

ANWENDUNGS-BEREICH	Die Länge des Rohrsystems ist praktisch unbegrenzt. Ggf. müssen zusätzliche Bunker und Transportsysteme installiert werden. Die eingesetzten Rohrdurchmesser liegen in der Regel zwischen 350 und 500 mm.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Bei großen Anlagen ist die Lösung mit Abrollcontainern für die endgültige Erfassung und den Abtransport des Abfalls wirtschaftlich sinnvoller. Der parallele Betrieb konventioneller Sammelsysteme, z.B. für die Erfassung eines Teils der Abfallarten, ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Das System ist über den Schleusenzugang für die verursachergenaue Abrechnung von Müllgebühren sehr gut geeignet.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- Anlage wird mit Strom betrieben - der Energieverbrauch ist abhängig von der Größe der Anlage (Transportabstand), Abfallmenge und Abfallart
CO_2-BILANZ	- Das System erspart in Größenordnungen konventionellen Sammelverkehr und damit Emissionen und CO-/CO_2-Ausstoß.
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- elektrischer Betriebsstrom
PERSONALBEDARF	- abhängig von der Anlagengröße, 1 Person betreut mehrere Anlagen
FLÄCHENBEDARF	- wesentlich geringer als beim konventionellen Umleersystem mit Müllbehälter - Flächeneinsparungsgewinne im Vergleich zu manuellen Systemen etwa 0,5–1 m^2 je Wohneinheit
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	- Die Investitionskosten liegen ca. zwischen 1.000 Euro und 2.000 Euro je Wohneinheit bei einem Neubau. Anlagen werden in der Regel mit einer Laufzeit von 30 Jahren geplant.
BETRIEBSKOSTEN	- Betrieb, Reparatur und Wartung: unter 1 % der Investition/a
MÖGLICHKEITEN VON EINNAHMEN	- durch Abfallgebühren für die entsorgte Menge
MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- sehr variabel in Abhängigkeit von Anlagengröße/-komfort/-konfiguration und Abfallaufkommen
ANDERE RELEVANTE ASPEKTE	
	Eine an dieses Sammelsystem angepasste Getrennterfassungslösung für verschiedene Abfallfraktionen ist das Optibag System: Dabei wird jede Abfallfraktion in einem für sie charakteristisch gefärbten Sackgesammelt und alle gemeinsam in einem Abfallbehälter erfasst. Die Trennung der Abfallarten kann nach der Sammlung durch die Farbgebung der Säcke erfolgen (www.optibag.com).
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die pneumatische Abfallsammlung ist eine seit langem erprobte zuverlässige Technik. Sie findet vor allem in Krankenhäusern, auf Flughäfen, in eng bebauten oder historischen Stadtteilen, aber auch in gemischten, dichten Neubausiedlungen Anwendung. Ausgewählte Referenzen sind: Innenstädte von Sevilla (SP), Stockholm (S), Kopenhagen (DK) und das Universitätsklinikum Heidelberg (D).

ANERKANNTE HERSTELFFLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Planer und Anbieter pneumatischer Abfallsammelsysteme und Systemkomponenten auf dem deutschen und internationalen Markt sind: - Envac Deutschland GmbH, Hamburg www.envacgroup.com Anbieter weiterer Systemlösungen sind: - MariMatic Oy, Vantaa, Finnland www.marimatic.com

(ABFALL-)BEHÄLTER-IDENTIFIKATIONSSYSTEM

INSBESONDERE FÜR HAUSHALTSNAH ZU ERFASSENDE ABFÄLLE MIT OPTIONALER MÖGLICHKEIT DER VERWIEGUNG

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:

- Nachweis der Entleerung von Abfall-Sammelbehältern bei der Sammlung von Abfällen aus Haushalten mit dem Ziel, die Dienstleistung der Abfallsammlung gegenüber dem Verursacher der Abfälle nachweisen und abrechnen zu können
- Ausschluss nicht zum Entsorgungssystem zugehöriger Sammelbehälter bzw. nicht zahlender Nutzer (Behältermanagement)
- Erfassung logistischer Kenndaten

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X	Anwendung bzw. Installation ist bei allen standardisierten mobilen Abfallsammelbehältern (siehe Datenblatt „Mobile Abfallsammelbehälter“) und damit verbundenen Entleerungstechniken realisierbar, damit prinzipiell abfallartenunabhängig			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Zustand der Abfälle ohne Einfluss auf die Anwendbarkeit, jedoch muss deren Sammlung über standardisierte Behältnisse erfolgen

Besondere Schutzerfordernisse:
Nachweis der manipulationssicheren Datenerfassung und -haltung (in Deutschland z.B. über Zertifikat vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI)

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
flächendeckende Anwendung insbesondere in ländlicher Wohnbebauung und für Kleingewerbe leicht implementierbar, kein zusätzlicher logistischer und baulicher Aufwand innerhalb des Entsorgungssystems vonnöten

Klimatische Gegebenheiten:
keine Einschränkungen in Bezug auf die Anwendbarkeit

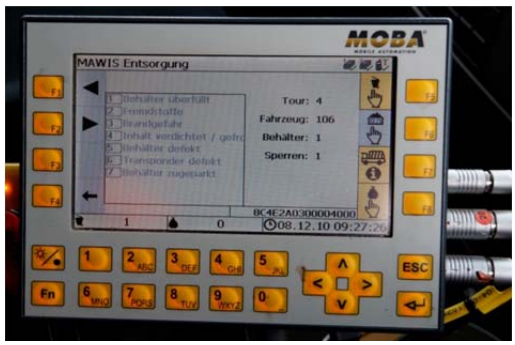
TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

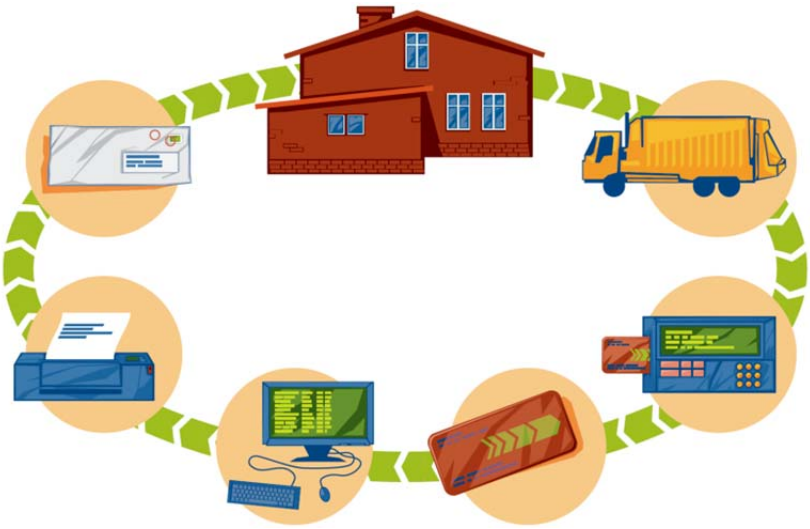
Das Behälter-Identifikationssystem ist ein elektronisches Datenerfassungs- und Verarbeitungssystem zur technischen Unterstützung eines Tourenmonitorings bei der Abfallsammlung und für die Umsetzung einer verursachergerechten Gebührenerhebung. Grundfunktion ist die Protokollierung der Entleerung der Sammelbehälter mit optionaler Verwiegung des Behälterinhalts. Mit einem Ident-System können folgende Ziele erreicht werden:

- entleerungs- und ggf. massebezogene Gebührenerhebung
- Nachweis der Entsorgungsleistung des Entsorgers
- Behältermanagement (z.B. Verhinderung der Entleerung nicht autorisierter Behälter)
- Touren- und Flottenmanagement

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Installation des Gesamtsystems an Abfallsammelbehältern, Fahrzeug und adäquate Betriebssoftware zur Datenauswertung
BESONDERE VORTEILE	- Zuordenbarkeit der Entleerung zu einzelnen Behältern und damit Grundstücken/Adressen ermöglicht genaue Berechnung der Leistungserbringung gegenüber dem Abfallverursacher - vollständige Gebührenabschöpfung durch Identifikationsmöglichkeit von illegal aufgestellten Behältern - Abfallsammlung ist überwachbar und damit auch leichter planbar - Nutzerfreundliches, wartungsarmes System ohne Behinderung von Sammlung und Transport
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- relativ hoher Investitions- und Installationsaufwand - Notwendigkeit einer umfassenden Rechtsabsicherung, z.B. hinsichtlich der Eigentumsverhältnisse Behälter, zusätzliche technische Komponenten - Die Anwendung eines verursachergerechten Gebührensystems kann zu illegalem Einwurf von Abfällen in Behälter in Fremdeigentum anregen.
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Ein Ident-System besteht aus den Grundkomponenten: - Transponder bzw. alternativ Barcode - Identifikationseinheit - Bordcomputer mit Speichermöglichkeit - Einrichtung zur Datenfernübertragung, z. B. per GPRS - Ggf. Datenträger (z.B. USB-Stick, RAM-Card) - Computer mit Software Zur Identifizierung werden die Transponder bzw. Barcodes an den Abfallsammelbehältern angebracht. Beim Kipp- bzw. Entleerungsvorgang wird der Behälter am Sammelfahrzeug automatisch identifiziert und bestimmte zusätzliche Leistungsdaten (Standort, Zeit, Behältergröße, gegebenenfalls Gewicht u. ä.) in einer an Bord befindlichen Computereinheit gespeichert. Bei den zum Einsatz kommenden Transpondern wurde eine Vereinheitlichung bestimmter technischer Parameter angestrebt (in Deutschland als BDE-Standard, d.h. mit einer Arbeitsfrequenz von 134,2 kHz, Speichertyp „read-only“, Identifizierungscode mit 128 Bit und vordefinierter Nomenklatur) die weitgehend umgesetzt ist. Vorteil der einheitlichen Lösung sind eine günstige Preisentwicklung und gute technische Verfügbarkeit kompatibler Komponenten. Abbildung 20: Transponder mit Chipnest eines MGB (links) und Bordcomputer im Cockpit eines Müllfahrzeugs (rechts) (Bildquelle links: c-trace GmbH, www.c-trace.de / Bildquelle rechts: Harald Heinritz, www.abfallbild.de)  Die Identifikationseinheit (Reader) am Sammelfahrzeug besteht aus der Antenne zur Aktivierung des Transponders und dem Empfang der Transpondernummer und der Auswerteeinheit zur Entschlüsselung und Prüfung der empfangenen Signale. Der Identifikationsvorgang erfolgt per Antenne oder Scanner. Die Signale werden dann an den Bordcomputer weitergeleitet. Handlesegeräte können alternativ zum Einsatz kommen, dies ist insbesondere bei Barcodes der Fall, ansonsten aber meist nur zur Kontrolle des Transponders. Der Bordcomputer

übernimmt die Speicherung der Fahrzeug- und Leerungsdaten sowie die Steuerung des Gesamtsystems. Zur Steuerung gehört insbesondere die Prüfung des Behälters auf Zulässigkeit/Anmeldung zur Entleerung. Die manipulationssichere Datenübertragung vom Bordcomputer zum IT-System erfolgt in der Regel per Datenfernübertragung, mit SIM-Card, kann aber auch mittels Datenträger durchgeführt werden. Optional kann eine dynamische Waage in den Aufnahmemechanismus (Lifter) eingebaut werden. Damit ist eine massespezifische Erfassung des gesammelten Abfalls und dementsprechende Gebührenerhebung möglich. Datenaufnahme und -verarbeitung erfolgen nach dem in der folgenden Abbildung dargestellten Schema:

Abbildung 21: Datenaufnahme und -verarbeitung eines Ident-Systems



1) Das mit einem eindeutigen Identifikationselement (Transponder oder Barcode) versehene Abfallgefäß wird in das Fahrzeug entleert
2) Beim Kippvorgang werden die Identifikationsdaten automatisch erfasst und im Bordrechner gespeichert. Optional kann ein Wäge-System dynamisch Voll- und Leergewicht des Behälters beim Leerungsvorgang ermitteln.
3) Nach Beendigung der Sammeltour werden die Identifikationsdaten per Funk oder alternativ per Datenträger zur Auslesestation übergeben.
4) Alle für die Funktion des Ident-Systems und die Gebührenveranlagung relevanten Daten, wie die Liste der Gebührenpflichtigen und die Behälterverwaltung sind auf einem Rechnersystem hinterlegt. Die Daten werden mittels einer speziellen Software ausgewertet und dem Gebührenpflichtigen zugeordnet.
5) Die durch die Software erstellten Gebührenbescheide werden an die Gebührenschuldner versandt.

STOFFFLUSS UND -MENGEN

Mit Einführung eines Behälter-Identifikationssystems verschieben sich in der Regel die erfassten Restabfallmengen hin zu den meist minder gebührenintensiven oder kostenlosen Systemen der Wertstofferfassung. Ursache ist jedoch nicht direkt das Ident-System, sondern vielmehr ein besseres Abfalltrennverhalten als Ergebnis einer in der Regel begleitenden Anwendung einer verursachergerechten Gebührenstruktur. Erfahrungen besagen, dass eine Verringerung der Restabfallmenge um 20 bis über 50% erwartet werden kann. Parallel steigen die Gebührenerlöse durch Registrierung bisher unentgeltlich geleerter Sammelbehälter.

ANWENDUNGS-BEREICH

Die Größe des mit Ident-System ausgestatteten Entsorgungsgebietes ist unbegrenzt.

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Das Ident-System ist praktisch mit jedem Sammelfahrzeug kombinierbar. Eine dynamische Waage ist mit nahezu jedem modernen Lifter kombinierbar.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
CO_2-BILANZ	- Durch die Optimierungsmöglichkeiten der Abfallsammlung unter Nutzung der Identifikationsdaten können Fahrkilometer der Sammelfahrzeuge und damit CO/CO_2-Emissionen vermieden werden
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- keine weiteren als die genannten technischen Komponenten
PERSONALBEDARF	- unverändert im Bereich der Sammlung bzw. nur sehr geringer zusätzlicher Personalbedarf für die Datenübergabe und -pflege.
FLÄCHENBEDARF	- kein zusätzlicher Platzbedarf zur Anwendung des Systems erforderlich
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Orientierende Größenordnungen der Kosten für die Anschaffung des Systems - Transponder 1 EUR/Stück - Leseeinheit und Bordrechner für ein Fahrzeug: 6.000–8.000 EUR - Dynamische Wäge-Einrichtung: 16.000–20.000 EUR - Handlesegerät 1.000 EUR - Computer zur Datenbearbeitung inkl. Software: 8.000 EUR - Installation 3 EUR/Behälter bis 240 l, 10 EUR/Behälter bis 1.100 l - Projektsteuerung 10.000 EUR
BETRIEBSKOSTEN	- Betrieb, Reparatur und Wartung: rund 7 % der Investition - Datenfernübertragung per GPRS: 12-15 EUR pro Fahrzeug und Monat
MÖGLICHKEITEN VON EINNAHMEN	- Durch die (verbesserte) Erhebung von Gebühren für die Abfallsammlung und Einsparungen resultierend aus ggf. geringeren Entsorgungsaufwendungen für zu beseitigenden Abfall. Schätzungen für europäische Länder besagen zudem, dass bis zu 10 % der bereitgestellten Behälter je Entsorgungsgebiet bei konventioneller Vorgehensweise ohne Identifizierung unautorisiert entleert werden, also keine Gebührenzahlung nach sich ziehen. Diese Behälter können mit dem System identifiziert und gebührenrelevant erfasst werden. - Durch eine optimierte Sammlung und Transport lassen sich oft weitere Einsparungen realisieren.
MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- zusätzliche Systemkosten von 5–7 EUR/Mg erfassten Abfalls bei Anschaffung
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Das Ident-System ist eine seit langem erprobte zuverlässige Technik. Bis heute wurden in der Bundesrepublik Deutschland rund 20 Mio. Abfallsammelbehälter mit Transpondern ausgestattet. Ein Großteil an Kommunen nutzt die Technik inzwischen für die Gebührenveranlagung der Haushalte und Gewerbeeinheiten und zur kontinuierlichen Überwachung und Optimierung der Sammeltouren.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Herstellerfirmen für Komponenten der Identtechnik sind zum Beispiel: - MOBA Mobile Automation GmbH, Dresden www.moba.de - c-trace GmbH, Bielefeld www.c-trace.de - Envicomp Systemlogistik GmbH & Co. KG, Bielefeld-Herford www.sulo.com - WasteWatcher.NET GmbH, Duisburg www.wastewatcher.info - Sywatec Logistic GmbH, Dieburg www.sywatec.de

ANMERKUNGEN UND REFERENZDOKUMENTE

Standardisierte Normen:
- DIN EN 14803:2006-05: Identifikation und/oder Mengenbestimmung von Abfall

Kompetente Informationsgeber sind:
- BDE-VKU Arbeitskreis „Mobile IT-Systeme“ www.bde.de/themen/logistik/mobile-it-systeme/
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik www.bsi.bund.de
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) www.ptb.de

SATTELAUFLIEGER MIT SCHUBBODEN

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Ferntransport von Abfällen

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X	Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	X
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten					

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
nein, eventuell Vorsortierung, um Transportaufwendungen zu verringern

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
keine Veränderungen durch Transportart

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

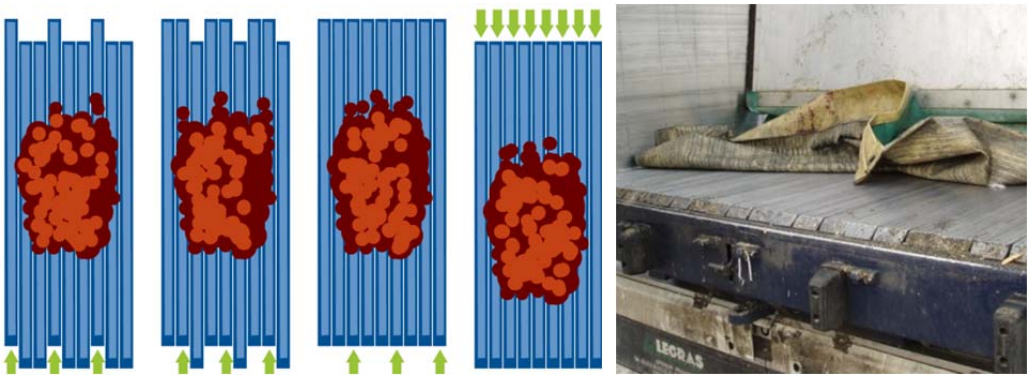
Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Die infrastrukturellen Voraussetzungen müssen eine ausreichende Platzverfügbarkeit für Fahrmanöver des Aufliegerfahrzeuges sowie zur sicheren Be- und Entladung des Schubbodensystems garantieren (u.a. befestigter Untergrund). Sonstige technische Hilfseinrichtungen sind für den Einsatz dieser Technik nicht erforderlich.

Klimatische Gegebenheiten:
Keine Einschränkungen in Bezug auf die Anwendbarkeit aber befestigter Untergrund für Be- und Entladung nötig

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Das Schubbodensystem ist ein horizontales Be- und Entladesystem für Sattelauflieger. Mit diesem System können die meisten Arten von Frachten, sowohl in stückiger Form als auch auf Paletten oder in Säcken transportiert werden. Diese Technik kommt insbesondere bei Ferntransporten zwischen Entsorgungseinrichtungen, z.B. von Umladestationen zu Verwertungsanlagen zur Anwendung. Die Beladung des Sattelaufliegers mit Schubboden mit Abfällen erfolgt i.d.R. auf Umladestationen (Siehe auch Datenblatt "Umladestation") oder extern mittels Greifer auf Sammelplätzen/-bunkern. Durch das Schubbodensystem kann die Entladung selbständig erfolgen. Gegenüber anderen Fahrzeugkombinationen zum Abfalltransport, mit denen eine selbstständige Entladung ebenfalls möglich ist, z.B. Fahrzeugkombination für Wechselcontainer (Siehe auch Datenblatt "Wechselcontainer"), kann mit dem Sattelauflieger mit Schubboden eine höhere Zuladung hinsichtlich Masse und Volumen erreicht werden.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- die Abfälle müssen für Schubboden geeignet sein, d.h. ggf. sollten schwere/massive Teile vorher aus dem Abfall entfernt werden, da diese zu Schäden am Schubboden führen können
BESONDERE VORTEILE	- geringere mengenspezifische Transportkosten durch hohe Zuladung - die Abfälle können relativ schnell ohne zusätzliche Technik entladen werden

SPEZIFISCHE NACHTEILE	- Schadensanfälligkeit gegenüber schweren/massiven Teilen im Abfall - bei hoher Beanspruchung geringere Lebensdauer gegenüber vergleichbaren Ferntransportfahrzeugen - keine Verpressung der Ladung
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Das Schubbodensystem basiert auf dem Prinzip der Haftreibung zwischen Boden und Fracht. Der Boden mit einer Standardbreite von 2,50 m besteht in aller Regel aus 21 Aluminium-Bodenprofilen. Diese Bodenprofile sind in drei Gruppen aufgeteilt, jede Gruppe besteht daher aus 7 Bodenprofilen. Wenn alle Gruppen sich zur selben Zeit bewegen, wird die Ladung transportiert. Danach wird jede Gruppe sukzessive zurückbewegt, die Ladung bleibt dabei unbewegt. Dieser Zyklus wird bis zum Ende des Entladevorgangs wiederholt. Abbildung 22: Funktion des Schubbodensystems (links) und Inneres eines Schubbodenaufliegers mit Blick auf die Bodenprofile (rechts) (Bildquelle rechts: Intecus GmbH)  Die Hersteller bieten i.d.R. optionale Anpassungen des Schubbodensystems und des Aufliegers an die speziellen Abfälle an, z.B. Verstärkungen der Bodenprofile. Die Grundkonstruktion des Aufliegers mit Schubboden ist aber mit anderen vergleichbar. Es werden normale Sattelzugmaschinen eingesetzt.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	- Eigengewicht: ca. 8 Mg für Auflieger und ca. 7 Mg für Sattelzugmaschine, - Zulademasse: ca. 25 Mg (bei einem maximal zulässigen Gesamtgewicht von 40 t für die Fahrzeugkombination) - Nutzvolumen: ca. 90 m³ - Entleerzeit: materialspezifisch zwischen 10 und 30 min
ANWENDUNGS-BEREICH	- Länge: ca. 13,5 m - Breite: ca. 2,5 m - Höhe: max. 4 m (nur Auflieger)
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	- Die Technik kann im Zusammenhang mit den oben erwähnten Umschlag- und Beladungstechniken sowie für Transportprozesse unterschiedlicher Art zum Einsatz gebracht werden.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- Als grober Orientierungswert kann ein Kraftstoffverbrauch von 40 Litern pro 100 km im Standardeinsatz gelten
CO_2-BILANZ	- Straßentransporte, einschließlich solcher die unter Anwendung dieser Technik ausgeführt werden, haben i.d.R. generell eine schlechtere CO_2-Bilanz gegenüber direkten Bahn- bzw. Schifftransporten

HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- keine
PERSONALBEDARF	- 1 Fahrer
FLÄCHENBEDARF	- Parkraum entsprechend der Größe zum Abstellen, ggf. Rangierfläche
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investitionskosten belaufen sich auf: - 50.00–70.000 Euro für einen Auflieger mit Schubboden und - 70.000–120.000 Euro für eine Sattelzugmaschine
BETRIEBSKOSTEN	Laufende Kosten: - Kraftstoff (rund 40 l pro 100 km) - Reparatur und Wartung: rund 10% der Investitionskosten pro Jahr , Reifen und Schmiermittel - Lohnkosten für Fahrer
MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- Bei voller Auslastung und 250 km Transportentfernung beispielsweise 15 EUR/Mg
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	- weltweiter Einsatz, auch für den Transport von anderen Gütern als Abfällen genutzt
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Beispiele für Herstellerfirmen von Fahrzeugkomponenten und Komplettlösungen sind: - Schmitz Cargobull AG, Horstmar www.cargobull.com - F.X. MEILLER Fahrzeug- u. Maschinenfabrik-GmbH & Co KG, München www.meiller.com - Martin Reisch GmbH Fahrzeugbau, Ehekirchen-Hollenbach www.reisch-fahrzeugbau.de
ANMERKUNGEN UND REFERENZDOKUMENTE	

Referenz für anwendbare Normen:
- Ladungssicherung: VDI-Richtlinie 2700, DIN-EN 12195-1

Eine Firmenauflistung mit Herstellern / Nutzern und weitere Informationen ist erhältlich über:
- Verband der Arbeitsgeräte- und Kommunalfahrzeug- Industrie e.V., Berlin, www.vak-ev.de

WECHSELCONTAINER

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Aufnahme von Abfällen für den Ferntransport

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen	X	Alttextilien	X	Elektro(nik)altgeräte	X
Altmetall	X	Altholz	X	Bau- und Abbruchabfälle	X
Altöl	X[5]	Altfarben/-lacke	X[1]	Altreifen	X
Gefährliche Abfälle	X[1]	flüssig/pastöse oder gefährliche Abfälle mit Spezialbehältern			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X				
Andere Abfallarten	X				

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
in der Regel nicht notwendig

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
nicht vom Containersystem beeinflusst

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Die Nutzung des Systems kann nur in Gebieten mit der erforderlichen infrastrukturellen Erschließung und Anbindung an die entsprechenden Transportsysteme erfolgen, es besteht ein Bedarf an ausreichendem Rangierplatz für das Heranfahren an den Container

Klimatische Gegebenheiten:
Keine Einschränkungen

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Wechselcontainer werden zum Ferntransport von Gütern eingesetzt. Im Gegensatz zu Fahrzeugen mit Festaufbauten können Wechselbehälter schnell und ohne eine offene Umladung der darin enthaltenen Güter zwischen Transportfahrzeugen getauscht werden. Als Umladeeinrichtung genügt eine ebene befestigte Fläche. Wechselcontainer bieten sich aufgrund der Vorteile beim Umladen insbesondere für den kombinierten Transport mit LKW, Bahn oder Schiff an. Des Weiteren können die Güter darin einfach und ohne zusätzliche offene Umladung gelagert werden. Wechselcontainer werden verstärkt auch für den Abfalltransport eingesetzt, weil der Immissionsschutz bei der schnellen und einfachen Umladung einen besonderen Vorteil darstellt. Um die Vorteile der Wechselcontainer-Umladung auch für den Übergang von Sammlung auf Ferntransport nutzen zu können, werden Sammelfahrzeuge vereinzelt mit Wechselcontainern ausgestattet.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- entsprechende Transportfahrzeuge und Umladeanlagen

[5] mit Spezialbehältern

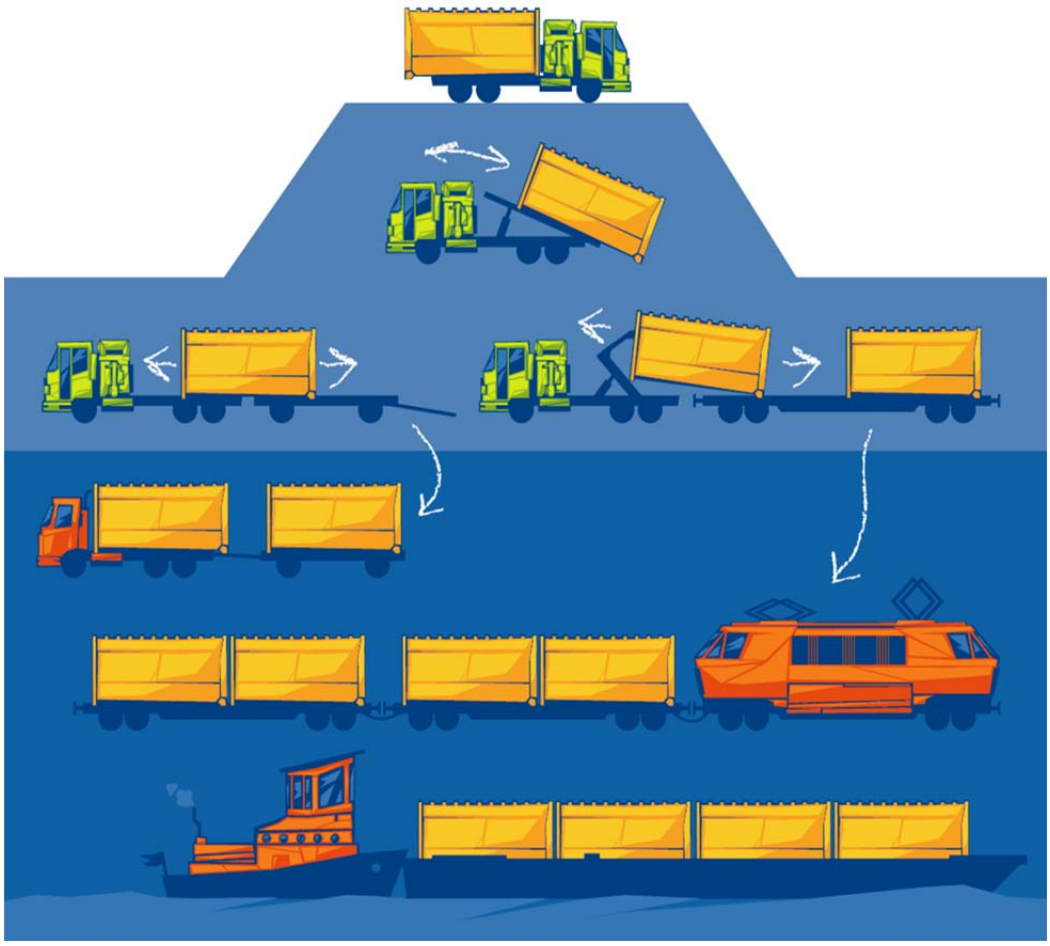
BESONDERE VORTEILE	- kostengünstiger Ferntransport von Abfällen - im Gegensatz zu Fahrzeugen mit Festaufbauten: - kaum Immissionen / Emissionen beim Umladen - das Umladen der Wechselcontainer kann mit einigen Fahrzeugen auch ohne zusätzliche Technik (Umladestationen) durchgeführt werden - die Umladung erfolgt i.d.R. schneller als bei Schüttgütern - Abfälle können im Wechselcontainer ggf. auch zwischengelagert werden - ggf. günstigerer Entsorgungskosten zu erzielen gegenüber naheliegenderen Entsorgungsmöglichkeiten durch Ferntransport
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- im Gegensatz zu Fahrzeugen mit Festaufbauten: - eventuell höhere Investitionskosten - eventuell geringere Zuladung durch schwerere Wechseltechnik
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Für feste Siedlungsabfälle werden überwiegend standardisierte Wechselcontainersysteme eingesetzt. Dies sind z.B. - Abrollcontainertransportsystem – ACTS, kompatibel zu den entsprechenden Abrollcontainern (siehe Datenblatt „Abrollcontainer“) - Wechselbrückensystem des kombinierten Straßengütertransportes (BDF) Vereinzelt, insbesondere bei Sammelfahrzeugen, können aber dennoch Kompatibilitätsprobleme aufgrund unterschiedlicher Behälterlängen, Anschlüsse und Verriegelungen auftreten. Für spezielle Abfälle (z.B. Klärschlamm) kommen auch Absetzcontainer zur Anwendung (siehe Datenblatt „Absetzcontainer“). Abbildung 23: Anwendungen des Wechselcontainersystems 

Abbildung 24: Wechselcontainer zum Straßentransport (links oben & rechts oben) (Bildquellen links oben & rechts oben: Petra Hoeß, FABION Markt + Medien / www.abfallbild.de) / Umladestation für Wechselcontainer zum Schiffstransport (links unten) und Bahntransport mit dem Abroll-Container-Transport-System bzw. ACTS (rechts unten) (Bildquelle links unten: INTECUS GmbH / Bildquelle rechts unten: Autor: Priwo, Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“

STOFFFLUSS UND -MENGEN

Die Zuladung der Container hängt von folgenden Faktoren ab:

- Containervolumen (verschiedene Längen)
- maximal zulässige Fahrzeugzuladung
- Verdichtbarkeit der Abfälle
- In Wechselcontainer für Sammelfahrzeuge können beispielsweise zwischen 6 und 12 Mg Restabfälle geladen werden.

ANWENDUNGS-BEREICH

Die Transportlogistik (Anzahl sowie Größe der Container und Transportfahrzeuge, Kapazität der Umladeanlagen) lässt sich i.d.R. den zu bewältigenden Abfallmengen anpassen. Die Wechselcontainer der Systeme ACTS und Wechselbrücken sind für den LKW/Bahntransport in etwa 2,4 m breit und 2,5 m hoch. Es gibt aber verschiedene Längenausführungen zwischen 4,5 und 12,2 m. Das Volumen schwankt somit in etwa zwischen 20 und 75 m³.

Für Sammelfahrzeuge werden Container zwischen 4,5 m bis max. 7 m eingesetzt. Zum Ferntransport werden dann i.d.R. 2 oder 3 dieser Container auf Lastzügen zusammengefasst. Container über 7 m dienen nur dem Ferntransport, z.B. einzeln auf Aufliegern, da diese für Sammelfahrzeuge zu lang sind.

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Für den Ferntransport werden ggf. entsprechende Umladeanlagen benötigt (siehe Datenblatt „Umladestation“). Beim Einsatz von Wechselcontainern für den Ferntransport ist oft auch deren Einsatz auf entsprechenden Sammelfahrzeugen sinnvoll. ACTS-Wechselcontainer sind i.d.R. zu Abrollcontainern (siehe Datenblatt „Abrollcontainer“) kompatibel, d.h. es können ggf. die gleichen Transportfahrzeuge genutzt werden.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

CO_2-BILANZ

- vom Transportsystem abhängig (LKW, Bahn, Schiff) aber aufgrund des verringerten Umladeaufwandes i.d.R. mit besserer Bilanz als andere Umlade-und Transportvorgänge vergleichbarer Größenordnung

HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE PERSONALBEDARF FLÄCHENBEDARF	- vom verwendeten Transportsystem abhängig (LKW, Bahn, Schiff)
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investitionskosten belaufen sich auf: - ca. 10.000 EUR für einen Wechselcontainer - ca. 140.000 EUR für einen Lastzug für 2 oder 3 Wechselbehälter
BETRIEBSKOSTEN	- stark vom verwendeten Transportsystem abhängig (LKW, Bahn, Schiff)
MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- stark vom verwendeten Transportsystem abhängig (LKW, Bahn, Schiff)
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Wechselcontainersysteme haben sich insbesondere bei LKW-Transporten weltweit etabliert und finden Anwendung in der Transport- und Umschlagbranche. Beispiele für Abfalltransporte mit Wechselcontainer per Bahn in Deutschland sind: - Gesellschaft Abfallwirtschaft Breisgau GmbH, Freiburg www.abfallwirtschaft-breisgau.de - Abfallwirtschaftsbetrieb Ilm-Kreis www.aik.ilm-kreis.de - Zweckverband Abfallverwertung Südostbayern, Burgkirchen www.zas-burgkirchen.de
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Anbieter von Transportsystemen mit Wechselcontainern sind zum Beispiel: - Max Aicher Bischofswerda GmbH & Co. KG, Bischofswerda www.the-waste-pro.com - AWILOG-Transport GmbH, Oberriexingen, www.awilog.de Die Hersteller von Sammelfahrzeugen (siehe z.B. Datenblatt „Hecklader“) bieten teilweise auch entsprechende Wechselcontainerfahrzeuge und Container an.

Referenz für anwendbare Normen:
- **DIN-EN 12195-1-6**: Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen - Sicherheit

weitere Informationen sind erhältlich über:
- Verband der Arbeitsgeräte- und Kommunalfahrzeug- Industrie e.V., Berlin, www.vak-ev.de

UMLADESTATION FÜR ABFÄLLE

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Umladen von Abfällen für den Ferntransport

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall	X	Altholz	X	Bau- und Abbruchabfälle	X
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	X
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	Insbesondere feste Abfälle			
Andere Abfallarten	X	Insbesondere feste Abfälle			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
In der Regel nicht erforderlich, jedoch sollten bestimmte Abfallarten, wie zum Beispiel Sperrmüll vorzerkleinert sein. Dies kann z.B. im Rahmen der Sammlung mittels Verpressung in einem Hecklader erfolgen.

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:
Durch eine Verpressung im Zuge der Vorbehandlung oder des Umschlagsprozesses kann eine nachträgliche hochqualitative Trennung erschwert werden.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Der Standort für Umladestationen sollte eine gute wetterunabhängige Zugänglichkeit für Transportmittel aufweisen und außerdem relativ zentral am Abfallaufkommensschwerpunkt des Entsorgungsgebietes gelegen sein.

Klimatische Gegebenheiten:
In klimatischen Extremlagen ist bei zeitweilig zwischenzulagernden Abfällen ein entsprechender Schutz vor Witterungsereignissen zu beachten. Umladestationen sind aus diesem Grund und wegen des Immissionsschutzes, insbesondere bei einer offenen Umladung der Abfälle oder bei entsprechender Press- und Umladetechnik nach Möglichkeit in Hallen unterzubringen.

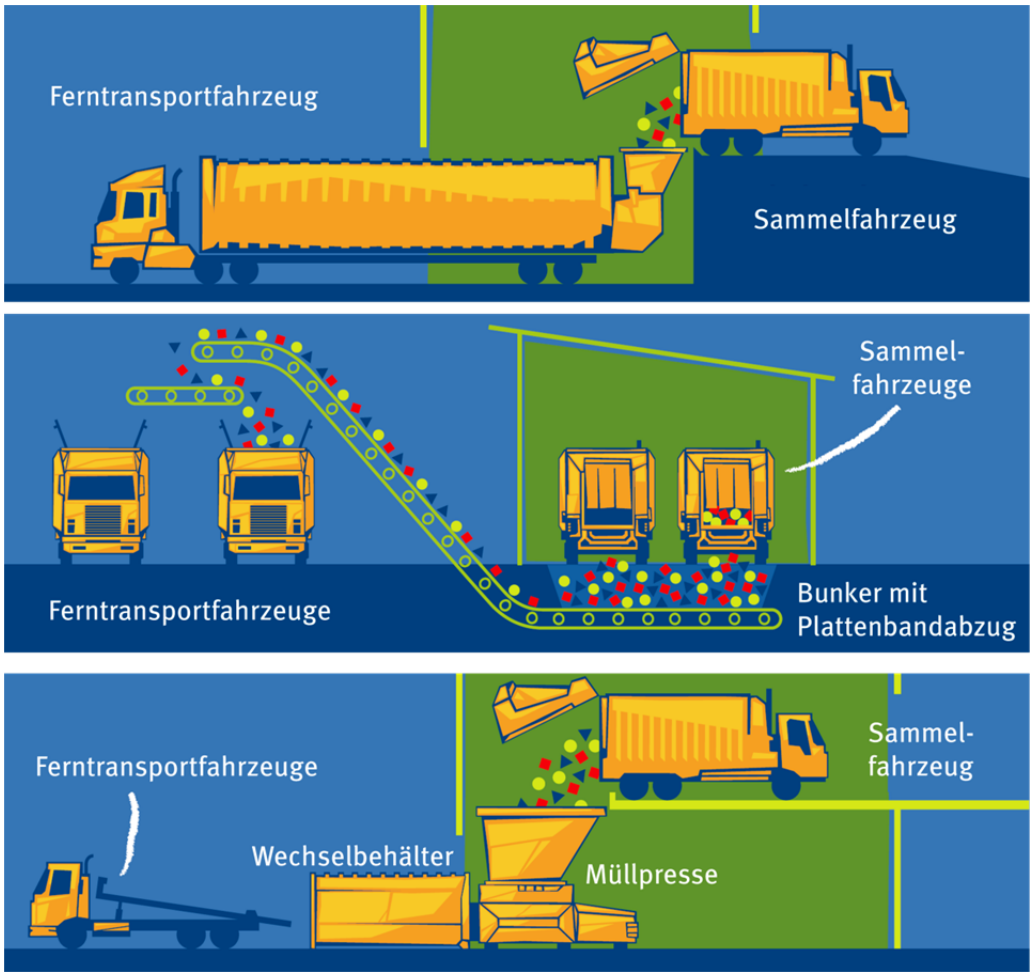
TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Umladestationen vereinen technische Prozesse und Anlagen zum Umladen von Abfällen aus Sammelfahrzeugen in Ferntransportmittel (LKW, Eisenbahn, Schiff). Bei den meisten Umladeverfahren wird eine Verpressung der Abfälle integriert. Die Umladung von Abfällen ist immer dann sinnvoll, wenn die zur Behandlung/Beseitigung in Frage kommenden Anlagen so weit entfernt liegen, dass der Transport mit dem Sammelfahrzeug in Summe kostenintensiver ist, als die Kosten für die Umladeanlage plus der Transportkosten mit einem Ferntransportfahrzeug. Umladeanlagen müssen mit den entsprechenden verkehrstechnischen Anschlüssen versehen sein und in entsorgungslogistisch günstiger Lage zum Sammelgebiet errichtet werden.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Aufgrund der bei Umladevorgängen entstehenden Umweltbeeinträchtigungen (Lärm, Geruchsemissionen u. ä.) ist eine Lizenzierung/Genehmigung solcher Anlagen vorgesehen. - gute infrastrukturelle Anbindung/Erschließung, insbesondere Anschluss an eine ausreichende Transportinfrastruktur (relevante Transportwege)

BESONDERE VORTEILE	- Mit Umladeanlagen können Sammelfahrzeuge durch Minimierung der Transportfahrten effektiver für die Sammlung eingesetzt werden. – Ferntransporte mit speziellen Fahrzeugen sind nach einer Umladung aufgrund der realisierbaren höheren Zuladung kostengünstiger als mit Sammelfahrzeugen. Die höhere Zuladung ergibt sich durch die Größe der hierbei zum Einsatz kommenden Ferntransportmittel und ggf. durch eine in den Umladevorgang integrierte Verpressung der Abfälle.
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- zusätzliche Kosten für Errichtung und Betrieb der Umladestation - erhöhte Transportbewegungen in der unmittelbaren Umgebung sowie die Möglichkeit von Lärm- und Geruchsbelästigungen
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Umladestationen können je nach Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich ausgelegt sein, wesentliche Kriterien sind dabei: - Art der anliefernden Sammel- und abholenden Ferntransportfahrzeuge a) Fahrzeuge mit Wechselcontainern oder Festaufbau b) für den Ferntransport können neben Lastzügen auch Eisenbahn und Schiff in Frage kommen, dementsprechend sind Eisenbahn- oder Wasserstraßenanschlüsse notwendig. - Umladung mit oder ohne Verpressung der Abfälle Eine Verpressung kann vor der Beladung des Ferntransportfahrzeuges in einer stationären Presse erfolgen, oder die Verpressung findet direkt im Ferntransportfahrzeug statt. Im einfachsten Fall besteht die Umladestation nur aus einer befestigten Fläche, auf der Wechselbehälter (Siehe auch Datenblatt "Wechselcontainer") von entsprechenden Sammelfahrzeugen auf Lastzüge für Wechselbehälter umgeladen werden können. Es gibt verschiedene Wechselbehältersysteme, bei denen der Wechselbehältertausch zwischen verschiedenen Fahrzeugen entweder ohne zusätzliche Technik möglich ist, oder es werden spezielle Kräne, Rampen o.ä. benötigt. Sammelfahrzeuge mit Festaufbau müssen an der Umladeanlage erst entleert werden. Dies gilt auch für Wechselbehälterfahrzeuge, wenn der Wechselbehälter nicht auf das Ferntransportfahrzeug umgeladen wird. Die Entleerung kann auf ebenem Boden erfolgen, wobei der Abfall dann mit Radlader, Förderband oder Bagger aufgenommen und umgeladen wird. Eine andere Möglichkeit ist die Entleerung über einer Rampe, wobei der Abfall direkt aus dem Fahrzeugaufbau des Sammelfahrzeugs in das bereitgestellte Transportfahrzeug, offene Container oder in Aufnahmevorrichtungen von Pressen fällt. Einige Beispiele für Umladestationen, bei denen das Sammelfahrzeug entleert wird, sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Bei einer Umschlagstation für den Bahn- und Schiffferntransport ist die Technik denen der Umladung in Lastzüge ähnlich, nur dass entsprechende Gleis- bzw. Wasserstraßenanschlüsse vorhanden sein müssen. Dies gilt auch für den Zielort. Die zu erwartenden Abfallmengen müssen beim Ferntransport mit Bahn oder Schiff im Vergleich mit Lastzügen relativ hoch sein, um eine Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Der Transport mit Bahn und Schiff unterliegt großen logistischen und wirtschaftlichen Einschränkungen, und kommt daher nur in wenigen Fällen zur Anwendung. Für Wechselbehälter gibt es auch spezielle Bahnwaggons, auf die der Wechselbehälter vom Sammelfahrzeug direkt, ohne zusätzliche Technik, geladen werden kann. Ob eine zusätzliche Verpressung der Abfälle beim Umladen sinnvoll ist, hängt im Wesentlichen von den zusätzlichen Kosten der Verpressung und den dadurch zu erwartenden Einsparungen beim Ferntransport, infolge einer höheren Zuladung, ab. Optional kann der Betrieb folgender zusätzlicher Einrichtungen an der Umladestation sinnvoll sein: - Fahrzeugwaage zur Registrierung der Abfallmengen - Zwischenlagerfläche oder -bunker für Abfälle - Annahmestelle für Abfälle aus dem Bringsystem

Abbildung 25: Beispiele für Umladestationen, bei denen das Sammelfahrzeug entleert wird



STOFFFLUSS UND -MENGEN	Bei den Umladestationen sollte in Abhängigkeit der technischen und personellen Aufwendungen für die Wirtschaftlichkeit eine Grundauslastung gewährleistet werden. Ansonsten lässt sich deren Größe i.d.R. den umzuladenden Abfallmengen anpassen.
ANWENDUNGS-BEREICH	Dem jeweiligen Bedarf und Gegebenheiten anpassbar, gebräuchliche Anwendungsformen sind unter Flächen-/Personalbedarf kurz skizziert
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Die Integration in die Transportkette für Abfälle kann an beliebiger Stelle erfolgen. Es besteht ferner die Möglichkeit der flexiblen Anpassung an die verfügbare Infrastruktur und die bei der Abfallsammlung und im Transport zum Einsatz kommenden technischen Systeme.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- technische Ausrüstungen (z.B. Krane, Greifer, Pressen, Förderbänder) je nach Ausführung der Umladestation
PERSONAL- UND FLÄCHENBEDARF	Für die Kostenbetrachtung werden 3 Beispielfälle für eine Anlagenkapazität in der Größenordnung von 30.000 Mg/a und einem Ferntransport mit Lastzügen angesetzt: 1) Umladung von Sammelfahrzeugen mit Wechselbehälter auf Wechselbehälter, Ferntransportfahrzeuge ohne zusätzliche Umschlagtechnik - es wird nur eine geeignete Fläche benötigt - die Fahrer vom Sammel- und Transportfahrzeug führen selbstständig den Containertausch durch

	2) Umladung von Sammelfahrzeugen mit Festaufbau in Ferntransportfahrzeugen ohne Verpressung der Abfälle - die Umladung erfolgt durch die Entleerung des Sammelfahrzeuges auf einer Rampe direkt in das Ferntransportfahrzeug - die Umladestation befindet sich in einer Halle - es werden 2 Personen an der Anlage zur Überwachung benötigt 3) Umladung von Sammelfahrzeugen mit Festaufbau in Ferntransportfahrzeugen mit geschlossenen Wechselbehältern inklusive Verpressung der Abfälle - die Umladung vom Sammelfahrzeug in die Presseinrichtung erfolgt durch Radlader, Bagger oder erhöht in einen Trichter - durch Presseinrichtung wird der Abfall in die geschlossenen Wechselcontainer gepresst - der Personalbedarf an der Anlage zum Umladen und Überwachen liegt bei bis zu 4 Personen
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS- UND BETRIEBS-KOSTEN	Abschreibung der Investitionskosten und laufende Kosten: - bei Bsp.1) bis 10.000 EUR/a - bei Bsp.2) 250.000–350.000 EUR/a plus Personalkosten für 2 Personen und Infrastrukturkosten - bei Bsp.3) 300.000–450.000 EUR/a plus Personalkosten für 4 Personen und Infrastrukturkosten Nicht berücksichtigt sind ggf. Kostenunterschiede bei den Sammel- und Ferntransportfahrzeugen (Wechselbehälter/Festaufbau). Die Gesamtinvestitionskosten betragen meist zwischen 1,0–5,0 Mio. EUR.
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- 0,1 bis 15 EUR/Mg
ANDERE RELEVANTE ASPEKTE	
ARBEITSSCHUTZ	Bei der Nutzung der in Umladestationen vorkommenden Technik sind besondere Arbeitsschutzaspekte zu beachten. In Deutschland existieren hierfür u.a. - GUV-Regel 238-1: Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten der Abfallwirtschaft, Teil 1: Sammlung und Transport von Abfall
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Umladestationen befinden sich weltweit und in großer Zahl in Anwendung, Beispielreferenzen in Deutschland sind: - Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal www.zaoe.de - Zweckverband Müllverwertung Schwandorf http://z-m-s.de/muellanlieferung - Design-/Komponentenlösungen Umladestationen (by Werner & Weber Deutschland GmbH) http://www.werner-weber.com/upload/file/TransferStations-DE-10_2014_v02.pdf
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER	Für Umladestationen bedarf es keiner spezialisierten Einzelhersteller, sie können durch allgemeine Baufirmen für Gelände und Hallen sowie verschiedene Hersteller für Umladetechnik errichtet werden

Aufbereitung, Behandlung und Verwertung von Siedlungsabfällen

Einführung zum Themenbereich

Abfälle sind durch eine hohe stoffliche und Materialvielfalt gekennzeichnet womit deren bloße Verkippung auf Deponien sowohl einen hohen Verlust an wertvollen Ressourcen (insbesondere Material- aber auch an Landressourcen) darstellt als auch zu hohen Belastungen der Umwelt selbst führt. Aus diesem Grunde wurde der europäischen Abfallgesetzgebung eine klare Prioritätenreihenfolge zugrunde gelegt, wonach an erster Stelle der Behandlung von Abfällen deren Vorbereitung zur Wiederverwendung und ansonsten das Recycling steht. Erst wenn dies an praktische Grenzen stößt, sollen anderweitige Formen der Verwertung, z.B. auch eine energetische Nutzung angestrebt werden und die Ablagerung auf geordneten Deponien nur allerletztes Mittel zur sicheren Entsorgung von Abfällen sein. Das Konzept wird auch von der Idee getragen, dass eine stoff- und materialspezifische Verwertung von Abfällen immer auch eine wichtige soziale und wirtschaftliche Komponente einschließt. Die Trennung und Aufbereitung von Abfällen nach verschiedenen Materialfraktionen eröffnet ein hohes Beschäftigungspotenzial, führt zur Bildung eines eigenständigen Wirtschaftssektors und erleichtert es darüber hinaus, die Abfälle ohne größere Gefahren für die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu entsorgen. Noch immer gibt es überall auf der Welt Beispiele in denen die Existenz dieses wichtigen Beziehungsgefüges in tragischer Weise in Erscheinung tritt. So sind lebensbedrohliche Krankheiten und Epidemien bis heute vor allem auch dort an der Tagesordnung, wo Abfälle noch immer unkontrolliert in Siedlungsgebieten oder Wasserläufen verkippt werden, wo Menschen ihren Lebensunterhalt auf Halden zu bestreiten haben und wo es aus diversen Gründen an jeglicher Form der geordneten Lagerung und Behandlung von Abfallstoffen fehlt.

Eine nachhaltige und auf Dauer erfolgreiche Strategie zur Abfallbewirtschaftung bedient sich eines integrierten Ansatzes, um die höchstmögliche Umweltsicherheit beim Umgang mit Abfällen gewährleisten und dabei den bestmöglichen wirtschaftlichen Gewinn aus den verschiedenen Abfallbestandteilen ziehen zu können. Bei allen **integrierten Ansätzen** kommt ein Mix an verschiedenen Behandlungs- und Nutzungsoptionen zur Anwendung. Wie groß das verfügbare Spektrum an Optionen ist und welche davon letztlich zur Anwendung gelangen, hängt stark von den jeweils gesetzten Zielstellungen und vielen lokalspezifischen Faktoren ab. Die Zielstellungen bzw. einzuhaltenden Standards sind entweder bereits durch einen bestimmten rechtlichen Rahmen (wie z.B. dem für die Mitgliedsländer der EU) oder entsprechende nationale Gesetze festgeschrieben, sie können allerdings auch seitens der strategischen Planer und Entscheidungsträger vor Ort bestimmt werden.

Verschiedene Verfahren und technische Prozesse bilden die Grundlage für ein integriertes Management der gesammelten Abfälle. Dazu gehören allem voran unterschiedliche Aufbereitungs-, Recycling- sowie Behandlungsprozesse (Datenblätter zur „Aufbereitung“, „Wertstoffgewinnung“, zur „Stabilisierung“, sowie zur „Abfallvorbehandlung“), die thermische Umwandlung der Abfälle mit und ohne Energiegewinnung als eine Kombination aus Verwertung und Vorbehandlung (Datenblätter „Verbrennung“), aber auch notwendige Lagerungsprozesse und die gesicherte Deponierung von verbleibenden Abfällen (Datenblätter „Ablagerung“). In einem idealen Bewirtschaftungssystem für Abfälle würden sich die verschiedenen Verfahrensmöglichkeiten und Behandlungsprozesse optimal ergänzen und im Ergebnis zu einem integrierten Abfallmanagement führen, wie es das Schema der Abbildung 1 beispielhaft wiedergibt.

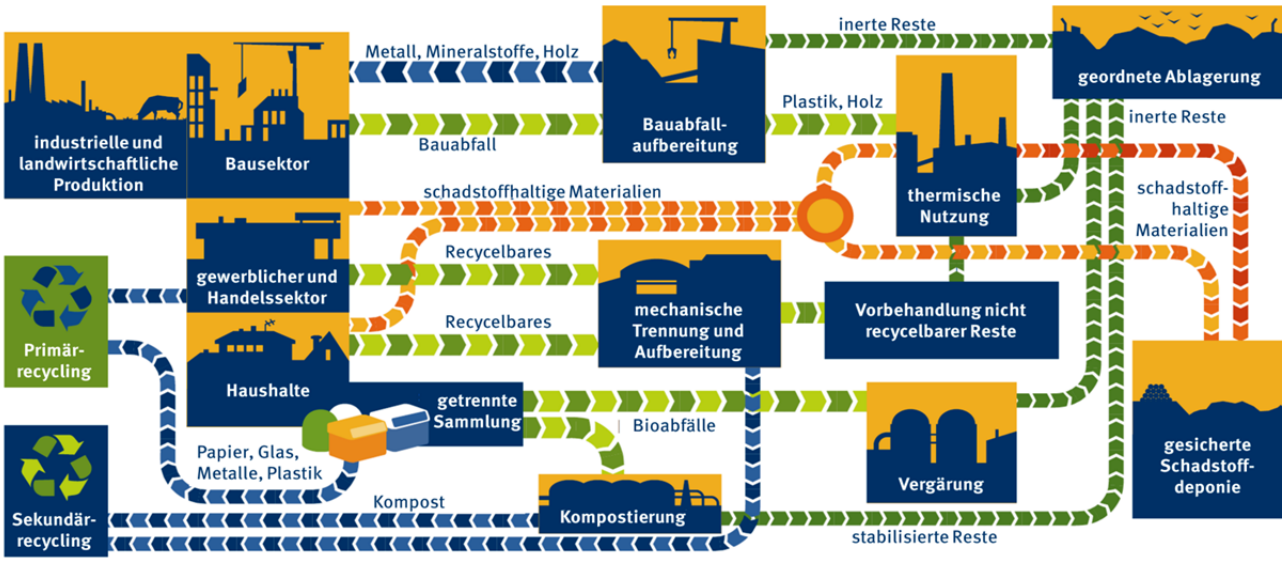
Materialrückgewinnung aus Abfällen

Recycling und die Nutzung verwertbarer Stoffe aus dem Abfall sind Schlüsselelemente zur Verminderung der Gesamtmenge und Behandlungsnotwendigkeit von Abfällen als wesentliche Zielstellungen des Abfallmanagements. An vorderster Stelle steht dabei die Aufgabe, verwertbare Materialien für die weitere stoffliche Verwendung aus dem Abfall zurück zu gewinnen.

Vieles von dem, was zu Abfall geworden ist, hat trotz der vorherigen Nutzung seinen (roh-)stofflichen Wert behalten und/oder weist Eigenschaften auf, die eine Nutzung als sekundärer Rohstoff bei der Erzeugung neuer Produkte oder als Substitut für knappe Materialien zulassen. Dafür müssen die Materialien dem restlichen Abfallstrom entzogen und einzeln zurückgewonnen werden. Zur Wiederverwendung oder stofflichen Nutzung ist letztlich auch eine gewisse Reinheit erforderlich. Sowohl die Abtrennung der verschiedenen nutzbaren Materialien vom restlichen Abfallstrom als auch deren Rückgewinnung in

Form hinreichend sauberer Stofffraktionen für weitere Nutzungen kann auf dem Weg einer ***Abfallsortierung und -aufbereitung*** bewirkt werden.

Abbildung 1: Musterschema für ein optimiertes Abfallmanagement unter idealen Randbedingungen (modifiziert nach Koch,T., Seeberger. J.: Ökologische Müllverwertung. 1984)



Die Trennung/Sortierung unterschiedlicher Abfallmaterialien lässt sich einerseits direkt am Ort ihrer Entstehung, d.h. beim Abfallerzeuger, und des Weiteren auch durch industrielle Verfahren bewerkstelligen. Nicht nur die Industrie zieht durch die aus dem Abfall gewonnenen sekundären Rohstoffe einen Nutzen sondern auch der Abfallerzeuger selbst und sogar die Kommune, in der er lebt. Für den Abfallerzeuger ergibt sich bei entsprechenden Rahmenbedingungen die Möglichkeit, durch Abfalltrennung die sonst für die Entsorgung gemischter Abfälle zu zahlenden Gebühren zu reduzieren. Die Kommune kann indes durch den entsprechend verringerten Anfall zu entsorgender Abfälle Deponieraum sparen und gegebenenfalls über den Verkauf der abgetrennten Sekundärmaterialien sogar Einnahmen tätigen.

Als üblicherweise getrennt erfasste Wertstoffe aus dem Haushalts- und Gewerbebereich besteht für die stoffliche Weiterverwertung ein spezieller Aufbereitungsbedarf insbesondere für die Stoffgruppen:

- Altpapier
- Altglas und
- Verpackungsmaterialien.

Verschiedenartige Aufbereitungsprozesse und Verfahrenskombinationen kommen dabei zur Anwendung. Hauptzielstellung eines jeden Aufbereitungsvorganges ist die Erzeugung von Stofffraktionen, die direkt dem Recycling zugeführt werden können. Aufgabenschwerpunkt bildet in diesem Zusammenhang die Herausnahme von Verunreinigungen und anderen Stoffen, die das Recycling behindern oder unmöglich machen würden. Hierbei wird wiederum auf Sortier- und Trenntechniken zurückgegriffen. Mit welcher Intensität die Aufbereitung letztlich erfolgt, hängt von der Zielqualität der Recyclingfraktion ab (z.B. Aufsplittung in verschiedene Papiersorten mit unterschiedlichen Anteilen an Fremdpapieren), diese wiederum bestimmt sich durch die Nachfrage des Marktes, die Preissituation und die Profiterwartung aus dem Absatz verschiedener Stofffraktionen.

Eine Benennung und Beschreibung aller Verfahren- und Verfahrenskombinationen zur Aufbereitung der gesammelten Abfallstoffe ist an dieser Stelle nicht möglich. Drei grundsätzlich anzutreffende Verfahrenskonfigurationen sollen im Folgenden beispielhaft die Breite technischer Optionen zur Aufbereitung von recycelbaren Abfällen wiedergeben.

- Die „*einfache Verfahrenskonfiguration (Grundkonfiguration)*" wird von einem sehr geringen Automatisierungsgrad und wenig technischen Hilfsmitteln geprägt, dafür bietet sie eine Vielzahl potenzieller Beschäftigungsmöglichkeiten.

- Die „*fortgeschrittene bzw. erweiterte Konfiguration*" verfügt bereits über einen höheren Automatisierungsgrad und höhere Maschinenausstattung als das vorangegangene Schema, damit sinkt auch der Personalaufwand im Verhältnis.
- „*Hochtechnisierte Konfigurationen*" umfassen insbesondere Prozesse und Techniken die speziell mit dem Ziel einer weitest gehenden Automatisierung und Optimierung der Aufbereitung im Hinblick auf spezielle Anforderungen des jeweiligen Abnehmers oder Marktes entwickelt werden. Häufig handelt es sich dabei um Speziallösungen welche teils sehr investitionsintensiv sind und nicht einfach auf andere Gebiete übernommen werden können weil deren Effizienz oder Zuverlässigkeit dort möglicherweise nicht gegeben ist.

Altpapier

Um ein gut und hochwertig nutzbares Ausgangsmaterial zu erhalten muss Altpapier aus Haushaltungen möglichst schon vor Ort separiert und in jedem Fall von anderen Abfallströmen, insbesondere feuchten, öligen und/oder biologischen Abfällen getrennt erfasst werden. Die einfachste Möglichkeit besteht in der Sammlung von graphischem und nicht graphischem Altpapier in gemischter Form aber getrennt von anderen Abfallarten. Die getrennte Sammlung der graphischen und nicht graphischen Altpapiere stellt hingegen den besten Weg dar, um gesammeltes Altpapier zu Höchstpreisen vermarkten zu können und gleichzeitig ein sehr hochwertiges Papierrecycling zu ermöglichen.

Als gut geeigneter, relativ einfacher Ansatz zur Altpapiersammlung von Haushalten hat sich das Bringschema mit zentral aufgestellten Depotcontainern (siehe Datenblatt „Depotcontainer") erwiesen. Dabei tragen spezielle Modifizierungen der Einwurföffnung dazu bei, den Anteil anderer unerwünschter Bestandteile und potenzieller Verunreinigungen im Sammelgut zu verringern. Ebenfalls möglich ist die Sammlung im Holsystem über verschiedene Sammelbehältnisse (siehe Datenblatt „Mobile Abfallsammelbehälter"), oder aber die Abholung von am Straßenrand bereitgelegten Altpapierbündeln. Die Sammlung in Bündeln oder über speziell gekennzeichnete Depotcontainer ist besonders für eine getrennte Erfassung von graphischem und nicht graphischem Altpapier geeignet.

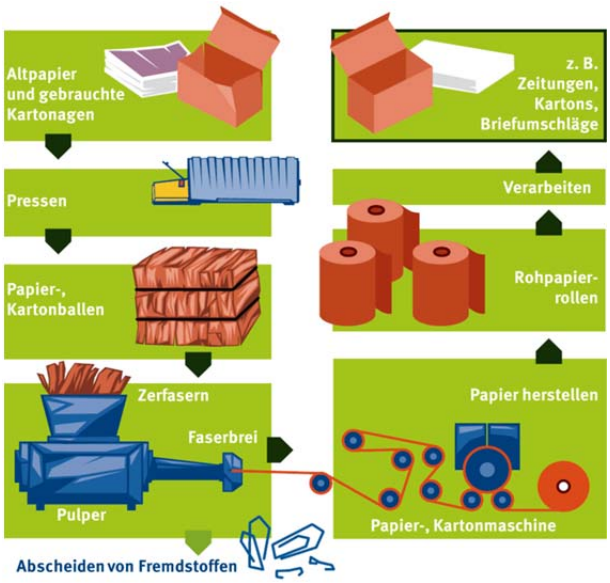
Zusammen mit dem von gewerblichen Anfallstellen abgefahrenen Altpapier erfolgt in Sortiereinrichtungen die Aufbereitung nach Sorten, wobei die vier bedeutendsten der europäischen Altpapiersortenliste sind:

- Gemischtes Altpapier (1.02)
- Verpackungen aus Wellpappe und Karton (1.04)
- Graphisches Altpapier zum Deinken (1.11)
- Zeitungen (2.01)

Eine genaue Spezifizierung zu diesen und anderen Altpapiersorten/-qualitäten enthält die Europäische Altpapiersortenliste (European list of standard grades of paper and board for recycling EN 643:2014).

Die Sortengruppe „Gemischtes Altpapier" kann nach der Sortierung verschiedene Papier- und Pappenarten sowie einen Maximalanteil von 40% Zeitungen beinhalten. Auf der Grundlage dieses Standards ist es möglich die Sortierungsintensität und -reinheit der aktuellen Nachfrage und Preislage am Markt anzupassen. Angaben zur Marktpreissituation im letzten Jahrzehnt finden sich im Datenblatt zur Altpapiersortierung (siehe Datenblatt „Sortierung und Aufbereitung von Altpapier",). Einen nicht unbedeutenden Einfluss darauf welche Sortengruppen bei der Sortierung erzeugt werden haben auch die Abnehmerstrukturen des Umfeldes (z.B. Vorhandensein von Erzeugern bestimmter Papierqualitäten).

Abbildung 2: Altpapierrecycling



In Europa liegen die Kosten für die Erfassung von Altpapier und dessen Bereitstellung für das Papierrecycling in etwa in einem Bereich von 60 bis 150 Euro pro Mg (Quelle: EcoPaperLoop, 2014).

Altglas

Um ein hochwertiges und wirtschaftlich interessantes Recycling von Altglas aus Haushalten zu erleichtern ist eine Sammlung am Anfallort getrennt nach Glasfär-

bung von großem Vorteil. Für die farbliche Trennung ist die Unterteilung in grün, braun (oder gemischt bunt) sowie weiß bzw. transparent gebräuchlich. Für jede dieser Färbungen sollte ein eigener Sammelbehälter bereitgestellt werden. So nur einfache Verwertungswege oder geringere Qualitätsanforderungen für das Altglas bestehen, ist aber auch eine komplett farblich gemischte Erfassung möglich. Allerdings sollten bei der Altglassammlung von Haushaltungen Glassorten, die nicht zum Verpackungsbereich gehören (z.B. Flachglas, Sicherheitsglas u.a.) konsequent ausgeschlossen werden. Solche Glasabfälle können im Zusammenhang mit anderen Erfassungsvarianten, z.B. Sammlung von Sperrmüll, über Rücknahmestellen) gesammelt werden.

Als sehr geeignete Verfahren für die Altglassammlung von Haushalten haben sich das Bringschema mit zentral aufgestellten Depotcontainern (siehe Datenblatt „Depotcontainer") bzw. größer dimensionierten mobilen Abfallsammelbehältern (1,1 m³) erwiesen (siehe Datenblatt „Mobile Abfallsammelbehälter"). Spezielle Modifizierungen der Einwurföffnungen tragen dazu bei, den Anteil anderer unerwünschter Stoffe und potenzieller Verunreinigungen im Sammelgut zu verringern.

Als gebotener Standard ist die farblich getrennte Aufbereitung des Altglases anzusehen. Helles, also transparentes Glas verfügt wegen seiner Einsatzvielfalt über die beste Vermarktbarkeit und erlaubt es, wieder transparentes Glas herzustellen. Gemische an verschieden gefärbtem Glas können ohne weitere Trennung in der glasproduzierenden Industrie direkt nur für dunklere Glasprodukte eingesetzt werden. In moderneren Wirtschaften ist die Sortierung daher Standard. Eine farblich getrennte Erfassung erlaubt dann fast völlig automatisierte Sortierprozesse.

Abbildung 3: Prozess Altglasrecycling

Diese automatisierten Aufbereitungsverfahren unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Anzahl der installierten Linien zur Ausschleusung unerwünschter inerter Bestandteile wie Steine, Keramik u.a. sowie zur Verbesserung der farblichen Reinheit. Bei einlinigen Prozessanordnungen werden die unerwünschten Bestandteile in nur einem Siebungsschritt abgetrennt, mehrlinige Anlagen verwenden verschiedene Siebschritte mit Größenunterteilungen von z.B. < 15 mm, 15–30 mm, 30–60 mm und > 60 mm (siehe Datenblatt „Altglassortierung u. -aufbereitung")

Die Glasindustrie zieht aus dem Glasrecycling insbesondere zweierlei Nutzen; durch den Ersatz von Primärrohstoffen und geringeren spezifischen Energiebedarf beim Einschmelzen des Glasbruches. Eine hohe farbliche und stoffliche Reinheit sind jedoch ebenso wie eine Trennung der verschiedenen Glasarten (Verpackungsglas/Flachglas) dringende Voraussetzungen hierfür. Rücknahmesysteme für gebrauchtes Glas können eine saubere und mengenmäßig ausreichende Erfassung sehr unterstützen. In Deutschland liegen die Kosten für die Erfassung von Altglas und dessen Bereitstellung zum Recycling in der Glasindustrie in etwa in einem Bereich von 50 bis 100 Euro pro Mg (Preise Stand 2008).

Verpackungsabfälle

Für leichtgewichtige Verpackungsmaterialien die in Haushaltungen anfallen ist die Sammlung in gemischter Form möglich. Im Holsystem lassen sich Säcke (siehe Datenblatt „Abfallsäcke") bzw. mobilen Abfallsammel-

behältern (siehe Datenblatt „Mobile Abfallsammelbehälter") dafür nutzen, im Bringsystem sind Depotcontainer (siehe Datenblatt „Depotcontainer") geeignet. Eine getrennte Sammlung direkt vermarktbarer Verpackungsmaterialien wie Metallgebinde oder bestimmte Kunststoffraktionen (Großbehälter, PET) kann alternativ oder ergänzend sinnvoll sein. Je nach Marktlage und Verfügbarkeit von Sortiereinrichtungen erfolgt die Trennung des Materialgemisches üblicherweise in folgende Fraktionen:

- Weißblech
- Aluminium
- Getränkekartons (Tetra Packs)
- Verbunde von Papier und Pappen
- bunte Plastefolien
- weiße Folien
- andere Folien
- Kunststoffhohlkörper
- großdimensionierte Kunststoffprodukte
- Mischkunststoffe
- andere Metalle
- andere Stoffe inkl. nicht verwertbarer Materialien

Die angewandten Sortiertechnologien können sehr verschieden sein. Einerseits können sehr einfache Prozesskonfigurationen bei denen u.a. auch ein hoher Anteil an manueller Sortierarbeit anfällt, genutzt werden. Der Stand der Sortiertechnik ist jedoch heute von einer hohen Automatisierung geprägt. So ist die Nahinfrarottechnik (NIR-Scanner) für die automatische Materialerkennung bei der Sortierung aktuell die installierte Standardtechnik in modernen, deutschen Sortieranlagen. Diese Technologie ermöglicht es zum Beispiel verschiedene Kunststoffarten anhand der Polymerstrukturen automatisch zu unterscheiden und dementsprechende Trennschritte folgen zu lassen. Auf Grundlage dieser Technik kann u. a. die Trennung von PE, PP, PET und PS durchgeführt werden. Ebenfalls mit NIR möglich ist die farbliche Glassortensortierung. NIR Module sind mittels des Infrarotlichtes in der Lage die Position der verschiedenen Materialsorten auf dem Sortierband zu erkennen. Diese Daten werden an eine Verarbeitungseinheit gegeben welche dann die Ausschleusung der verschiedenen Materialien an verschiedenen Stellen des Sortierbandes z.B. durch Ausblasdüsen oder Schieber steuert.

Rücknahmesysteme die z.B. unter der Produzentenverantwortung errichtet und über Abgaben auf in Verkehr gebrachte Verpackungsmaterialien finanziert werden (Bsp. System „Der grüne Punkt" / The "Green Dot"-trademark) haben sich als effektive Ansätze zur Realisierung einer abfallartenspezifischen Erfassung, Sortierung und Verwertung erwiesen. Dies gilt insbesondere dort, wo für die nachträgliche technische Sortierung nur bedingt Kapazitäten verfügbar bzw. schwierig zu finanzieren sind. Inzwischen erlaubt automatische Sortiertechnik zwar auch einen Materialmix in verwertbare Fraktionen aufzutrennen, bei ausgewählten Abfallstoffen wie bspw. Altpapier bedeutet dieses Vorgehen allerdings einen deutlichen Verlust an Qualität. Die Vermarktbarkeit und Eignung für das Recycling ist hier am besten durch die Getrenntsammlung gewährleistet.

Kunststoff

Aus dem Abfallstrom gewinnbare Kunststoffe sind prinzipiell für den stofflichen Wiedereinsatz in der Kunststoffindustrie geeignet, müssen dazu aber noch sortengetrennt und mehrfach gereinigt werden. Dies ist aufwendig und technisch teils anspruchsvoll. Oft ist daher eine energetische Verwertung der Kunststoffe oder rohstoffliche Nutzung als Zuschlagsstoff in Hochofenprozessen bzw. in Form von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken oder Kraftwerken ein bevorzugter Weg und wirtschaftlicher. Die Bereitstellung der Kunststoffe für die Industrie einschließlich der gesamten Erfassungskette verursacht in Deutschland Kosten im Größenordnungsbereich von ca. 300 EUR/Mg (Quellen: Itad/consultic, 2015).

Abbildung 4: Recycling von sortenreinen Kunststoffverpackungen

Für das Recycling müssen die Kunststoffe gesäubert, eingeschmolzen und zu Regranulaten aufbereitet werden. Eine Möglichkeit gesammelte PET-Abfälle für

neue Kunststofflaschen zu nutzen, bietet der URRC-Prozess. Folienhersteller und Rohrproduzenten sind gleichfalls Nutzer von Regranulaten.

Kunststoffgemische lassen sich gut zu Ersatzbrennstoffen für die energetische Nutzung aufbereiten. Als Abnehmer kommen Zementwerke, die Kraftwerksindustrie und die Stahlindustrie in Frage (siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“). Im Verbrennungsprozess liefern die Kunststoffe als zusätzlicher Brennstoff Energie, teilweise wirken sie auch katalytisch oder reduzierend.

Abbildung 5: Recycling von gemischten Kunststoffverpackungen

Getränkekartons (Tetra Paks)

Auch Getränkekartons bilden für das Recycling einen geeigneten Ausgangsstoff. Dazu müssen die Kartons erst zerkleinert und dann in einem Pulper aufgelöst werden. Durch den Quellungsprozess lösen sich dabei die Papierfasern auch von der PE- und Aluminiumfolie in den Kartons. Der Faserbrei wird gereinigt und ist danach zur Papierherstellung wieder einsetzbar.

Abbildung 6: Recycling von Getränkekartons

Die so gewonnenen Sekundärfasern sind für hochwertige Produktgruppen gut geeignet, es können sowohl Kartonage- und Pappeartikel als auch Kraftpapiere, Haushalts- und Hygienepapiere daraus hergestellt werden.

Das ebenfalls gewonnen Polyethylene und Aluminium bilden erneut Ausgangsstoffe bei der Kunststoff- bzw. Aluminiumproduktion. Das Aluminium kann ferner als Bauxitersatz in der Zementproduktion Verwendung finden wobei es den Kalzinierungsprozess unterstützt.

Bioabfall

Eine Art Recyclingprozess, der auf die Nutzung des getrennt gesammelten biologischen Abfalls zur Erzeugung von Humus abzielt, ist die ***Kompostierung*** (siehe Datenblatt „Kompostierung“). Kompostierungsprozesse können allerdings auch in der biologischen Stufe einer mechanisch-biologischen Behandlung gemischter Haushaltsabfälle zur Anwendung kommen. Hier haben sie die Aufgabe die biologisch aktiven Bestandteile des Abfallgemisches soweit abzubauen, dass ein stabilisiertes, ablagerungsfähiges Material entsteht. Zur Kompostierung lassen sich sehr einfache Prozesskonfigurationen wie die der Kompostierung in offenen Mieten nutzen, gleichwohl gibt es auch technisch sehr fortentwickelte und insbesondere durch geschlossenen Kompostierbehälter beschleunigte Verfahren.

Um Kompost zu erzeugen, welcher die heute weithin anerkannten und geforderten Kriterien in Bezug auf Qualität und Umweltsicherheit bei der landwirtschaftlichen Verwendung einhält, ist eine Getrenntsammlung

biologischer Abfälle von allen anderen Abfallstoffen – auch als getrennte Bioabfallsammlung bekannt– unabdingbar. Warum diese besondere Forderung erhoben werden muss, verdeutlichen u. a. die Daten der Tabelle 1 und Tabelle 2. Demnach können Abfallkomposte mit der erforderlichen Güte und Umweltsicherheit nur mit Inputmengen aus der Bioabfallsammlung, nicht jedoch aus gemischten Abfällen zuverlässig erzeugt werden.

Tabelle 1: Mittlere Schwermetallkonzentrationen bei verschiedenen Herangehensweisen an die Kompostierung

Schwermetall	Kompost aus getrennt erfasstem Bioabfall Repräsentative Beispielwerte in mg/kg für Europa /Nordamerika	Entwicklungsländern empfohlener Kompoststandard	Gemischte Haushaltsabfallkompostierung Beispielwert in mg/kg aus den Niederlanden
Arsen	0	**10**	0
Cadmium	1,2	**3**	7,3
Chrom	27	**50**	164,0
Kupfer	15	**80**	608,0
Blei	86	**150**	835,0
Quecksilber	0,9	**1**	2,9
Nickel	17,0	**50**	173,0
Zink	287,0	**300**	1567,0

Tabelle 2: Globale Standards für Kompostprodukte aus Abfällen [in mg/kg Trockensubstanz] (Aktualität siehe Quellenangabe)

Land	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
USA (S)	41	39	1200	1500	300	17	420	2800
Kanada (MO)	13	2.6	210	128	150	0.83	62	500
Niederlande(MO)	15	1	50	90	100	0.3	20	290
Italien	10	1.5	100	300	140	1.5	50	500
Österreich (MO)	--	4	150	400	500	4	100	1000
Belgien (SSMO)	--	1	70	90	120	0.7	20	280
Dänemark	25	1.2	--	--	120	1.2	50	--
Frankreich (MO)	--	8	--	--	800	8	200	--
Deutschland*	**--**	**1.5**	**100**	**100**	**150**	**1**	**50**	**400**
Schweiz	--	3	150	150	150	3	50	500
Spanien	--	40	750	1750	1200	25	400	4000

(S) bezieht sich auf Klärschlamm, (MO) auf gemischte organische Abfälle, (SSMO) auf getrennt gesammelte Bioabfälle ,
Datenquellen: World Bank, 1997/Brinton, 2000/ * Güterichtlinie für Fertigkompost der Bundesgütegemeinschaft Kompost, Stand 2012

Das Erreichen und die Einhaltung der erforderlichen Güte und Umweltsicherheit kann durch die Festlegung von Qualitätsstandards und die Einführung eines Überwachungs- und Zertifizierungssystems erheblich unterstützt werden. Die Implementierung derartiger Mechanismen ist eine in Deutschland und anderen Ländern der Welt gängige Praxis.

Als besonders bekanntes und in vielen Fällen zum Vorbild gewordenes System gilt das deutsche Gütesicherungs- und Überwachungsverfahren nach RAL. Einen kurzen Überblick wie dieses System speziell im Bereich der Kompostierung umgesetzt ist, gibt die Informationsbox auf der Folgeseite.

Abfallbehandlung und Abfallvorbehandlung zur sicheren Deponierung

Maßnahmen zur Abfallbehandlung sollten grundsätzlich darauf ausgerichtet sein, die verwertbaren Bestandteile im erzeugten Abfall aus dem zur Ablagerung vorgesehenen, nicht nutzbaren Stoffstrom abzutrennen und so aufzubereiten, dass der höchstmögliche Nutzen aus deren rohstofflichen, stofflichen bzw. energetischen Eigenschaften gezogen werden kann. Weitere Ziele der Abfallbehandlung sind, dem abzulagernden Reststoffstrom potenziell gefährliche Stoffe zu entziehen, diese unschädlich zu machen oder wenigstens zu isolieren, das Volumen des Reststoffstromes zu verringern und ihn soweit zu stabilisieren, dass die Umweltwirkungen während der Deponierung auf ein Minimum reduziert wer-

den.

Die Durchführung einer Abfallvorbehandlung zur sicheren Deponierung kann mit einer Wertstoffrückgewinnung sowie der Nutzung des Energiegehaltes der jeweiligen Abfälle einhergehen. Abfallbehandlungsmaßnahmen sind integrierte Schritte eines umfassenden Abfallmanagementsystems können aber auch als eigenständige Prozesse in Kombination mit anderen abfallwirtschaftlichen Aktivitäten durchgeführt werden.

Informationsbox

Im Jahr 1991 wurden in Deutschland ein Qualitätsstandard, ein Qualitäts- bzw. Gütekennzeichen und das RAL Qualitätsmonitoring zur Gütesicherung von Kompostprodukten aus getrennt gesammeltem Bioabfall aus Haushaltungen und dem Garten- und Landschaftsbau eingeführt. Als Prüf- und Vergabestelle für das Gütekennzeichen fungiert die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK). Die Bundesgütegemeinschaft ist seitens des Deutschen Instituts für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (RAL) als Organisation die sich mit dem Monitoring und der Kontrolle von Qualitätskomposten in Deutschland beschäftigt offiziell anerkannt. Im Jahr 2000 wurde auch ein analoger Gütesicherungsmechanismus für Gärprodukte eingeführt. Im November 2007 haben sich die Mitglieder der Bundesgütegemeinschaft Kompost zusätzlich auf verbindliche Standards zur Prozessqualität ihrer Produktionsanlagen geeinigt. Damit werden die bekannten Anforderungen an die Qualität von Komposten und Gärprodukten um Standards für den Anlagenbetrieb ergänzt. Das RAL Gütezeichen steht nunmehr nicht allein für eine hohe Qualität der Produkte, sondern auch für eine gute fachliche Praxis des Anlagenbetriebs.

Gütesicherungssystem für Biokomposte RAL- GZ 251
Der Standard RAL-GZ 251 umfasst die Regelungen der BGK bezüglich der Qualitätskriterien und ihrer Gewährleistung für Kompostprodukte. Es handelt sich hierbei um eine freiwillige Selbstverpflichtung der Kompostierwerke zur Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen, umweltfreundlichen Kompostierung. Viele der in der RAL-GZ 251 verankerten Grundprinzipien finden sich auch an anderer Stelle in der deutschen Rechtsprechung und Regulierungssituation für biogenen Abfallstoffe wieder (z.B. Bioabfallverordnung – BioAbfV).

Gütesicherungssystem für Gärprodukte RAL- GZ 256/1
Seit dem August 2000 wurden mit dem Standard RAL-GZ 256/1 die Regularien der BGK auch im Hinblick auf die Qualität und Gütesicherung von festen und flüssigen Gärprodukten festgeschrieben. Es handelt sich dabei ebenfalls um eine freiwillige Selbstverpflichtung der vergärenden Industrie.

Mit den genannten Qualitäts- und Gütesicherungssystemen obliegen den Kompostierwerken und Vergärungsanlagen eine Reihe von Pflichten in Bezug auf die regelmäßige Produktanalyse und ihre Verifizierung durch unabhängige Dritte. Die Aktivitäten und Feststellungen der BGK werden seitens der Entscheidungsträger offiziell anerkannt. Auch die Gesetzgebung billigt den Bioabfällen welche einem ständigen Monitoring durch unabhängige externe Instanzen unterliegenden bereits den Status eines "wahrscheinlichen Produktes" und nicht mehr nur den von Abfall zu. Nach neuesten Initiativen auf der Ebene der gesamten EU steht die endgültige Anerkennung des Status als Produkt in unmittelbarer Aussicht. Firmen die in der Bundesgütegemeinschaft Kompost Mitglieder sind und sich den entsprechenden Pflichten zur freiwilligen Selbstkontrolle unterordnen sind in erheblichem Umfang von intensiveren Kontrollmaßnahmen staatlicher Behörden und Organe befreit (statt 24 Kontrollbeprobungen im Jahr nur max. 12) und haben geringere Auflagen was die Berichterstattung an diese Stellen betrifft.
[Quelle: European Compost network]

Behandlungsvorgänge, die auf dem Prinzip der ***anaeroben Vergärung bzw. Fermentation*** beruhen, bilden ein komplementäres Element zur bereits angesprochenen Kompostierung im Bereich biologischer Abfallbehandlungsmöglichkeiten. Sie haben dabei den Vorteil, dass der Energiegehalt der Abfälle zusätzlich genutzt und Biogas zur Energieerzeugung gewonnen wird und in der Regel ein geringerer Platzbedarf sowie weniger Einschränkungen in Bezug auf die Reinheit des Inputmaterials bestehen. Die anaerobe Vergärung (siehe Datenblatt „Anaerobe Vergärung") kann folglich als eigenständiger Prozess für die Behandlung biologischer, hierbei wiederum möglichst getrennt gesammelter Abfälle angewandt werden, sie kann allerdings auch integrativer Bestandteil einer mechanisch-biologischen Behandlung für gemischte Restabfälle sein.

Die ***mechanisch-biologische Restabfallbehandlung*** (siehe Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung") hat sich insbesondere mit Einführung von Ablagerungsverboten für unbehandelte Abfälle (z.B. in Deutschland seit 2005 bestehend) als eine Behandlungsmethode etablieren können. Diese Art der Restab-

fallbehandlung ermöglicht neben bzw. alternativ zur Abfallverbrennung, den Abfallstrom zur Ablagerung volumenmäßig deutlich zu reduzieren und insbesondere die biologisch reaktiven Substanzen in diesem Abfallstrom zu minimieren. Diese Technologie vereint in mehreren Prozessstufen die Rückgewinnung von Stoffen für das Recycling sowie eine energetische Nutzung und/oder die Stabilisierung der biologisch abbaubaren Fraktion vor deren Deponierung.

Mechanisch-biologische Abfallbehandlung bildet einen Überbegriff für alle Konzepte bei denen Abfälle durch eine Kombination von mechanischen und biologischen Prozessen behandelt werden, einschließlich der Vorgänge bei denen die Prozessreihenfolge umgekehrt ist. Die Hauptunterscheidungsmerkmale der verschiedenen Konzeptionen liegen daher auch bei der Anordnung der wesentlichsten Prozessschritte und in der Zielstellung des biologischen Behandlungsschrittes. Die Anordnung der wesentlichen Prozessschritte richtet sich entweder an einem „Splitting"-Konzept oder aber dem Ansatz der „Stabilisierung" aus.

Bei der Variante des "Splitting" erfolgt zuerst die mechanische Auftrennung des Gesamtinputstromes in verschiedenartig verwertbare, gegebenenfalls energetisch nutzbare bzw. biologisch weiter zu behandelnde Fraktionen. Für den biologischen Behandlungsschritt kommen Rotte- bzw. Vergärungsverfahren in Frage bzw. die Kombination einzelner Elemente beider Verfahrenswege. Bei Einsatz der Methode der anaeroben Vergärung als biologischen Behandlungsschritt liegt ein Hauptaugenmerk der Prozesskonfiguration bei der optimierten Biogasproduktion. Bei Anwendung von Rotteverfahren auf den gemischten Restabfall steht die Herbeiführung eines biologisch stabilisierten bzw. schadstoffentfrachteten und energetisch verwertbaren Materials im Vordergrund.

Beim Ansatz der "Stabilisierung" wird der Abfall in seiner Gesamtheit einer biologischen Behandlung unterzogen. Ziel ist eine biologische Trocknung und weitestgehende Hygienisierung des Abfalls bevor im Anschluss nicht brennbare Bestandteile mechanisch abgetrennt werden. Der verbleibende Materialstrom kann in entsprechenden Verbrennungsanlagen als sogenannter Ersatzbrennstoff zur Energieerzeugung eingesetzt werden.

Für ausgewählte Abfallarten (insbesondere für Schlämme aber auch gemischte Haushaltsabfälle) kann die Trockenstabilisierung und zur Nutzung als Ersatzbrennstoff not-wendige Heizwerterhöhung auch auf dem Wege eines physikalischen Trocknungsprozesses herbeigeführt werden. Die solare Abfalltrocknung (siehe Datenblatt „Solare Abfalltrocknung") spielt an dieser Stelle eine bedeutende Rolle bei der ***Behandlung von Klärschlamm aus der Abwasserbehandlung***. Auf diesen Bereich konzentrieren sich derzeit auch die ***Verfahren zum Phosphorrecycling*** (siehe Datenblatt „Phosphorrecycling").

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung bildet keine Methode zur finalen Entsorgung von Abfällen, da auf den daraus hervorgehenden Behandlungsrest weitere Maßnahmen in Form einer geordneten Ablagerung oder Verbrennung anzuwenden sind. Welche dieser beiden Maßnahmen in Anspruch genommen werden soll, muss allerdings bereits feststehen bevor es zur Errichtung bzw. Nutzung einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlung kommt.

Die ***Abfallverbrennung*** oder auch thermische Verwertung von Abfällen ist als ein wesentlicher Baustein zur Umsetzung einer modernen, integrierten Abfallwirtschaftsstrategie weithin anerkannt. Einschließlich der Möglichkeiten zur Energiegewinnung und Wärmeauskopplung ist die Abfallverbrennung nach wie vor die zuverlässigste und effektivste Methode, um nicht anderweitig verwertbare Abfälle sicher und nutzbringend zu entsorgen.

Konventionelle Verbrennungstechniken wie die Rostverbrennung (siehe Datenblatt „Rostfeuerung") und die Wirbelschichtverbrennung (siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung") befinden sich ebenfalls in einem Prozess der ständigen Verbesserung hinsichtlich Sicherheit und Effizienzgraden. Sie sind zudem mit der entsprechenden Reinigungstechnologie und Nachsorge auch für ein sehr breites Spektrum von Abfallstoffen einschließlich solcher mit hohen Schadstoffkonzentrationen geeignet und haben sich hierfür weltweit als zuverlässig erwiesen und bewährt. Abfälle als Ersatzbrennstoff (EBS) oder Brennstoffsubstitut bei der industriellen Energieerzeugung einzusetzen stellt einen Behandlungsansatz für ausgewählte oder entsprechend vorkonditionierte Abfallbestandteile dar. Es handelt sich dabei um eine Mitverbrennung speziell vorbehandelter (von anderen Abfallstoffen abgetrennter) und aufbereiteter hochkalorischer Abfallstoffe in industriellen Feuerungsanlagen (bspw. Zementöfen, Kraftwerksanlagen der Papierindustrie) oder deren Verwendung in bereits darauf spezialisierten Kraftwerken in Form einer Monoverbrennung (siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung").

Alle thermischen Behandlungsprozesse müssen sich strikten Regularien und Maßnahmen zur Vermeidung, Reduzierung und Kontrolle potenziell toxisch und anderweitig umweltrelevant wirkender Emissionen unterordnen. Diese Festlegungen bzw. Eingriffe haben einen erheblichen Einfluss auf den Kapitalbedarf sowie die Betriebskosten von Abfallverbrennungsanlagen. Welche Emissionen letztlich entstehen und behandelt bzw. kontrolliert werden müssen, hängt sehr stark von der Zusammensetzung der Abfälle und dem zu ihrer Verbrennung angewandten Prozess ab. Oft werden in diesem Zusammenhang die Unterschiede zwischen Pyrolyse und den konventionellen Verfahren der Abfallverbrennung speziell herausgehoben. Aktuell hat sich die Pyrolyse als standardisiertes thermisches Verfahren bzw. großtechnische Lösung in kaum einem Land (so auch nicht in Deutschland) durchgesetzt. Auf spezielle Abfallströme und besondere lokale Gegebenheiten bezogen kann es Sinn machen, ein Einsatz dieser Verfahren zumindest abzuprüfen und eine Anwendung der Technologie bei erwiesener und nachhaltig darstellbarer Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit nicht kategorisch auszuschließen.

Für alle thermischen Verwertungswege muss, bei deren Anwendung und Fortentwicklung insbesondere ein zentrales Augenmerk auf die Gewährleistung der Abgasreinigung gelegt werden (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“).

Hinweis: Detaillierte Beschreibungen der im Text angesprochenen Technologien und Ausrüstungen sind in den nachfolgend aufgelisteten Datenblättern enthalten.

Tabelle 3: Übersicht der auch in separaten Informationsabschnitten und Datenblättern behandelten Technologien und Ausrüstungen

Datenblätter
Aufbereitung/ Wertstoffgewinnung
Altpapiersortierung und -aufbereitung
Altglassortierung und -aufbereitung
Verpackungssortierung und -aufbereitung
Sperrmüllaufbereitung
Kompostierung
Anaerobe Vergärung
Phosphorrecycling
Stabilisierung/Abfallvorbehandlung
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
Solare Abfalltrocknung
Verbrennung/ Industrielle (Mit-)Verbrennung
Rostverbrennung
Wirbelschichtverbrennung
Abgasreinigung

Umwelt Bundesamt

ALTPAPIERSORTIERUNG UND -AUFBEREITUNG

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	-Aufbereitung und Sortierung von Altpapier (in unterschiedlicher Auslegung hinsichtlich der Technisierung/Automatisierung) zur Erzeugung von Altpapiersorten gemäß Europäischer Standardsortenliste EN 643 für den Einsatz in der Papierproduktion (graphische u. nichtgraphische Produkte)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton	X	Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten					

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:

Die Sammlung von Altpapier hat getrennt von anderen Abfallstoffen, insbesondere von solchen Abfällen die nass, fettig bzw. anderweitig verunreinigt sind zu erfolgen, um eine effektive und hochwertige Verwertung zu ermöglichen (separate Altpapiersammlung). Nicht von anderen Abfällen getrennt gesammeltes und aus anderen Abfallströmen oder -gemischen zurückgewonnenes Altpapier kann in der Regel nur für minderwertige Recyclingqualitäten (z.B. Pappen niedriger Qualität) verwendet werden.

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:

Die bei der Sortierung gewonnenen Papierfraktionen sind direkt zur Papier- bzw. Pappeherstellung oder für andere Formen des Recyclings einsetzbar. Andere Formen des Recyclings sind z.B. die Erzeugung von Isolationsmaterial, Fasergussprodukten oder auch der Einsatz zur Faserplattenproduktion und als Asphaltzusatzstoff.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:

Fremd- u. Störstoffe aus der Sortierung sind anderweitig zu entsorgen, i.d.R. lassen sie sich energetisch verwerten

Potenzielle Gesundheitsrisiken:

Die Sortierung von Altpapier zur Papierherstellung soll u.a. auch sicherstellen, dass Papierarten, aus denen sich gesundheitsschädliche Stoffe, wie bspw Diisopropylnaphthalin (DIPN) aus Selbstdurchschreibepapieren) lösen können, nicht in die Produktion von Papiersorten mit Lebensmittelkontakt gelangen. Der Sortierprozess dient damit auch der Minderung von Gesundheitsrisiken bei der Altpapierverwendung.

Besondere Schutzerfordernisse:

Besonders wichtig sind Vorkehrungen zum Brandschutz, Arbeitsschutz bei bewegten Arbeitsmitteln und Lasten (Papierballen) sowie an Anlagen mit bewegten Teilen. Außerdem ist das Altpapier vor Nässeeinfluss zu schützen.

Besondere Beschäftigungspotenziale:

Die nachträgliche Qualitätskontrolle der automatisierten Sortierverfahren für Altpapier lassen sich auch gut auf manuellem Weg umsetzen, wobei ein hohes Potenzial zur Beschäftigung von Arbeitskräften, insbesondere auch weniger qualifizierter Personen besteht.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:
Klimatische Gegebenheiten: Das gesammelte Papier und die Sortieranlage (insbesondere Lagerbereich) ist vor Wettereinflüssen wie Wind und Niederschlag zu schützen. **Sonstige:** Für einen wirtschaftlichen Betrieb sind i.d.R. ein größeres Einzugsgebiet für die Altpapiererfassung und hohe Reinheitsgrade der Altpapiere (durch Getrennterfassung im Anlageneingang und insbesondere nach der Sortierung) notwendig. Durch verstärkte Nutzung elektronischer Kommunikation ist eine sinkende Nachfrage nach grafischen Papieren zu verzeichnen. Der Rückgang wird bei Zeitungs- und Büropapieren bis 2020 auf nur noch etwa 50% der Nachfrage zum Jahr 2008 geschätzt. Demgegenüber ist der Bedarf an Papier für Verpackungen und Kartonagen konstant bzw. steigend. Sortierprozesse sollten bezüglich Marktveränderungen flexibel gestaltet werden.

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Die Aufbereitung ist prinzipiell ein mechanischer Prozess zur Entfernung von Feinmaterialien und Störstoffen (z.B. mineralische Substanzen, kleine Metallteile) gefolgt von Sortierschritten mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden (Nahinfrarottechnik-NIR, visuelle Spektrometrie-VIS, manuelle Sortierung) zur Erzeugung verschiedener Altpapiersorten aus der separaten Altpapiersammlung.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Das Altpapier muss getrennt von sonstigem gewerblichen Abfall oder Abfall aus Haushalten gesammelt werden. - Das Material darf nicht stark verunreinigt und muss relativ trocken sein. Die novellierte Europäische Altpapiersortenliste EN 643 führte (Stand 2013) dazu zulässige Höchstgrenzen für papierfremde Bestandteile und unerwünschte Materialien für jede Papiersorte ein. Generell darf die Summe der Störstoffe nicht höher als 3 Ma-% sein.
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	- Altpapiersorten mit definierten Qualitäten; nach EN 643 sind das bspw.: - *Altpapier 1.11*: Sortiertes grafisches Papier mit einem Mindestanteil von 30 % an Zeitungen und einem Mindestanteil von 40% an Illustrierten/Magazinen, wobei der Fremdstoffanteil höchstens 1,5% beträgt - *Altpapier 1.02*: Eine Mischung verschiedener Papier- und Pappenqualitäten, die maximal 40 % an Zeitungen und Illustrierten enthalten *Altpapier 1.04:* Gebrauchte Papier- und Kartonverpackungen, die mindestens 70 % Wellpappe enthalten, Rest Pappe und andere Verpackungspapier - Der Störstoffanteil im sortierten Papier übersteigt nicht die Vorgaben (z.B. max. 3 Ma.-% lt. EN 643)
BESONDERE VORTEILE	- sind je nach gewählter Verfahrens- bzw. Anlagenkonfiguration unterschiedlich zu bewerten *Grundkonfiguration* - einfache Techniken, daher relativ geringe Kapital- und Wartungsaufwendungen - sehr zuverlässig, Anlagenverfügbarkeit bei ›95 % - sehr flexibel *Erweiterte Konfiguration* - Automatisierte Prozesse (u. a. durch NIR-Detektion), daher weniger personalintensiv - mechanische sowie sensorgestützte Vorsortierung erhöht Reinheitsgrad - erheblich höhere Durchsatzmengen möglich

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- sind je nach gewählter Verfahrens- bzw. Anlagenkonfiguration unterschiedlich zu bewerten

Grundkonfiguration

- arbeitsintensiv (großer Personalbedarf)
- relativ geringer Durchsatz

Erweiterte Konfiguration

- investitionsintensiv aufgrund des Einsatzes hochwertigerer und sensitiverer Maschinen
- höherer Qualifizierungsbedarf des Personals
- höherer Energiebedarf

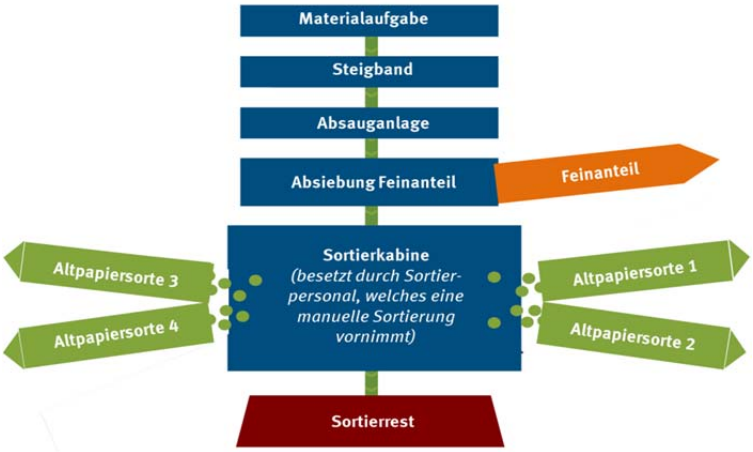
ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Zur optimalen Nutzung der Sortierkapazitäten und Sortiereffizienz bedarf es der gleichmäßigen Beschickung und Materialvereinzelung des Inputs am Einstiegspunkt in die Sortierung.

In der *Grundkonfiguration* werden über mechanisch-physikalische Prozesse wie z.B. Siebungen, Magnetabscheidung, Saug-/Blasverfahren u.a. Feinmaterialien (z.B. mineralische Substanzen, kleine Metallteile) entfernt und anschließend verschiedene Sorten von Altpapier (AP) manuell sortiert. Die folgende Grafik zeigt den Prozess schematisch:

Abbildung 1: Beispielhafter Sortierprozess in der Grundkonfiguration zur Erzeugung verschiedener AP-Sorten



In der *erweiterten Konfiguration* erfolgt die Aufbereitung teilweise automatisiert und sensorunterstützt. Ziel des Aufbereitungsprozesses ist vorrangig die Herstellung einer hochwertigen Altpapierqualität für die Herstellung von Zeitungs- und Magazinpapieren (Deinkingware 1.11). Dazu werden anfänglich durch mechanisch-physikalische Prozesse analog der Grundkonfiguration u.a. Fein- und Fremdmaterialien entfernt. Anschließend wird, z.B. mit Hilfe von Spike-Technologien oder ballistischen Separatoren, mit sensorgestützter und manueller Sortierung nach Pappe/Kartonagen, Zeitungen/Zeitschriften, gemischten Altpapier und einem Sortierrest getrennt.

Generell besteht ein Trend den Reinheitsgrad der Altpapiersorten zu erhöhen und dafür zum verstärkten Einsatz von automatisierten, optoelektronischen und teilweise mehrstufig angeordneten Sortiereinrichtungen mit einer sich anschließenden manuellen Qualitätskontrolle überzugehen. Ohne Nachsortierung gehen über die Outputströme von Sortieranlagen erhebliche Mengen an deinkbaren AP-Qualitäten verloren (20–40%). Dieser Verlust kann durch eine integrierte Nachsortierung um rund 50% verringert und damit auch die erzeugte Sortenqualität und das Vermarktungsergebnis insgesamt verbessert werden.[1] Die Gestaltung der Altpapiersortierung bei Anwendung einer erweiterten Prozesskonfiguration zeigt die folgende schematische Darstellung. Technikeinsatz und die Anordnung der einzelnen Prozessschritte sind dabei in der Praxis vielgestaltig.

[1] Hanke, A., Tempel, L. (2014): Anlagenbau im Aufbereitungsbereich – am Beispiel der Altpapiersortierung. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 7, Nietwerder: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 332-248

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Abbildung 2: Sortierbeispiel in einer erweiterten Prozesskonfiguration zur Erzeugung verschiedener AP-Sorten

Eine hohe Herausforderung besteht darin, auf laufende Veränderungen der AP-Zusammensetzung (derzeitig rückläufige Mengen an Büropapieren gegenüber konstanten oder steigenden Verpackungspapieren und Kartonagenanteilen) über flexible Gestaltung und Anpassung von Sortierprozessen reagieren zu können und wirtschaftliche Abläufe zu sichern.

STOFFFLUSS UND -MENGEN

- fallen je nach gewählter Verfahrens- bzw. Anlagenkonfiguration unterschiedlich aus

Grundkonfiguration

- Der durchschnittliche Anlagendurchsatz liegt bei ca. 5 Mg/h.
- Sortiertiefe und -intensität sind vermarktungsabhängig sehr flexibel anpassbar

Erweiterte Konfiguration[1]

- Der Anlagendurchsatz kann ca. 8–12 Mg/h je Prozesslinie erreichen.
- pro Mg Anlagendurchsatz bis zu 1,5% Störstoffe (= Kunststofffolien, Styropor, Textilien, elektronische Kleingeräte u. a.)
- bis zu 70% vom gemischten AP-Input als Deinkingware sortierbar (Papiersorte 1.11)
- 30–40% entfallen auf die Sorten 1.02 (gemischtes Altpapier) und 1.04 Verpackungen)

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Die Aufbereitung von Altpapier kann dem eigentlichen Recycling des Wertstoffes in der Produktionsanlage Papierfabrik direkt vorgelagert werden, eine externe Aufbereitung ist nicht in jedem Fall erforderlich.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

Der Energiebedarf für die Altpapiersortierung liegt in einer Spanne von 20–50 kWh/Mg[2]. Die Altpapiersortierung ist für mehr Papierrecycling notwendig, so dass die gesamtökologischen Vorteile des Recyclings in den Vordergrund treten. Ein Überblick liefert folgende Übersicht:

Tabelle 1: Vergleich des Energie- und Rohstoffbedarfs von Primärfaserpapier und Altpapier[3]

	Pro Kilo Recyclingpapier	Pro Kilo Primärfaserpapier
Wasser	15 Liter	50 Liter
Energie	2 kWh	5 KWh
Fasergrundlage	1,2 kg Altpapier	Fasern aus 1 kg faserigen Bestandteilen (Zellulose) von insgesamt 2,2 kg Holz
CSB	3 g	15 g

[2] Stand 11/2010. EnergieAgentur.NRW: Effiziente Energienutzung in der Papierindustrie

[3] Basierend auf diversen Quellen, u.a. Umweltbundesamt (2000); IFEU Institut (2008), JRC (2012), FÖP (2012)

CO_2-RELEVANZ	Papierrecycling verringert den Einsatz von Primärfasern und hat einen geringeren Energieverbrauch als die Papierherstellung aus Primärrohstoffen zur Folge. Im Schnitt vermeidet der Einsatz einer Tonne Altpapier über 700 kg CO_2 im Vergleich zur Produktion mit Primärrohstoffen[4]. Eine Beispielanlage der erweiterten Konfiguration in Berlin mit 120.000 Mg Jahresdurchsatz ermöglicht durch die sortierte Altpapiermenge die Einsparung von ca. 75.000 Mg CO_2.
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- keine weiteren als die genannten technischen Aggregate
PERSONALBEDARF	*Grundkonfiguration* - üblich sind bis zu 8 Mitarbeiter, davon 1 Vorarbeiter, 6 Mitarbeiter für die manuelle Sortierung und 1 flexibler Mitarbeiter (Staplerfahrer, Maschinist). *Erweiterte Konfiguration* - Fahrweise im Schichtbetrieb erfordert insgesamt eine größere Personaldecke (ca. 15–20 Mitarbeiter), bezogen auf den Durchsatz ist das Personalverhältnis jedoch meist günstiger als bei Anlagen der Grundkonfiguration
FLÄCHENBEDARF	- Hallenfläche von ca. 4.000–5.000 m² für eine durchschnittliche Anlage
NACHSORGE-AUFWAND	- es ist davon auszugehen, dass mindestens 3 % vom Input als Störstoffe anfallen und extern zu entsorgen sind
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	*Grundkonfiguration* - ohne sonstige Strukturen und Gebäudehülle (mit Stand 2008) bei EUR 30.000–80.000 für eine durchschnittliche Prozesslinie *Erweiterte Konfiguration* - in Abhängigkeit des Einsatzes von z. B. optoelektronischen Sortiereinheiten bei bis zu EUR 10 Millionen für eine moderne Aufbereitungsanlage
BETRIEBSKOSTEN	*Grundkonfiguration* - normalerweise in der Größenordnung von 15–20 EUR/Mg, davon Kosten für Reparatur und Wartung zwischen 2.000–5.000 EUR/a (6–8 % der Investkosten) *Erweiterte Konfiguration* - in der Größenordnung von 11–15 EUR/Mg, können in Abhängigkeit von angewandter Technik und Nachsortierintensität aber stärker variieren
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	Folgende Markterlöse waren im ersten Halbjahr 2015 in Mitteleuropa erzielbar: - Gemischtes Altpapier (1.02): 70–91 EUR/Mg (Vgl. Juli 2011: 128 EUR/Mg) - Pappe/Kartonagen (1.04): 72–90 EUR/Mg (Vgl. Juli 2011: 129 EUR/Mg) - Deinkingware (1.11): 77–84 EUR/Mg (Vgl. Juli 2011: 120 EUR/Mg)[5]
MASSESPEZIFISCHE GESAMT-KOSTEN	*Grundkonfiguration* - sind im Wesentlichen durch die Betriebskosten bestimmt *Erweiterte Konfiguration* - variieren aufgrund größerer Vielfalt an spezifischen Anlagenlösungen stark, sind (ohne Berücksichtigung der Erlöse) in einem Bereich von 30–90 EUR/Mg anzusetzen

[4] Umweltbundesamt Texte 46/2015: The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector
[5] Statistisches Bundesamt: Index der Großhandelsverkaufspreise-Altpapier und Altmetalle, August 2015, Wiesbaden

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

Sortieranlagen beider Anlagenkonfigurationen finden sich in großer Anzahl in europäischen Staaten und weltweit. Der erweiterten Konfiguration entsprechende Anlagen in Deutschland sind z.B.

- Altpapier Sortierung Dachau GmbH www.asd-entsorgung.de
- Wertstoffunion Berlin www.wertstoffunion.de
- Eine Listung weiterer Anlagen findet sich auf folgender Seite des Landes Brandenburg

Systemlösungen werden u.a. angeboten durch:
- Sutco Recycling Technik GmbH www.sutco.de
- Entsorgungstechnik Bavaria GmbH www.entsorgungstechnik-bavaria.de

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Anlagen der verschiedenen Auslegungsvarianten werden durch eine Vielzahl von Entsorgungsunternehmen betrieben, dazu gehören u.a.:

- Sulo www.sulo.com
- Suez Deutschland www.suez-deutschland.de
- Remondis www.remondis.de
- Alba-Gruppe www.alba.info

Die zur Aufbereitung genutzten Aggregate und Ausrüstungen gehören zu dem üblichen Pool an Technik, welcher für mechanische Prozesse im Bereich der gesamten Abfallwirtschaft zur Verfügung steht bzw. dort zur Anwendung kommt. Insbesondere gehören dazu:

Förderbänder/ Dosierer:
- Rudnick + Enners Maschinen- u. Anlagenbau GmbH, Alpenrod www.rudnick-enners.de
- Ludden & Mennekes, Meppen www.ludden.de
- Spezialmaschinen & Recyclingtechnik, Chemnitz www.sr-recyclingtechnik.com

Klassiertechnik:
- Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel www.mogensen.de
- Stadler Anlagenbau GmbH, Altshausen www.w-stadler.de
- EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com
- Spaleck – Förder- und Separiertechnik www.spaleck.de

Absaugtechnik:
- NESTRO Lufttechnik GmbH, Schkölen/Thüringen www.nestro.com

Metallabscheider (Fe u. NE):
- Steinert Elektromagnetbau GmbH, Köln www.steinertglobal.com
- IMRO Maschinenbau GmbH, Uffenheim www.imro-maschinenbau.de
- Wagner Magnete GmbH & Co. KG, Heimertingen www.wagner-magnete.de

Balierer/Pressen:
- HSM GmbH + Co. KG, Salem www.hsm.eu

Sensorgestützte Sortierung
- Tomra Systems GmbH www.tomra.de
- Sesotec GmbH www.sesotec.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Die europäische Papierindustrie ist, vertreten durch die CEPI (www.cepi.org), eine freiwillige Selbstverpflichtung eingegangen, in der sie erklärt, das Altpapierrecycling weiter auszubauen u.a. durch den Einsatz investiver Mittel bzw. fortgesetztes Engagement in technologische Entwicklungen und Forschung sowie auch durch den mengenmäßigen Ausbau des Altpapiereinsatzes bei der Produktion an sich. Durch diese Art der Verpflichtung soll sichergestellt werden, dass Anstrengungen zum Recycling entlang der gesamten Kette von Akteuren und Papiernutzern kontinuierlich fortgesetzt und weiter verstärkt werden und es somit von staatlicher Seite keiner Interventionen und Vorgaben über das Recycling von Altpapier bedarf.

Umwelt Bundesamt

AUFBEREITUNG UND SORTIERUNG VON ALTGLAS

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	-Aufbereitung von gesammeltem Behälteraltglas zum Einsatz als sekundärer Rohstoff in der Glasindustrie

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X	Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten					

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Die Sammlung von Altglas sollte getrennt von anderen Abfallstoffen erfolgen (separate Altglassammlung). Auch die gemeinsame Erfassung von Behälter- bzw. Verpackungsglas mit Flach-, Wirtschafts- oder Spezialglas ist aufgrund anderer stofflicher Zusammensetzungen und daraus resultierender Beeinträchtigungen bei der Verwertung zu vermeiden. Anderenfalls ist vorher eine Abtrennung der Glasfraktion von den sonstigen Abfallstoffen notwendig. Zur Erhöhung der Verwertungsmöglichkeiten und -qualität ist zudem eine Erfassung getrennt nach der Farbe des Glases sinnvoll. Die getrennte Erfassung in Deutschland erfolgt in etwa in einem Verhältnis von 50% : 40% : 10% (weiß/grün/braun)

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Die bei der Sortierung gewonnenen Glasfraktionen sind direkt zur Glasherstellung oder für andere Recyclingprodukte wie beispielsweise Dämmstoffe (Glaswolle, Schaumglasprodukte) einsetzbar. Aussortierte Metalle sind ebenfalls direkt recycelbar.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Aussortierte Reststoffe können i.d.R. als Inertmaterial deponiert werden.

Besondere Schutzerfordernisse:
Vorkehrungen bzw. eine Abschirmung der Umgebung und des Betriebspersonals gegenüber erhöhten Lärmemissionen bei der Sortierung sind zu treffen

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Für wirtschaftlichen Betrieb ist i.d.R. ein größeres Einzugsgebiet für die Altglaserfassung notwendig

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Bei der Aufbereitung von Behälterglas handelt sich im Wesentlichen um mechanische Prozesse mit einer nach Art und Intensität unterschiedlichen Vorsortierung/ Störstoffauslese und Ausschleusung bestimmter Fraktionen (z.B. Metalle) sowie einer anschließenden automatischen Sortierung mit der Ziel der Gewinnung von Glas mit einer bestimmten Farbreinheit.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

- Das Glas muss getrennt von gewerblichem Abfall, vermischtem Abfall oder anderen Glasarten (Flachglas) und idealerweise getrennt nach Farbe gesammelt bzw. angeliefert werden,
- Hauptbestandteil sind Verpackungsgläser, ungeeignet sind Gläser mit anderer Zusammensetzung wie z.B. Flach-, Sicherheits- oder temperaturbeständiges Glas.
- für die Sortierung und Beschickung des Schmelzofens ist eine Korngröße von ca. 20 mm erforderlich; außerdem ist eine gewisse Reinheit zu gewährleisten

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- Glasbruch definierter Qualität zum Einsatz in der Glasindustrie
- Im Mittel zulässige Störstoffanteile nach der Sortierung in g/Mg[6]:
  - Keramik, Steine, Porzellan < 20 (ein künftiger Wert von 10 g/Mg wird diskutiert)
  - Nichteisenmetalle < 3
  - Eisenmetalle < 2 g/Mg
  - Glaskeramik < 5 (für Teilchen größer 10mm), <10 (für Teilchen kleiner 10mm)
  - Lose Organik < 300
- Maximale Fehlfarbenanteile nach Sortierung[1]:

Tabelle 2: maximale Fehlfarbenanteile bei der Altglassortierung

Fehlfarbenanteile	In Prozent
Weißglasfraktion	Farbe Braun: ≤ 0,3% Farbe Grün: ≤ 0,2% Andere Farben: ≤ 0,2%
Grünglasfraktion	Farbe Braun max. 10 %, bei min. 75% grünem Scherbenanteil
Braunglasfraktion	Farbe Grün max. 10 % bei min. 80% braunem Scherbenanteil

BESONDERE VORTEILE

- weitgehend automatisierter Prozess
- hoher Durchsatz
- gesicherte Qualitäten

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- kostenintensiv
- i.d.R. großes Einzugsgebiet für wirtschaftlichen Betrieb erforderlich

ANWENDUNGSDETAILS

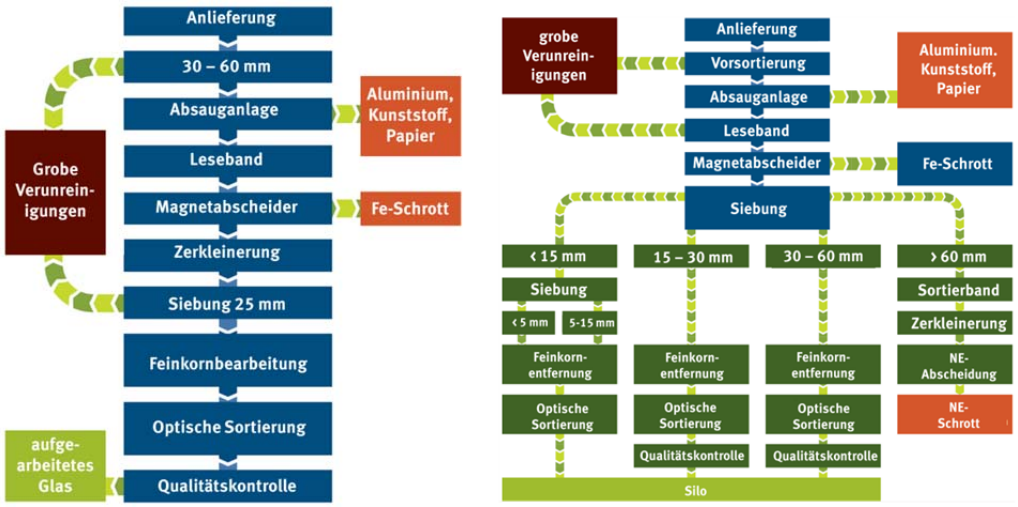
TECHNISCHE UMSETZUNG

Das angelieferte Glas wird farbgetrennt und überdacht gelagert, bis es in einen Aufgabebunker überführt wird. Es folgt eine grobe Siebung und eine manuelle Vorsortierung, die grobe Verunreinigungen entfernt. Den Anschluss bilden die magnetische Abscheidung von Eisenmetallen und weitere Siebungen bei unterschiedlichen Maschenweiten (z.B. 15 mm, 30 mm, 60 mm) begleitet von der Ausschleusung von Inertmaterial und Nichtglaskomponenten. Weitere Schritte sind:

- die Erhöhung der Reinheit in den Fraktionen 5–15 mm, 15–30 mm und 30–60 mm, z.B. durch Nutzung optischer Sortiertechniken,
- die Zerkleinerung,
- die wiederholte Ausschleusung von Inertmaterial, Nichtglaskomponenten und Nichteisenmetalle und
- optische Farbsortierung mittels Infrarottechnologie.

Die folgenden beiden Schemen zeigen gängige Verfahrenskonfigurationen:

[6] BV Glas, BDE, bvse: Leitlinie „Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterindustrie“ Standardblatt T 120, 14.August 2014

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG	Abbildung 3: Beispielhafte Gestaltung von Sortierprozessen für Altglas 
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Der Durchsatz einliniger Anlagen liegt bei ca. 20 Mg/h; in mehrlinigen Anlagen können Durchsätze von ca. 50 Mg/h erzielt werden
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Die Aufbereitung von Altglas kann dem eigentlichen Recycling des Wertstoffes in der Produktionsanlage Glasfabrik direkt vorgelagert werden. In begrenztem Umfang kann sie auch als Begleitprozess beim Recycling anderer Wertstofffraktionen, z.B. für trockene Verpackungsabfälle zur Anwendung kommen oder mit darin integriert werden
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- Der Energiebedarf von Anlagen der dargestellten Konfiguration liegt bei ca. 10.000 MW/a. - Als generelles Verhältnis zwischen Energieeinsparung durch Altglaseinsatz in der Produktion wird ein reduzierter Schmelzenergieeintrag von 3% bei einem Scherbeneinsatz aus Altglas von 10 % angegeben.
CO_2-RELEVANZ	- Glasrecycling verringert den Einsatz von Primärressourcen und hat einen geringeren Energieverbrauch als die Glasherstellung aus Primärrohstoffen zur Folge. Im Schnitt vermeidet der Einsatz einer Tonne Recyclingglas ca. 500 kg CO_2 im Vergleich zur Glasproduktion mit Primärrohstoffen[7].
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- keine
PERSONALBEDARF	- ca. 11 Mitarbeiter je Schicht in mehrlinigen Anlagen, davon 7 Personen zur Vorsortierung
FLÄCHENBEDARF	- mit Lagerbereich bis zu einer Größenordnung von 5.000–8.000 m²
NACHSORGE-AUFWAND	- aussortierte Störstoffe sind umweltgerecht zu entsorgen, i.d.R. besteht die Möglichkeit einer Deponierung oder Nutzung als Inertmaterial auf Deponien (siehe Datenblätter zur „Deponie für nicht gefährliche Abfälle“ oder auch „Inertstoffdeponie“)
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	- Gesamtinvestitionsbedarf bis ca. 12 Mio. EUR

[7] Umweltbundesamt Texte 46/2015: The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector

BETRIEBSKOSTEN	Allgemeine Betriebskosten sind insbesondere zu erwarten durch: - Wartung und Reparatur: ca. 5 % bezogen auf die Investitionskosten pro Jahr - Personalkosten
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- Aktuelle Marktpreise für aufbereitetes Altglas lagen im europäischen Raum in der ersten Hälfte 2015 zwischen 45–54 EUR/Mg (Eurostat)

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN	Großtechnische Anlagen der beschriebenen Art finden sich in großer Anzahl in europäischen Staaten und weltweit. In Deutschland befinden sich solche Anlagen u.a. in - Glasrecycling Nord GmbH & Co. KG, Wahlstedt www.karl-meyer.de - Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG, Mariental www.reiling.de Andere Anlagenstandorte finden sich auf den Seiten des Aktionsforum Glasverpackung
ANERKANNTE HER-STELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Viele große und mittlere Entsorgungsunternehmen nutzen die beschriebenen Techniken der Altglassortierung, dazu gehören u.a.: - Alba-Gruppe www.alba.info - Suez Environment www.suez-deutschland.de - Remondis www.remondis.de Die zur Aufbereitung genutzten Aggregate und Ausrüstungen gehören zu dem üblichen Pool an Technik, welcher für mechanische Prozesse im Bereich der gesamten Abfallwirtschaft zur Verfügung steht bzw. dort zur Anwendung kommt. Insbesondere gehören dazu: *Förderbänder/ Dosierer:* - Rudnick + Enners Maschinen- u. Anlagenbau GmbH, Alpenrod www.rudnick-enners.de - Ludden & Mennekes, Meppen www.ludden.de - Spezialmaschinen & Recyclingtechnik, Chemnitz www.sr-recyclingtechnik.com *Klassiertechnik:* - Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel www.mogensen.de - EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com - Spaleck – Förder- und Separiertechnik www.spaleck.de *Balierer/Pressen und Zerkleinerungstechnik:* - HSM GmbH + Co. KG, Salem www.hsm.eu - Bomatic–Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH, Hamburg www.bomatic.de - Erdwich Zerkleinerungs-Systeme GmbH, Kaufering www.erdwich.de - ANDRITZ MeWa Gechingen: www.andritz.com/index/locations *Metallabscheider (Fe u. NE):* - Steinert Elektromagnetbau GmbH, Köln www.steinertglobal.com - IMRO Maschinenbau GmbH, Uffenheim www.imro-maschinenbau.de - Wagner Magnete GmbH & Co. KG, Heimertingen www.wagner-magnete.de *Sensorgestützte Sortierung* - Tomra Systems GmbH www.tomra.de - Sesotec GmbH www.sesotec.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Weitere Detailinformationen zur Aufbereitung von Altglas bzw. Hinweise und Links zu den entsprechenden Firmen sind u.a. erhältlich über:

Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung: www.bvse.de
Bundesverband Glasindustrie e.V. www.bvglas.de
Aktionsforum Glasverpackungen www.glasaktuell.de
European Container Glass Federation (FEVE) www.feve.org
glasstec – International Trade Fair for Glass Production www.glasstec.de

SORTIERUNG UND AUFBEREITUNG VON LEICHTVERPACKUNGEN

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	-Aufbereitung von Leichtverpackungen zur Erzeugung sortenreiner, recyclingfähiger Fraktionen an Metallen, Kunststoffen und Verbundstoffen aus getrennt gesammelten Verpackungsmaterialien aus Haushalt und Gewerbe

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen	X	Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle	X[8]	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X[9] Kleinteilige Abfälle stoffgleicher Produkte				

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Voraussetzung ist eine separate Sammlung der Verpackungsabfälle oder der trockenen Abfälle aus Haushalten.

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Die bei der Sortierung gewonnenen Materialfraktionen sind in der Regel ohne weitere Vorbehandlung (Metalle, Kartonagen) direkt zum Recycling geeignet, Kunststofffraktionen bedürfen zur stofflichen Verwertung häufig einer weiteren materialspezifischen Aufbereitung bzw. können direkt energetisch verwertet werden.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Fremd- und Störstoffe aus der Sortierung sind umweltgerecht zu entsorgen. Sortierreste können in der Regel zu Ersatzbrennstoffen aufbereitet und diese in der Co-Verbrennung (siehe Datenblatt Industrielle Mitverbrennung) eingesetzt werden. Ist dies nicht möglich, sollte eine anderweitige energetische Verwertung angestrebt werden.

Spezielle Gesundheitsrisiken:
Sortierungsprozesse können mit einer erhöhten Belastung des Arbeitsumfeldes durch bakterielle Keime, Kontaminationen und Sporen einhergehen. Es sind daher entsprechende Schutzvorkehrungen zu treffen (z.B. Belüftung, Absaugung, Tragen von Schutzkleidung und Atemschutz/Mundmasken).

Besondere Schutzerfordernisse:
Insbesondere erforderlich sind Maßnahmen zum Lärm- und Brandschutz, zum Arbeitsschutz bei bewegten Arbeitsmitteln und Lasten (ballierte Sortierware) sowie an Anlagen mit bewegten Teilen.

Besondere Beschäftigungspotenziale:
Sortierverfahren für Verpackungen lassen sich auch auf manuellem Weg umsetzen, wobei ein hohes Potenzial zur Beschäftigung von Arbeitskräften, insbesondere auch weniger qualifizierter Personen besteht.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Klimatische Gegebenheiten:
Sortieranlagen sind insbesondere vor Wettereinflüssen wie Wind und Regen zu schützen, insbesondere der Lagerbereich und die Sortierfläche.

Sonstige:
Zum Erreichen einer Wirtschaftlichkeit müssen hochwertige Qualitäten und Verwertungswege vorhanden sein bzw. es müssen Schemen zur Gegenfinanzierung eingeführt werden, z.B. Gebühren auf Verpackungsabfälle oder Lizenzierungen (siehe bspw. Systemansatz „Der Grüne Punkt“ / The „Green Dot"-trademark)

---

[8] Nur für trockene Fraktion vom Haushaltsabfall

[9] die getrennte Sammlung von gemischten Verpackungsabfällen kann mit der Erfassung von kleinteiligen Abfällen stoffgleicher Produkte kombiniert werden (System der gemeinsamen Erfassung wie z.B. der Ansatz “Wertstofftonne” (www.wertstofftonne-berlin.de). Pilotversuche haben die prinzipielle Durchführbarkeit sowie die Möglichkeit der nachgeschalteten Trennung und Aufbereitung der jeweiligen Fraktionen bestätigt

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Bei der Aufbereitung handelt sich im Wesentlichen um mechanische Prozesse mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden und verschiedenen Sortierschritten zur Erzeugung von verwertbaren Fraktionen aus dem Anlageninput. Grundansatz ist die zielgerichtete Anordnung verschiedener, aufeinanderfolgender Schritte der Zerkleinerung, Siebung und Klassierung mit einem mehr oder minder hohem Grad an Technisierung und moderner Gerätetechnik. Manuelle Sortierschritte können in den Anlagen ebenfalls integriert werden.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Der Anlageninput muss getrennt vom gewerblichen Abfall und feuchtem Abfall aus Haushalten gesammelt werden bzw. ist bei Haushaltsabfällen auf die trockenen Anteile zu beschränken.
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	- Recyclingmaterialien mit definierten Qualitäten - (teilweise) automatische Trennung der Kunststoffe in PE, PP, PET und PS - Kunststoffgranulate aus an die Sortierprozesse angeschlossene Kunststoffveredelungsverfahren

BESONDERE VORTEILE	sind je nach gewählter Verfahrens- bzw. Anlagenkonfiguration unterschiedlich zu bewerten
	- *Grundkonfiguration*
	  - einfache Techniken, daher relativ geringe Kapitalaufwendungen
	  - sehr zuverlässig, Anlagenverfügbarkeit bei ›95 %
	  - sehr flexibel
	- *Erweiterte Konfiguration*
	  - höherer Durchsatz im Vergleich zur Grundkonfiguration
	  - effektivere Trennung im Vergleich zur Grundkonfiguration
	  - geringerer Personalbedarf
	  - relativ flexibel

SPEZIFISCHE NACHTEILE	sind je nach gewählter Verfahrens- bzw. Anlagenkonfiguration unterschiedlich zu bewerten
	- *Grundkonfiguration*
	  - arbeitsintensiv (höherer Personalbedarf)
	  - deutlich geringerer Durchsatz
	- *Erweiterte Konfiguration*
	  - im Vergleich zur Grundkonfiguration höherer Durchsatz
	  - höherer Qualifizierungsbedarf des Personals
	  - energie- und investitionsintensiver

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG	In der Grundkonfiguration werden über mechanische Prozesse gezielt Feinmaterialen durch Siebung ausgeschleust und anschließend manuell in verschiedene Materialien sortiert. Der Prozess gliedert sich nach folgendem Schema:

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Abbildung 4: Beispielhafter Sortierprozess zur Erzeugung verschiedener Kunststoffsorten (Grundkonfiguration)

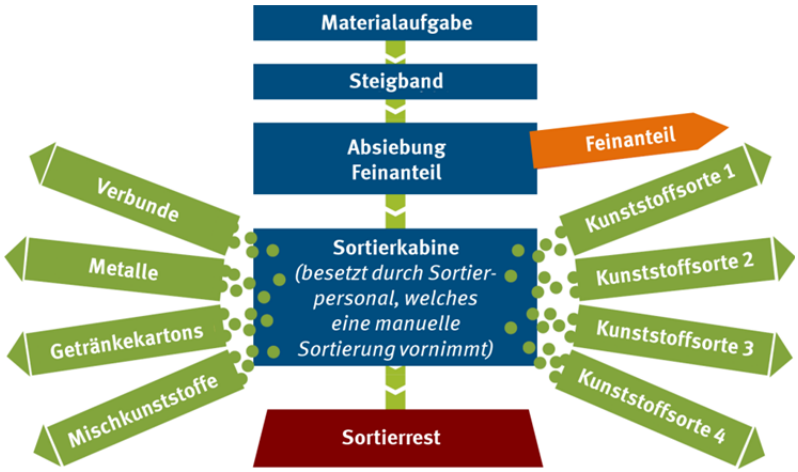


Abbildung 5: Beispielansicht einer Sortiereinrichtung in der Grundkonfiguration (Foto: INTECUS)

Bei der erweiterten Konfiguration handelt es sich um eine der Grundkonfiguration ähnliche Vorgehensweise, jedoch sind automatische Sortierschritte wie Infrarottechnologie und verschiedene Trennstufen zur Abtrennung von Eisen- und Nichteisenmetallen, Leichtstoffen usw. integriert. Diese gestalten sich in Anzahl und Anordnung von Anlage zu Anlage unterschiedlich. Das folgende Prozessschema gibt den Sortierprozess beispielhaft wieder:

Abbildung 6: Beispielhafter Sortierprozess für Kunststoffsorten (erweitere Konfiguration)

Kunststoffveredelungsprozess:
Nach der LVP-Sortierung erfolgt eine Veredelung der aussortierten Kunststoffsorten zu Polymergranulaten oder -mahlgütern mit definierten Qualitäten. Ein Teil der erzeugten Materialien kann entweder direkt in der Produktion wieder eingesetzt werden, z.B. Kunststoffgranulat, Aluminium, Papierfaser, oder als Basis für materialspezifische Recyclingprozesse wie Recycling gemischter Kunststoffe, Getränkekartonrecycling usw. dienen.

Ein Prozessbeispiel[10], bei dem vorsortierte PET-Flaschen wieder zu Recyclingflakes für die Herstellung von PET-Flaschen aufarbeitet werden, gestaltet sich wie folgt (vereinfachte Darstellung):

Abbildung 7: Prozessschema der Firma KRONES (Schema nach KRONES AG, www.krones.de)

[10] Krones AG: http://www.krones.com/de/produkte/abfuellung/bottle-to-bottle-pet-recyclinganlage.php

STOFFFLUSS UND -MENGEN	Fallen je nach gewählter Verfahrens- bzw. Anlagenkonfiguration unterschiedlich aus: - *Grundkonfiguration* - der mögliche Anlagendurchsatz liegt bei ca. 1 Mg/h - *Erweiterte Konfiguration* - der mögliche Anlagendurchsatz kann zwischen ca. 3–20 Mg/h liegen Die Massebilanz am Beispiel der Wertstoffaufbereitung Iserlohn[11] mit einem Input von 72.000 Mg pro Jahr gestaltet sich wie folgt: - Output stofflich verwertbar: FE-Metalle: 8.000 Mg, NE-Metalle 2.200 Mg PE: 2500 Mg, PP 5.000 Mg, PS 1.800 Mg, PET 1.400 Mg Folien 4.800 Mg Flüssigkartons:5.000 Mg PPK: 1.800 Mg - Output energetisch verwertbar: Mischkunststoffe (Hochkalorik): 19.000 Mg EBS Vorprodukte (Mittelkalorik): 17.400 Mg Sortierreste (Niederkalorik): 2.900 Mg
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Insoweit komplexere Aufbereitungsprozesse mit höherem Technisierungsgrad zur Anwendung kommen sind hierfür i.d.R. spezialisierte Anlagen sinnvoller welche extern bzw. getrennt vom späteren Einsatzort der gewonnenen Sekundärmaterialien errichtet werden. Wo einfache Sortierungen z.B. nur für Teilströme wie Metalle oder Verbundstoffe erfolgen, ist es möglich die entsprechende Aufbereitung der Produktionsanlage direkt vorzulagern bzw. diese darin zu integrieren.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	Anlagen der Grundkonfiguration besitzen einen relativ geringen Energiebedarf. Der Energiebedarf der erweiterten Konfiguration steigt entsprechend der installierten Anlagenkomponenten.
CO_2-RELEVANZ	Durch die Substitution und den geminderten Verbrauch an Primärressourcen bei Nutzung der durch die Aufbereitung gewonnenen Sekundärmaterialien kommt es i.d.R. zur Einsparung von ansonsten entstandenen CO_2-Emissionen. Am Beispiel der Wertstoffaufbereitungsanlage Iserlohn (Durchsatz von 72.000 Mg) wurde eine jährliche Einsparung von rund 55.000 t CO_2-äq. errechnet. Die Einsparungen basieren zu 70 % auf dem Ersatz von Primärrohstoffen und zu 30% auf der energetischen Verwertung von Mischkunststoffen, EBS usw.
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- keine Hilfsmittel bei der Sortierung notwendig - Wasserverbrauch und chemische Zusatzstoffe in der Veredelungsstufe für die nassmechanische Aufbereitung
PERSONALBEDARF	- *Grundkonfiguration* - im Durchschnitt bis 12 Mitarbeiter - *Erweiterte Konfiguration* - zwischen 7–30 Mitarbeiter
FLÄCHENBEDARF	- ca. 5.000–10.000 m² für eine Anlage durchschnittlicher Größe
NACHSORGEAUFWAND	- Der Anteil der Stör- und Fremdstoffe kann eine Größenordnung von bis zu 40–55 % des Anlageninput erreichen, dabei handelt es sich hauptsächlich um Stoffe, die durch Verbrennung umweltgerecht entsorgt werden müssen.

[11] INFA GmbH, Prognos AG: Wertstoffaufbereitungsanlage Iserlohn-Sümmernals Projekt der KlimaExpo.NRW-Mengenbilanz und Klimawirkung, http://www.klimaexpo.nrw/fileadmin/user_upload/Projekte/WAA_Lobbe/Anhang_WAA_Lobbe_Klimawirkung_Mengenbilanz.pdf,letzter Zugriff 12.10.2015

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN

INVESTITIONS-KOSTEN

- *Grundkonfiguration*
  - ohne sonstige Strukturen und Gebäudehülle (mit Stand 2008) bei EUR 50.000–150.000 für eine durchschnittliche Prozesslinie.
- *Erweiterte Konfiguration*
  - je nach Anlagentechnik (insbesondere in Abhängigkeit der Anzahl der installierten, sensorgestützten Trennstufen) bei EUR 13 Millionen bzw. auch darüber

BETRIEBSKOSTEN

- variieren in Abhängigkeit der eingesetzten Technik teils erheblich
- sind orientierend im Bereich zwischen 150–650 EUR/Mg anzusiedeln, einschließlich der Kosten für die Beseitigung der Fremdstoffe
- Kosten für Reparatur und Wartung in Abhängigkeit der Anlagenkonfiguration in durchschnittlicher Höhe von 6% der Investitionskosten und Jahr sind enthalten

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN

- Erlöse für erzeugte Fraktionen hängen von der aktuellen Marktlage und den Qualitäten ab. Als Erlösbeispiel seien genannt:

Kunststoffsorte	Juli 2015 [EUR/Mg]	Juli 2014 [EUR/Mg]
HDPE Mahlgut	620	620
HDPE Granulat	920	920
PP Ballenware	260	290
PP Mahlgut	590	550
PET Mahlgut bunt	420	410

- Die Kostenkompensation für die Aufbereitung und das Recycling von Verpackungen kann über spezielle Finanzierungsmodelle ermöglicht werden, ein Beispiel hierfür ist das Lizenzierungsmodell des Grünen Punkt in Deutschland

MASSESPEZIF. GESAMTKOSTEN

- keine verfügbaren Angaben

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

Sortieranlagen der beschriebenen Anlagenkonfigurationen finden sich in großer Anzahl in europäischen Staaten und weltweit, Beispiele hierfür in Deutschland sind u.a.

- WAA Iserlohn www.lobbe.de
- Sortieranlage Leipzig www.alba.info

Eine Listung weiterer Anlagen findet sich auf den Seiten des Bundeslandes Brandenburg

Kunststoffveredelung/ Flakesherstellung

- Krones AG www.krones.com
- Multipet GmbH Bernburg www.mp-bbg.eu
- Systec Plastics www.systalen.de

Anlagen der verschiedenen Auslegungsvarianten werden durch eine Vielzahl von Entsorgungsunternehmen betrieben, dazu gehören u.a.:

- Suez Environment www.suez-deutschland.de
- Remondis www.remondis.de
- Alba-Gruppe www.alba.info

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

Die zur Aufbereitung genutzten Aggregate und Ausrüstungen gehören zu dem üblichen Pool an Technik, welcher für mechanische Prozesse im Bereich der gesamten Abfallwirtschaft zur Verfügung steht bzw. dort zur Anwendung kommt. Insbesondere gehören dazu:

Förderbänder/ Dosierer:

- Rudnick + Enners Maschinen- u. Anlagenbau GmbH, Alpenrod www.rudnick-enners.de

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

- Ludden & Mennekes, Meppen www.ludden.de
- Spezialmaschinen & Recyclingtechnik, Chemnitz www.sr-recyclingtechnik.com

Sacköffner:
- Matthiessen Lagertechnik GmbH, Krempe www.bagsplitter.com

Klassiertechnik:
- Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel www.mogensen.de
- Stadler Anlagenbau GmbH, Altshausen www.w-stadler.de
- EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com
- Spaleck – Förder- und Separiertechnik www.spaleck.de

Metallabscheider (Fe u. NE):
- Steinert Elektromagnetbau GmbH, Köln www.steinertglobal.de
- IMRO Maschinenbau GmbH, Uffenheim www.imro-maschinenbau.de
- Wagner Magnete GmbH & Co. KG, Heimertingen www.wagner-magnete.de

Balierer/Pressen:
- HSM GmbH + Co. KG, Salem www.hsm.eu
- Bomatic–Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH, Hamburg www.bomatic.de
- Erdwich Zerkleinerungs-Systeme GmbH, Kaufering www.erdwich.de
- MeWa Recycling Maschinen und Anlagenbau GmbH, Gechingen www.mewa-recycling.de

Sensorgestützte Sortierung
- Tomra Systems GmbH www.tomra.de
- Sesotec GmbH www.sesotec.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Weitere Detailinformationen zur Verpackungsaufbereitung und zu Verpackungsrücknahmesystemen mit Hinweisen und Links zu den ausführenden Firmen sind u.a. erhältlich über:

- Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung: www.bvse.de
- Website der dualen Systeme: www.recycling-fuer-deutschland.de
- Fachverband Kunststoffrecycling www.kunststoff-verwertung.de
- Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. www.kunststoffverpackungen.de

AUFBEREITUNG UND SORTIERUNG VON SPERRMÜLL

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Aufbereitung der Sammelware aus der Sperrmüllsammlung bei Haushalt und Gewerbe zur Erzeugung von sauberen Materialfraktionen für das Recycling und sonstige Verwertungen

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall	X	Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	X
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	gemischte großstückige Abfälle frei von schadstoffbelasteten Stoffen			
Andere Abfallarten	X	gewerbliche Abfälle mit hohen Anteilen an verwertbaren Stoffen aber ohne Schadstoffgehalte (z.B. keine Akkumulatoren)			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Außer der getrennten Erfassung des Sperrmülls am Anfallort ist keine zusätzliche Vorbehandlung erforderlich.

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Die bei der Sortierung gewonnenen Materialfraktionen sind unmittelbar (z.B. Metalle, Holz) oder nach weiterer Aufbereitung für ein Recycling geeignet bzw. lassen sich energetisch verwerten.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Sortierreste sind mit geeigneten Verfahren weiter zu behandeln oder zu beseitigen. Verbleibende hochkalorische Fraktionen können der Verbrennungen zugeführt, inerte Fraktionen auf geeignete Deponien verbracht werden.

Besondere Schutzerfordernisse:
Maßnahmen des Lärm- und insbesondere des Brandschutzes sind notwendig.

Besondere Beschäftigungspotenziale:
Die Aufbereitung von Sperrmüll kann in vielen Fällen auf manuellem Weg umgesetzt werden, wobei ein hohes Potenzial zur Beschäftigung von Arbeitskräften, insbesondere auch weniger qualifizierter Personen besteht. Zum Erreichen einer Wirtschaftlichkeit bedarf es hochwertiger Qualitäten und Verwertungswege bzw. es müssen Instrumente zur Gegenfinanzierung, wie z.B. eine Gebühr für die Sperrmüllsammlung eingeführt werden. Ein geeigneter Ansatz zur Sperrmüllaufbereitung besteht auch darin, sozial benachteiligte Personen (z.B. Menschen mit gesundheitlichen Einschränkungen bzw. Behinderungen) oder nicht in andere Arbeiten vermittelbare Personen damit zu beauftragen, spezielle Teile des Sperrmülls (z.B. Möbelstücke, Antiquitäten oder bestimmte Gerätschaften) auszusondern, für die Wiederverwendung zu reparieren oder zur Gewinnung von Ersatzteilen zu zerlegen.

Geeignete Finanzierungsmechanismen:
Die Kosten der Sperrmüllerfassung und -aufbereitung können als Teilgebühr in die allgemeinen Abfallgebühren inkludiert oder aber durch eine separat zu entrichtende Gebühr dem Abfallerzeuger in Rechnung gestellt werden. Bewährt haben sich Schemen wie die einer Pauschale pro entsorgte Einheit (z.B. pro m³) oder einer Zusatzgebühr für jede über eine fixe Jahresmenge hinausgehende Sperrmülleinheit. In der Kostenanrechnung sollten Einnahmen, die aus dem Wiederverkauf von reparierten Teilen oder Ersatzteilen erzielt wurden, berücksichtigt werden. Dabei ist es möglich, dass die Sperrmüllsammlung teilweise gebührenfrei angeboten wird oder aber wenigstens solche Teile mit Wiederverkaufs-/Nachnutzungswert von Gebühren freigestellt werden.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Eine gute Zugänglichkeit und ausreichend Zwischenlagerungsmöglichkeiten sollten sowohl bei der Sammlung als auch bei den Aufbereitungseinrichtungen gewährleistet sein.

Klimatische Gegebenheiten:
Der Abfall und die Aufbereitungsanlage (insbesondere Lagerbereich und Sortierfläche) sind vor Witterungseinflüssen wie starkem Wind und Niederschlag zu schützen

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Die Sperrmüllsortierung kann am Anfallort oder nach der Sammlung in einer Sortieranlage erfolgen. Der Sortierprozess in einer Anlage beinhaltet verschiedene mechanische Schritte mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad zur Erzeugung von Materialfraktionen mit bestimmter Reinheit für das Recycling oder eine anderweitige Verwertung. Prozessziel ist das Separieren von Holz, verwertbaren Fraktionen wie Metalle, Papier, Kunststoffe bzw. auch gemischten hoch- bzw. niederkalorischen Fraktionen.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Sammelgut ohne schadstoffhaltige Komponenten und mit nur geringen Anteilen an mineralischen und organischen Substanzen
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	- verschiedene Fraktionen (Holz, Metalle, hochkalorische Fraktion, teilweise Papier) in einer vermarktbaren, insbesondere für das Recycling oder andere Verwertungswege erforderlichen Qualität (Reinheit) - Gewinnung von kompletten Produkten/Teilen mit Wiederverkaufs- bzw. Nachnutzungswert
BESONDERE VORTEILE	- leicht umzusetzen und zuverlässig, weil einfacher und wenig kapitalintensiver Prozess - relativ geringe Störanfälligkeit und damit hohe Anlagenverfügbarkeit - flexibel auf wechselnde Inputqualität oder zur Erzeugung spezifischer Outputströme anpassbar
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- kann personalintensiv sein

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Die Sperrmüllsortierung kann mit <u>einfacher Technologie</u> am Anfallort oder einem zentralen Sammelplatz, wie z.B. einem Wertstoffhof, oder aber in <u>speziellen Sortieranlagen</u> mit einem hohen Grad an Automatisierung erfolgen. Stets gehören folgende Schritte mit zum jeweiligen Prozess:

- Vorsortierung zur Separierung von elektrischen und elektronischen Haushaltsgeräten (falls gemeinsam mit Sperrmüll erfasst) und groben Störstoffen
- eigentliche (manuelle) Sortierung

<u>Sperrmüllsortierung am Anfallort</u>:

Abfallbestandteile und Objekte deren Struktur erhalten werden soll, die Wiederverwendungspotenzial haben oder spezieller Aufbereitung bedürfen (wie z.B. Matratzen, Teppiche, spezielle Möbelstücke) sollten durch Vorsortierung am Anfallort separiert und getrennt abgefahren werden. Bei diesem Sortierprinzip spricht man vom Prinzip der

- *Tandemabfuhr*
  Diese findet bspw. auch Anwendung bei der Trennung nach Altholz und restlichem Sperrmüll am Anfallort. Die separierten Stoffströme werden in zwei Fahrzeuge verladen und zur weiteren Verwertung abtransportiert. Für wiederverwendbare Teile sind dabei Fahrzeuge mit Verpresseinrichtung ungeeignet.

<u>Separierung an der Abladestelle bzw. auf einem zentralen Wertstoffhof</u>

Holz und Metalle werden manuell oder mit Hilfe von Greifer oder Kran separiert. Aus dem abgeladenen Haufwerk werden Vollholz und große Metallteile positiv sortiert. Von den durchschnittlichen 30–50 % an Holz im Sperrmüll kann mit dieser Technik ca. 50 % separiert werden.

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Spezielle Sortieranlagen:

Bei Anlagen mit einem höheren Ausstattungsgrad werden häufig neben dem Sperrmüll auch andere Abfallarten wie Gewerbeabfall mit sortiert. Die Auslegung der Sperrmüllsortieranlagen variiert, auch in Abhängigkeit der verfügbaren Ressourcen (Personal) und der Erlöse für die Output-Ströme. Der Vorsortierung folgt meist eine Siebung verbunden mit einer Eisenmetallabscheidung. Eine weitere Siebung trennt die Feinfraktion von der gröberen Hochkalorik. Der Prozess wird häufig in mehrere Linien unterteilt, wobei auch der Einsatz von NIR-Technologie zur Abtrennung von Kunststoffen möglich ist. Ein Beispiel zeigt das folgende Schema.

Abbildung 8: Beispielhafter Sortierprozess zur Erzeugung verschiedener Fraktionen aus Sperrmüll

STOFFFLUSS UND -MENGEN

- Die Output-Ströme variieren in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Inputs. Folgende Aufstellung zeigt beispielhaft ein durchschnittliches Ergebnis in Deutschland:

- Input: 100 % Sperrmüll
- Output: 25–50% Holz
  10–20% Metalle
  10–20% Hochkalorik, der Rest ist inertes Feinmaterial

- Der Durchsatz in Sortieranlagen für Sperrmüll liegt in einer Spanne von 5–20 Mg/h je Linie.

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Wo einfache Sortierungen z.B. nur für die Gewinnung von Teilströmen wie Metalle und Holz erfolgen, ist es möglich, die entsprechende Aufbereitung direkt an einem Produktionsstandort der auch das Recycling dieser Stoffe vornimmt durchzuführen bzw. in die dortigen Prozessschritte zu integrieren. Bei komplexeren Sortierungen zur Gewinnung mehrerer Stofffraktionen ist es sinnvoll, diese in dafür spezialisierten Einrichtungen separat durchzuführen.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

Der Energieverbrauch ist im Allgemeinen vergleichsweise gering, steigt aber mit zunehmender Automatisierung des Sortierprozesses

CO_2-RELEVANZ	Die gewonnenen Sekundärrohstoffe helfen zusätzliche CO_2-Emissionen, welche ansonsten die Produktion mit Primärrohstoffen und deren Gewinnung erzeugen würden, zu vermeiden. Recyceltes Metall verringert den Primärressourcenbedarf und bedarf eines geringeren Energieeinsatzes. Im Schnitt werden im Vergleich zur Metallproduktion aus Roherz durch Einsatz von 1 Mg Eisenschrott über 900 kg CO_2 und 1 Mg Edelmetallschrott gut 9000 kg CO_2 vermieden [12].
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- Keine weiteren als die genannten technischen Aggregate
PERSONALBEDARF	- Der Personalbedarf ist abhängig von der Anlagengröße, dem Sortierprozess und dem Grad der Automatisierung. Ein typischer Personalbedarf von Sperrmüllsortieranlagen sind z.B. 8 Mitarbeiter, davon 1 Vorarbeiter, 6 Sortierer und 1 flexibler Mitarbeiter (Staplerfahrer/Maschinist). - Bei Sortierung am Anfallort bildet eine Gruppe von 2–3 Arbeitskräften das Minimum.
FLÄCHENBEDARF	- ca. 3.000 bis über 5.000 m² für eine durchschnittliche Anlage
NACHSORGE-AUFWAND	- ergibt sich insbesondere für die Feinfraktion, welche zu beseitigen ist
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	- liegen in Abhängigkeit von Anlagengröße (Durchsatz) und technischer Ausstattung durchschnittlich im Bereich von 70–200 EUR/(Mg*a) - Für die Sortierung am Anfallort sind Investitionskosten nur punktuell für die Maschinen erforderlich (Greifer), in Verbindung mit einem Sortierplatz (min. 250 m²) sind in Summe Kosten in einer Größenordnung von EUR 150.000–200.000 anzusetzen (Stand 2008).
BETRIEBSKOSTEN	- im Bereich zwischen 20–50 EUR/Mg (ohne Erlöse und Beseitigungskosten, Stand 2008) - Die Kosten bei der Tandemabfuhr liegen etwa 10–30% über den Kosten der konventionellen Sperrmüllsammlung (insbesondere wegen des erhöhten Personal- und Fahrzeugbedarfes). Sie ist daher meist nur in dicht besiedelten Gebieten einigermaßen wirtschaftlich und von Vorteil.
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- Erlöse ergeben sich marktabhängig für die separierten Materialien wie Metalle, Holz, Papier oder aber aus Wiederverkauf von gewonnenen Ersatzteilen oder zur Weiterverwendung aufbereiteter Gegenstände (z.B. Möbel, technische Gerätschaften u. ä.).
MASSESPEZIFISCHE GESAMT-KOSTEN	- Im Durchschnitt liegen die Gesamtkosten im Bereich zwischen 50–100 EUR/Mg (abhängig von den Erlösen und Entsorgungskosten, Stand 2008). - Die Sortierkosten für die Sortierung am Anfallort liegen in der Größenordnung zwischen 10–20 EUR/Mg. (Stand 2008).
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	- bezeichnete Vorgehensweisen sind in Europa und weltweit bereits verbreitet anzufinden
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER	Die meisten Entsorgungsunternehmen in Deutschland betreiben Sortierungen von Sperrmüll und haben ihre eigenen Anlagen und Betriebsabläufe dafür errichtet bzw. entwickelt. Eine Auflistung von Beispielanlagen gibt es vom Bundesland Brandenburg

[12] Umweltbundesamt Texte 46/2015: The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Die zur Aufbereitung genutzten Aggregate und Ausrüstungen gehören zu dem üblichen Pool an Technik, welcher für mechanische Prozesse im Bereich der gesamten Abfallwirtschaft zur Verfügung steht bzw. dort zur Anwendung kommt. Insbesondere gehören dazu:

Förderbänder/Dosierer:
- Rudnick+Enners Maschinen- u. Anlagenbau GmbH, Alpenrod www.rudnick-enners.de
- Ludden&Mennekes, Meppen www.ludden.de
- Spezialmaschinen & Recyclingtechnik, Chemnitz www.sr-recyclingtechnik.com

Brecher:
- HAMMEL Recyclingtechnik GmbH, Bad Salzungen www.hammel.de

Separatoren/Klassiertechnik:
- EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com
- Stadler Anlagenbau GmbH, Altshausen www.w-stadler.de
- Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel www.mogensen.de
- Spaleck – Förder- und Separiertechnik www.spaleck.de

Metallabscheider (Fe u. NE):
- Steinert Elektromagnetbau GmbH, Köln www.steinertglobal.com
- IMRO Maschinenbau GmbH, Uffenheim www.imro-maschinenbau.de
- Wagner Magnete GmbH & Co. KG Spann- und Umwelttechnik, Heimertingen www.wagner-magnete.de

NIR-Technik:
- Tomra Systems GmbH, Langenfeld www.tomra.de
- Sesotec GmbH www.sesotec.com

KOMPOSTIERUNG ORGANISCHER ABFÄLLE – BIOABFALLKOMPOSTIERUNG

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Herstellung verwertbarer Humussubstrate aus organischen und anorganischen Stoffen der biologischen Abfallfraktion durch biologische Umsetzungsprozesse - signifikante Reduzierung des organischen Abfalls, welcher sonst deponiert oder thermisch behandelt werden müsste - Reduzierung des Reaktionspotenzials der Reste aus anderen biologischen Behandlungsverfahren, z.B. Vergärungsprozessen(siehe auch Datenblatt „Anaerobe Vergärung")

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton	X[13]	Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X[14]	Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	Küchenabfälle und Speisereste, Abfälle aus Land- und Forstwirtschaft, einschließlich Stallmist, biologisch abbaubare Abfälle der Nahrungsmittelindustrie			
Andere Abfallarten	X	getrennt erfasste, biologisch abbaubare Materialien ohne gefährliche Inhaltsstoffe			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Der Abfall sollte getrennt erfasst, auf schadstoffeintragende Bestandteile (z.B. Batterien) kontrolliert und von diesen sowie anderen, den Kompostierungsprozess störenden Komponenten (z.B. große Folien) befreit werden. Große Bestandteile aus Baum- und Heckenschnitt sind zu zerkleinern.

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Der erzeugte Kompost kann überwiegend in der Landwirtschaft, dem Garten- und Landschaftsbau, als Substrat in Sonderkulturen (Obst-, Wein-, Spargelanbau), in Erdenwerken und Kleingärten eingesetzt werden. Überwiegend aus Holz bestehende Siebreste lassen sich energetisch nutzen (z.B. in Biomassekraftwerken).

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Reste aus der Kompostierung wie abgesiebte Folien sind mit anderen Verfahren (z.B. thermische Verfahren) zu behandeln.

Nachsorgebedarf: keine besonderen Erfordernisse. Eine ausreichende Hygienisierung erfolgt in der Regel im Kompostierungsprozess, eine Gütekontrolle des Komposts ist anzustreben.

Besondere Schutzerfordernisse:
Die Abluft aus der Kompostierung ist zu erfassen und zu behandeln bzw. es sind geeignete technische, organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung/Verminderung von Emissionen (insbesondere Geruch) zu treffen.

Potentielle Gesundheitsrisiken:
Im Bereich der Annahme und mechanischen Prozesse besteht ein Risiko erhöhter Keim- und Sporenbelastungen in der Luft. Durch geeignete technische und persönliche Schutzmaßnahmen (Absaugung, Mundmasken) ist dieser Gefahr zu begegnen.

Geeignete Finanzierungsmechanismen:
Die Finanzierung kann über eine direkte Gebühr bei Anlieferung des Abfalls oder für das dazu eingerichtete Sammelsystem (Biotonne) erfolgen. Die Kosten können alternativ auch in die Erfassungsgebühr oder Grundgebühr für die Restabfallsammlung eingeschlossen oder über pauschale Finanzierungsmodelle für die Abfallwirtschaft gedeckt werden.

---

[13] Nur bestimmte Papierarten (z.B. keine nassfesten oder Spezialpapiere) in geringen Anteilen und nur in Verbindung mit anderen nassen organischen Materialien

[14] nur unbehandeltes Altholz welches sich der stofflichen Verwertung nicht wirtschaftlich zuführen lässt

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten

Anlagen zur Kompostierung sind grundsätzlich überall errichtbar, die Standorte sollten jedoch vorzugsweise in der Nähe der Anfallstelle der entsprechenden Abfälle liegen und über eine Anbindung an Verkehrs- bzw. Transportwege verfügen, um den Absatz des Kompostprodukts zu ermöglichen. Ein Abstand zur nächsten Wohnbebauung sollte, wie bei den meisten Behandlungsanlagen für organische Abfälle eingehalten werden, um Belästigungen durch Geruch oder Schadtiere auszuschließen.

Klimatische Gegebenheiten:

Verschiedene Verfahrensvarianten (offen/geschlossen) ermöglichen bis auf extreme Kältegebiete die Anwendung in allen Klimaten. Insbesondere bei offenen Verfahren ist zu berücksichtigen, dass bei hohen Temperaturen die Verdunstung höher ist und niedrige Temperaturen den biologischen Abbauprozess hemmen können. Hier kann durch geeignete Abdeckungen (z.B. spezielle Membranfolien) entgegengewirkt werden. In Gebieten mit hohen Niederschlagsmengen bzw. saisonal bedingten Starkniederschlägen sind die Rotteflächen zu überdachen, um eine Vernässung der Mieten zu vermeiden.

Beschäftigungspotentiale:

Die Abfallkompostierung eröffnet größere Beschäftigungspotenziale sowohl für ungelerntes als auch höher qualifiziertes Personal. Bei komplexeren Verfahren (z.B. Tunnelkompostierung) ist vor allem qualifiziertes Leitungs- und Überwachungspersonal erforderlich.

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Die Kompostierung ist ein aerober Prozess, bei dem unter definierten Bedingungen organisches Material in Verbindung mit Sauerstoff zu CO_2, Wasser und Humusverbindungen umgewandelt wird. Der Verbrauch von Sauerstoff ist am größten während der ersten Phase und reduziert sich schrittweise im weiteren Prozessablauf. Durch biologische Abbauprozesse erhitzt sich das Material von selbst, dabei entstehen zu Prozessbeginn (Hauptrottephase) hohe Temperaturen (bis etwa 65–75°C) die eine Trocknung des Materials und dessen Hygienisierung bewirken und dann im weiteren Prozessablauf langsam absinken. Die Bandbreite der Kompostierungsverfahren reicht von einfachen, offenen Varianten (Mietenkompostierung unter freiem Himmel) bis hin zu technisch exakt gesteuerten, geschlossenen Systemen wie der Tunnelkompostierung.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	Für ein gutes Kompostprodukt sind folgende Qualitätsanforderungen an den Input zu stellen: - muss getrennt gesammelt und frei von schadstoffhaltigen Komponenten sein - sollte von der Struktur eine gute Belüftung ermöglichen - ein C/N-Verhältnis von 20:1 bis 40:1 sowie - einen Wassergehalt von 50–60 % aufweisen. Ein C/N-Verhältnis im Bereich 25:1–30:1 beschreibt das Optimum für einen raschen Kompostierungsprozess aber auch höhere C/N-Verhältnisse sind möglich. Zu hohe Belastungen von Stickstoff im Inputmaterial müssen allerdings verhindert werden, da sonst der nahezu komplett im organischen Material gebundene Stickstoff durch mikrobiologische Aktivitäten zu Ammonium umgesetzt wird. Bei einem pH-Wert › 7 bewirkt das Vorliegen hoher Ammoniumkonzentrationen unerwünschte Emissionen von Ammoniak. Im Verlauf der Kompostierung muss eine Temperatur von mindestens 55°C über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum von 2 Wochen oder von 65°C (bei geschlossenen Anlagen: 60°C) über etwa 1 Woche zur Abtötung von Krankheitserregern und Unkrautsamen erreicht werden Das Prozesswasser der Kompostierung muss, wenn es nicht im Prozess selbst verwertet werden kann, vor Abgabe ins Oberflächenwasser in angemessener Form (z.B. gemäß Direktive 91/271/EEC über die Behandlung kommunaler Abwässer) behandelt werden.

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- Output: Kompost , Rest- und Störstoffe und Prozesswasser
- ausgereifter Kompost sollte folgende Qualitätsanforderung gewährleisten, damit er stabil und sicher ist:
  - C/N-Verhältnis deutlich < 25 für die landwirtschaftliche Nutzung
  - keine Wiedererwärmung über 20°C
  - Volumenreduzierung von mindestens 60 % bezogen auf den Input
  - geringe Schwermetallgehalte gemäß internationaler Standards

BESONDERE VORTEILE

- Erzeugung eines vielerorts knappen und stark nachgefragten Produkts
- Möglichkeit zur Verwertung eines sehr bedeutenden Abfallanteils wodurch Deponien und andere Abfallbehandlungsmaßnahmen entlastet und daraus resultierende, schädliche Umweltwirkungen und hohe Kosten vermieden werden
- relativ einfaches Handling und hohe Betriebssicherheit
- relativ geringer Investitionsaufwand
- weitverbreitete Technologie mit hoher Akzeptanz

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- nur bestimmte organische Abfallanteile können behandelt werden
- macht eine getrennte Bioabfallsammlung erforderlich
- vergleichsweise platzbeanspruchend und zeitaufwendig
- hohe Qualitätsanforderungen können Probleme beim Absatz des Kompostes bereiten
- gelegentlich mit Geruchsbelastungen des Umfeldes verbunden

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Beim Abbau organischer Substanz in der Kompostierung kann ein Übergang von Schadstoffen aus anderen Abfallbestandteilen in das Endprodukt Kompost stattfinden. Aus diesem Grund muss der Input der Kompostierung getrennt und möglichst frei von Störstoffen gesammelt werden. Anschließend kann eine mechanische Vorbehandlung die Qualität des Inputs weiter verbessern. Diese Vorbehandlung kann jedoch nicht gewährleisten, dass bspw. aus gemischten Haushaltsabfällen eine Fraktion erzeugt wird, welche den hohen Anforderungen an die Kompostierqualität genügt. Die mechanische Vorbehandlung kann folgende Schritte umfassen:

- Abtrennung von Fremdstoffen und Verschmutzungen
- Zerkleinerung
- Metallabscheidung.

Diese mechanischen Vorbehandlungsschritte entsprechen denen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und werden dort beschrieben (siehe Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“).

Durch die mechanische Vorbehandlung können zudem ein optimales C/N-Verhältnis und eine für die Kompostierung geeignete Struktur im Input durch Kombination verschiedener organischer Abfälle herbeigeführt werden. Zum Beispiel: Laub (viel Kohlenstoff, wenig Stickstoff) kann mit Speiseresten (viel Stickstoff) gemischt werden. Damit können Ammoniakemissionen gleich von Rottebeginn an minimiert werden.

Prinzipiell gibt es zwei unterschiedliche Systeme der Kompostierung:
- Offene (Mieten-)Kompostierung
- Geschlossene Systeme

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von offenen und geschlossenen Kompostierungssystemen

	Offene Systeme	Geschlossene Systeme
Vorteile	- geringe Investitionskosten - geringe Betriebskosten	optimale Prozesssteuerung - gezielte Fassung von Emissionen kurze Rottezeiten
Nachteile	- eher Probleme mit Geruchsemissionen - lange Rottezeiten - ohne Zusatzmaßnahmen stark von klimatischen Gegebenheiten (Temperatur, Feuchte) abhängig	- höhere Investitionen

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Offene Mietenkompostierung

Das Aufsetzen der Mieten erfolgt in der Regel durch Radlader bis zu einer Höhe von 1,80 m bis 3,00 m. Die Form der Mieten kann dreieckig, trapezförmig oder tafelförmig sein. Die Rottedauer beträgt durchschnittlich ca. 10–60 Wochen. Die offene Mietenkompostierung kann in folgenden Varianten durchgeführt werden:

Tabelle 4: Varianten der offenen Mietenkompostierung

Statische Verfahren		Dynamische Verfahren
Passive Belüftung	Aktive Belüftung	
Belüftung infolge Erwärmung (Kaminzugeffekt)	Belüftung durch Lüftungsrohre und Gebläse	Belüftung durch regelmäßiges Umsetzen

Das Ausgangsmaterial bei aktiv belüfteten Mieten sollte eine durchschnittliche Partikelgröße von ungefähr 1 cm und bei passiv belüfteten Varianten von 5 cm haben.

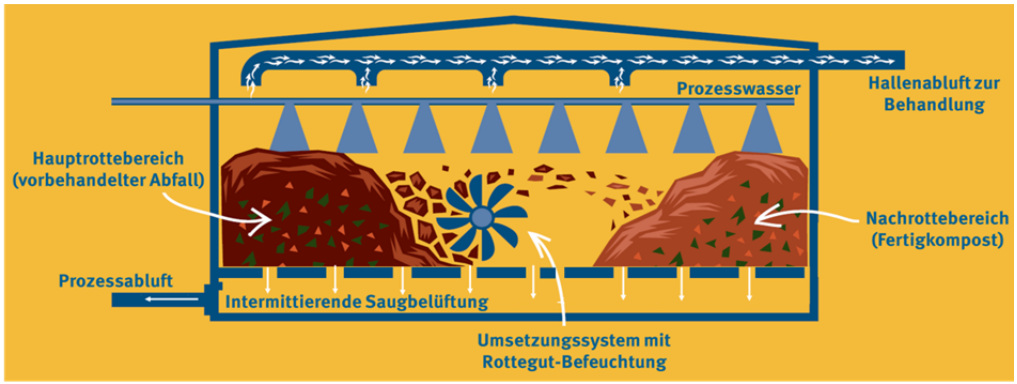
Abbildung 9: Beispiel für aktive Belüftung über dynamisches Verfahren mit Umsetzung (Bildquelle: Intecus)

Geschlossene Systeme

Bei geschlossen ausgeführten Systemen erfolgt die Kompostierung unter gekapselten, d.h. besser kontrollierbaren und optimierten Bedingungen, was insbesondere zu einer Verkürzung der Rottedauer und besseren Produktqualitäten führt. Folgende Auslegungsvarianten sind üblich:

- ***Hallenkompostierung / Tafelmiete***

Abbildung 10: Verfahrensschema Hallenkompostierung mit Tafelmiete (Komponentenanordnung n. Linde KCA)

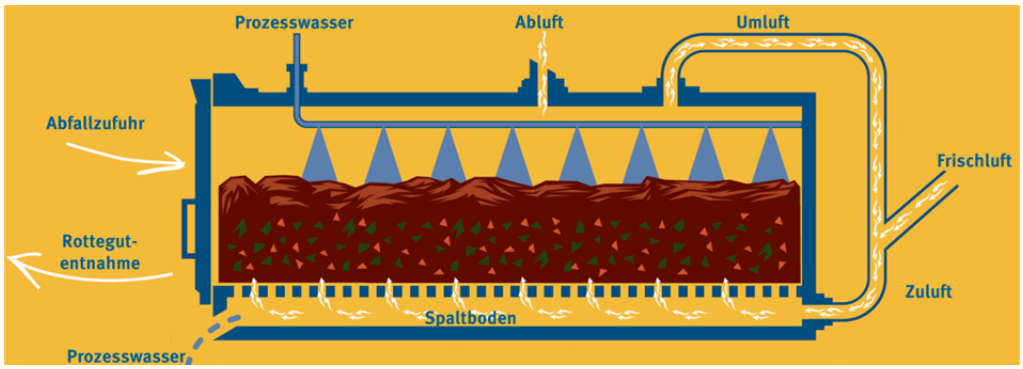


Das System der Hallenkompostierung wird häufig mit offenen Tafelmieten in einer geschlossenen Halle praktiziert. Das Bewässern erfolgt kontinuierlich über Sprühsysteme und/oder diskontinuierlich beim Umsetzen. Die Mieten werden saugbelüftet, die Hallenabluft gefasst und mittels Biofilter behandelt.

- ***Tunnelrotte***

Das Verfahren ist ähnlich der Tafelmiete. Die Rotte erfolgt in einem vollkommen geschlossenen Tunnel, wobei der Abfall unter Beachtung des Rottegrades belüftet und befeuchtet wird. Die Belüftung erfolgt meist durch Öffnungen im Boden, der Wassergehalt des Rottegutes lässt sich über eine Berieselung steuern. Die Abluft kann optimal erfasst und behandelt werden.

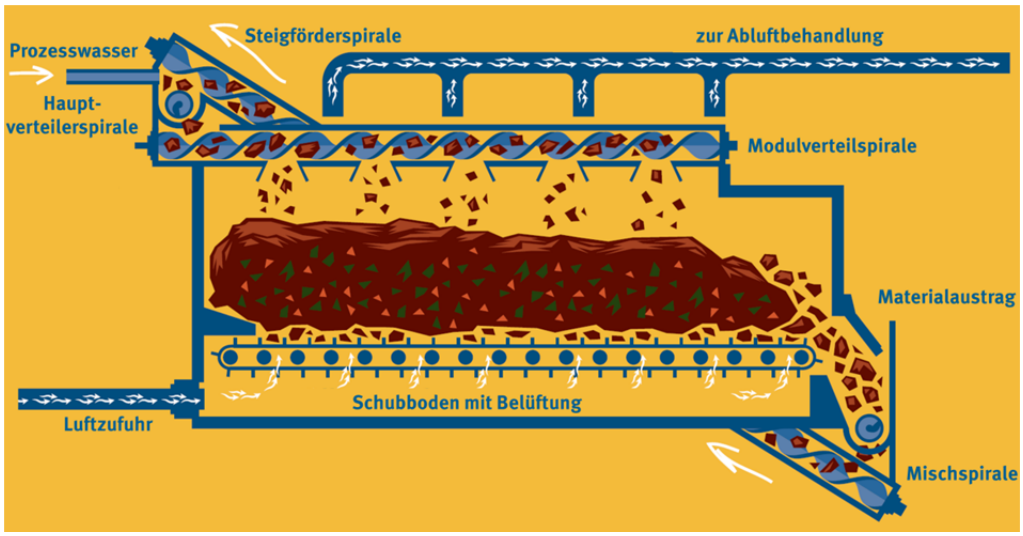
Abbildung 11: Verfahrensschema der Tunnelrotte (Komponentenanordnung n. Linde KCA)



- ***Rotteboxen / Rottecontainer***

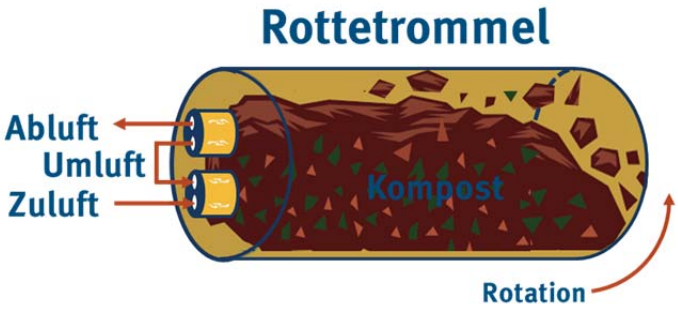
Das System arbeitet im Batch-Modus mit stationärem oder fahrbarem Boden. Dabei wird durch den perforierten Boden belüftet und die Abluft oben abgezogen und anschließend behandelt. Ähnlich der Tunnelkompostierung ist die Intensivrotte nach 8–10 Tagen abgeschlossen.

Abbildung 12: Verfahrensschema von Rotteboxen/Rottecontainern (Komponentenanordnung n. Linde KCA)



- ***Rottentrommel***

Das System nutzt perforierte Fässer oder Trommeln, welche einfach zu drehen sind. Es ist besonders zur Vorrotte geeignet, da eine gute Homogenisierung und ein hoher mechanischer Aufschluss erreicht werden. Sich bewegende Teile führen jedoch zu schnellem Verschleiß. Rottetrommeln sind aber sehr einfach in der Herstellung und Handhabung und ermöglichen relativ geringe Rottezeiten. Das System ist besonders für Kleinanlagen mit weniger qualifizierter Personalausstattung und geringeren Durchsätzen geeignet.

	Abbildung 13: Verfahrensschema einer Rottetrommel  Offene und geschlossene Systeme sind bei der Kompostierung oft kombiniert. Die Intensivrotte wird am besten in geschlossenen Systemen durchgeführt, während für Nachrotte und Reifung offene Systeme ausreichen.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	- Input: - 100 % Bioabfall - Output: - 10–20 % Siebreste vom Input - 35–40 % fertiger Kompost (die restlichen 40–55 % sind Masseverlust infolge Abbauprozess, Verdunstung von Wasser und Gasemissionen)[15]
ANWENDUNGS-BEREICH	Die Anlagenkapazitäten liegen in einem Bereich von ca. 300 Mg/a bis ca. 100.000 Mg/a, wobei die meisten Anlagen eine Kapazität ca. 3.000–10.000 Mg/a besitzen. Die Tunnelkompostierung hat gewöhnlich einen höheren Durchsatz als die Containerkompostierung. Die Tunnelkompostierung wird ab einem Durchsatz von 3.000 t/a wirtschaftlich. Einzelne Rotteboxen besitzen eine Kapazität von 50–250 m³, belüftbare Rottetrommeln ein Nutzvolumen von 20–150 m³.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Die Kompostierung gemischten Haushaltsabfalls kann ein vorgeschalteter Schritt vor der Abfallablagerung sein. Sie ist dann Prozessbestandteil einer Mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (siehe dazu Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“). Besser ist es jedoch, die Kompostierung als Teil eines integrierten Abfallwirtschaftskonzeptes unter Einbeziehung einer separaten Sammlung und verschiedener Verwertungswege zu etablieren. Ein als Dünger nutzbarer Kompost kann nur aus getrennt erfasstem Bioabfall erzeugt werden!
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- Intensive Rottesysteme besitzen einen Energiebedarf zwischen 15–65 kWh/Mg, wobei für den mechanischen Teil ca. 10 kWh/Mg erforderlich sind. Am energieintensivsten ist im Regelfall die Durchführung einer aktiven Belüftung, ansonsten liegt der Energiebedarf, in Abhängigkeit von der notwendigen Vorbehandlungsintensität auch nur bei 2–15 kWh/Mg. - Der aerobe Abbau erzeugt 0,6–0,8 g Wasser und 25,1 kJ thermische Energie je Gramm organische Substanz.
CO_2-RELEVANZ	- Während der biologischen Behandlung kommt es zu signifikanten Emissionen von CO_2 und anderen (Treibhaus-) Gasen, allerdings werden bei der Kompostherstellung, im Gegensatz zur Verbrennung oder unbehandelten Ablagerung organischer Abfälle, auch hohe Anteile an Kohlenstoff im Substrat gebunden und gelangen damit nicht kurzfristig in die Atmosphäre.
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- keine speziellen

[15] LUBW: Kompostierungsanlagen zur Behandlung von kommunalen Bio- und Grünabfällen – Erhebung des Anlagenbestandes in Baden Württemberg, Juli 2015

PERSONALBEDARF	- Der Bedarf an Arbeitskräften ist weitgehend abhängig von der Kapazität der Anlagen. Der Bedarf einer durchschnittlichen Anlage in Deutschland liegt ungefähr bei 10 Personen (1 Anlagenleiter, 6–8 Personen für Betrieb/Instandhaltung, 1 Person für Annahme/Verkauf). Bei Integration einer mechanischen Vorbehandlung ist ein größerer Personalbedarf erforderlich, insbesondere bei manueller Sortierung.
FLÄCHENBEDARF	- Der Flächenbedarf bei intensiven Kompostieranlagen liegt bei ca. 0,2–0,3 m²/Mg*a. Der Flächenbedarf offener Systeme ist deutlich höher und abhängig von Mietenhöhe, Mietenform und der verwendeten Umsetzungsmethode. Beispielsweise beträgt für eine Dreiecksmiete mit einem Mietenfuß von 3 m Breite der Platzbedarf 1,40 m²/m³. Falls ohne automatisches Umsetzungsgerät gearbeitet wird, kann sich der Platzbedarf auf 1 m²/m³ verringern. Eine Trapezmiete mit einer Höhe von 3 m und einem Mietenfuß von 10 m Breite benötigt ca. 0,45 m²/m³. Oft bestimmt auch der zur Verfügung stehende Platz die Wahl der angewandten Kompostierungsmethode und Mietenform. Für die Gesamtbetriebsfläche kann wie folgt kalkuliert werden: - 5 % Anlieferungsfläche - 10 % Lagerfläche für den Fertigkompost - 10 % Zwischenlager- und sonstige Freifläche - 75 % Rottefläche (davon 40% für die Bewegung der Technik freizuhalten)
NACHSORGE-AUFWAND	- Für Siebreste und Sickerwasser ist eine Nachsorge erforderlich.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Beinhalten hauptsächlich folgende Positionen: - Kosten für Grundstückserschließung, abhängig von örtlichen Gegebenheiten, Anlagengröße und eingesetzter Prozesstechnik Ferner sind mindestens anzusetzen (Preisniveau Stand 2008): - Bauteile: 70–100 EUR/Mg*a - Maschinenausrüstung: 110–140 EUR/Mg*a (bspw. Anschaffung eines Wendeaggregates ab ca. 2000 EUR)

BETRIEBSKOSTEN	Fallen an für:
	- Versicherung, Verbrauch an Kraftstoff, Strom, usw.
	- Reparatur und Instandsetzung
	  - Bauelemente: ca. 1 % vom Invest
	  - Maschinen und Elektrotechnik: ca. 3–4 % vom Invest
	  - mobile Geräte: 8–15 % vom Invest
	- Personal (abhängig vom lokalen Arbeitsmarkt)
	- Kompostierung, offen = 35 EUR/Mg (www.kompost.de)
	- Kompostierung, geschlossen = 65 EUR/Mg (www.kompost.de)[16]

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- durch Verkauf des Kompostes
MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- im Bereich von 30–70 EUR/Mg, - die Kompostierung von Bioabfall aus Haushalten liegt generell höher (50–70 EUR/Mg) im Vergleich zum Grünabfall (30–50 EUR/Mg) - Anders als bei sonstigen Abfallbehandlungsanlagen kommt es im Falle von Kompostierbetrieben zu keiner starken Degression der massespezifischen Gesamtkosten mit zunehmendem Durchsatz. Das liegt daran, dass sich die konstruktionsbedingten Kosten nahezu proportional zur Durchsatzhöhe entwickeln.

[16] H&K aktuell 03/10, S. 1–4

ANDERE RELEVANTE ASPEKTE

Bei der Kompostierung sollten die internationalen Kompoststandards (wie sie z.B. vom European Compostnetwork ECN entwickelt oder in Deutschland von der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) vorgelegt wurden), zu Grunde gelegt werden.

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

Kompostieranlagen existieren überall in der Welt. Im Jahr 2010 gab es in Deutschland 915 Kompostierungsanlagen. Dabei unterteilten sich die zur Hauptrotte eingesetzten Verfahren wie folgt :

Tabelle 5: in Deutschland eingesetzte Rotteverfahren in Prozent (UBA: Handbuch Bioabfallbehandlung)

Container / Boxen	Tunnel	Tafelmiete	Dreiecksmiete	Semipermeable Planenabdeckung	Sonstige
13 %	9 %	40 %	26 %	4 %	8 %

Beispielbetriebe sind:

- Humuswirtschaft Kaditz GmbH, Dresden www.humuswirtschaft.de
- Kompostwerk Hellefelder Höhe GmbH, Sundern www.kompostwerk-online.de
- Kompostwerk Olpe GmbH, Olpe www.oez-olpe.de

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Anerkannte Hersteller und Erbauer von Anlagenteilen oder Komplettanlagen zur Abfallkompostierung sind z.B.:

Umsetztechnik/Siebmaschinen/Zerkleinerer/Abluftbehandlung:

- Komptech Vertriebsgesellschaft Deutschland mbH, Oelde www.komptech.de
- BACKHUS GmbH, Wardenburg www.eggersmann-recyclingtechnology.com/backhus
- Doppstadt GmbH, Calbe www.doppstadt.com
- Jenz GmbH, Petershagen www.jenz.de
- Biosal Anlagenbau GmbH, Bad Lausick www.biosal.de
- EuRec Technology Sales & Distribution GmbH, Merkers www.eurec-technology.com
- J.Willibald GmbH, Wald-Sentenhart www.willibald-gmbh.de

Komplettanlagen:

- Strabag Umweltanlagen GmbH (ehemals Linde-KCA), Dresden www.strabag-umweltanlagen.com
- Komptech Vertriebsgesellschaft Deutschland mbH, Oelde www.komptech.de

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Relevante Organisationen und Anlaufstelle für weitere Informationen über die Herstellung gütegesicherter Abfallkomposte und ihren Einsatz sind:

- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. http://www.kompost.de
- Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfälle www.ans-ev.de
- Verbände der Humus- und Erdenwirtschaft www.vhe.de
- European Compost Network ECN www.compostnetwork.info

ANAEROBE VERGÄRUNG

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Behandlung von organischen Abfällen, Klärschlamm aus der Abwasserbehandlung und Abwässern mit sehr hohem CSB-Gehalt - Reduzierung des abbaubaren Organikanteils und der Reaktivität bei den genannten Abfällen - Energiegewinnung aus Abfällen

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	X
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle	X[17]	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	getrennt erfasste Abfälle, z.B. Gastronomieabfälle, gewerbliche Speiseabfälle, Fettabscheiderabfälle, Abfälle aus der Landwirtschaft, Gülle, Schlachtabfälle, Tierkörperverwertungsabfälle (nach Drucksterilisation), Marktabfälle			
Andere Abfallarten	X	Klärschlamm, biologischer Schlamm aus aerober Behandlung, organische Stoffe			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Der Abfall ist getrennt zu erfassen und gegebenenfalls auf ein notwendiges Korngrößenspektrum zu zerkleinern. Bei bestimmten Abfällen (z.B. Schlachtabfälle) kann eine Hygienisierung vor der Vergärung notwendig sein.

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Der Gärrest ist zu entwässern. Resultiert er allein aus einem Input an Bioabfällen kann er nach anschließender Hygenisierung/Kompostierung wie Kompost aus der Kompostierung verwertet werden. Eine direkte Aufbringung dieses Gärrests auf Ackerland ist unter bestimmten Voraussetzungen möglich, in einigen Ländern auch generell zulässig. In anderen Fällen wird der getrocknete Gärrest energetisch genutzt.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Reste aus der Vergärung wie abgesiebte Folien sind mit anderen Verfahren (z.B. thermische Verfahren) zu behandeln.

Nachsorgebedarf: Der flüssige Anteil des Gärrestes enthält Restpartikelkonzentrationen und alle gelösten Inhaltstoffe, so dass eine weitere Behandlung meist notwendig ist, bspw. in Form der Abgabe an eine örtliche Abwasserbehandlungsanlage.

Besondere Schutzerfordernisse:
Die Abluft aus der Vergärung (insbesondere Bereich der Annahme und mechanischen Aufbereitung) ist zu erfassen und zu behandeln bzw. es sind geeignete technische, organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung/Verminderung von Emissionen (insbesondere Geruch) zu treffen.

Potenzielle Gesundheitsrisiken:
Im Bereich der Annahme und mechanischen Aufbereitung der Abfälle besteht ein Risiko erhöhter Keim- und Sporenbelastungen in der Luft. Durch geeignete technische und persönliche Schutzmaßnahmen (Mundmasken) ist dieser Gefahr zu begegnen.

Geeignete Finanzierungsmechanismen:
Die Finanzierung kann über eine direkte Gebühr bei Anlieferung des Abfalls oder für das dazu eingerichtete Sammelsystem (Biotonne) erfolgen. Die Kosten können alternativ auch in die Erfassungsgebühr o. Grundgebühr für die Restabfallsammlung eingeschlossen oder über pauschale Finanzierungsmodelle für die Abfallwirtschaft gedeckt werden. Erzeugte Energie/Strom bildet bei Einspeisung ins Netz eine Einnahmequelle bzw. trägt zur Deckung des Eigenbedarfs und folglich zu geringeren Betriebskosten bei.

[17] insbesondere zur Vorbehandlung der organikreichen Feinfraktion, z.B. vor der Deponierung

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:
Infrastrukturelle Gegebenheiten Anlagen zur Abfallvergärung sollten an Standorten errichtet werden die gut erschlossen sind, einen Zugang zum Stromnetz haben und vorzugsweise in der Nähe der Anfallstellen der jeweiligen Abfälle liegen. Geringere Abstände zur nächsten Wohnbebauung als bei den meisten Behandlungsanlagen für organische Abfälle sind möglich. **Klimatische Gegebenheiten:** keine Einschränkungen, allerdings sind in kalten Klimaten die Vergärungsreaktoren zu dämmen und zu beheizen (insbesondere bei thermophilen Prozessen). Für Standorte mit extremer Wasserknappheit ist diese Technologie *nicht* empfehlenswert!

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	In Abwesenheit von Sauerstoff werden bei der anaeroben Vergärung organische Abfallbestandteile durch Bakterien über verschiedene Stufen zu Methan, Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Grundsätzliche Ziele sind die Verringerung der biologischen Aktivität, der Menge und des Reaktionspotenzials der Abfälle und die Erzeugung von Biogas zur Nutzung als Energiequelle.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- ausgewogenes Nährstoffverhältnis der Abfälle zur Optimierung der Methanproduktion - hoher Feuchtegehalt - Abwesenheit von Prozess und Prozessmilieu beeinträchtigenden Stoffen
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	- Biogas zur Energieerzeugung *Bei der Bioabfallvergärung:* - Rückstände, welche eine weitere Behandlung erfordern, im Normalfall durch Kompostierung mit Erzeugung eines marktfähigen Endproduktes zur Nutzung in der Landwirtschaft (50–300 kg TS/Mg Input) *Bei anaerober Restabfall- oder Klärschlammbehandlung:* - Eine gegenüber dem Input stark reduzierte Restmenge mit deutlich verminderter biologischen Aktivität die nach weiterer Nachbehandlung (Nachrotte) ablagerungsfähig ist *Bei anaerober Abwasserbehandlung:* - geringe Mengen an Überschussschlamm, welcher entwässert als Flüssigdünger genutzt werden kann oder in einer Abwasserbehandlungsanlage zu behandeln ist (100–600 l/Mg Input)
BESONDERE VORTEILE	- Sowohl trockene als auch feuchte organische Abfälle können behandelt werden. - Das erzeugte Biogas kann zur Strom- und Wärmeerzeugung und entsprechend für den Eigenenergiebedarf bzw. zur Generierung von Erlösen genutzt werden. - Teils können die fermentierten Substrate in flüssiger oder fester Form verwertet werden. - Anlagen haben einen relativ geringen Platzbedarf. - Das Emissionspotenzial der Abfälle wie auch die Abfallmengen, welche zur Deponie bzw. Verbrennung gelangen verringern sich und somit auch die Emissionen dieser Anlagen.
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- Die Technologie ist komplex, die Bau- und Betriebskosten differieren stark und können abhängig von der Art der Anlage sehr hoch sein. - Es kann ein zusätzlicher Wasserbedarf entstehen. - Lignin und Zellulose können nicht abgebaut werden, was die Wirksamkeit des Verfahrens z.B. bei holziger Ausgangsmasse einschränkt. - Der Vergärungsprozess ist anfällig und bedarf ständiger Kontrolle, das heißt ein effizienter Anlagenbetrieb erfordert entsprechendes Know-how des Personals bzw. der Betreiber, auf Änderungen im biologischen Prozess muss zügig reagiert werden können damit dieser nicht zusammenbricht.

- Insbesondere die Nachbehandlung, Lagerung und Verwertung der Gärreste können Quellen für erhebliche Emissionen beispielsweise an Methan, Ammoniak und Geruchsstoffen sein.

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Die wesentlichen Stellgrößen des Prozesses sind die Art des Kontaktes des Abfalls mit den Mikroorganismen, die Zusammensetzung und der Feuchtegehalt des Inputmaterials (flüssig, pastös, fest) sowie die Art/der Grad der Umwälzung. Die anaerobe Behandlung besteht allgemein aus folgenden Schritten:

- **Vorbehandlung**

Allgemein lässt sich getrennt erfasster organischer Abfall leichter handhaben als Abfallgemische. Allerdings ist selbst bei getrennt erfasstem Abfall normalerweise eine Abtrennung von unerwünschten Fremdstoffen (Kunststoffe, Metalle, Grobgut) erforderlich. Die Abtrennung kann unter nassen und trockenen Bedingungen durchgeführt werden. Anschließend wird durch eine Zerkleinerung das Material homogenisiert, was die Fermentation und die Betriebsführung verbessert. Für die Abtrennung und Zerkleinerung kommen die, z.B. auch bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (siehe auch Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“) üblichen Techniken und Aggregate zur Anwendung.

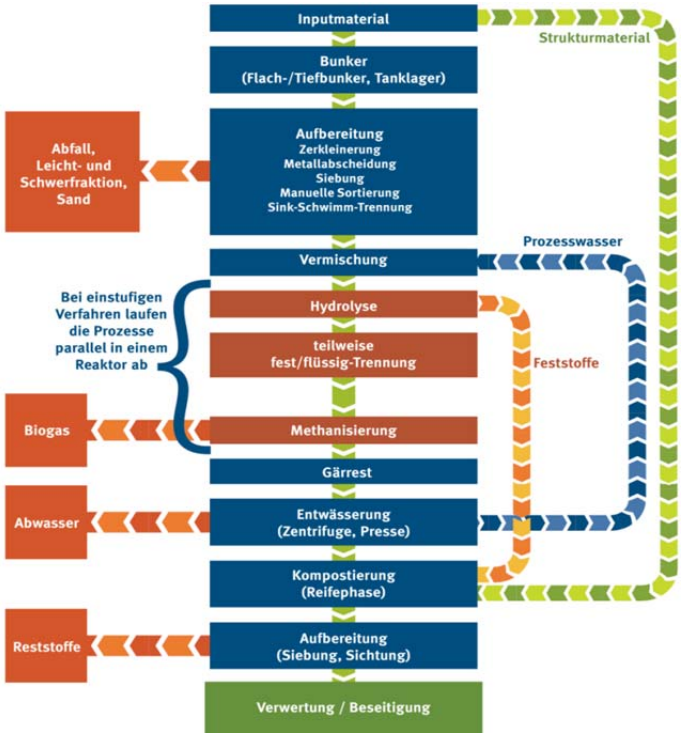
- **Vergärung**

Es gibt verschiedene Techniken zur effektiven Vergärung. Bedeutende Unterschiede gibt es bei der Betriebstemperatur und dem Anteil an Trockensubstanz im Ausgangsmaterial.

- thermophile Anlagen arbeiten im Bereich um 55°C (50–65°C),
- mesophile Anlagen um 35°C (20–45°C)
- der Trockensubstanzgehalt der Trockenvergärung liegt bei ca. 20–40 %,
- Nassvergärungsanlagen arbeiten bei einem Gehalt zwischen 5–20 % Trockensubstanz

Allgemein gilt, je höher die Temperatur, umso schneller läuft der Prozess ab. Thermophile Prozesse sind jedoch schwerer zu kontrollieren und benötigen einen höheren Energieinput (Eigenverbrauch an Biogas) zum Aufrechterhalten der erforderlichen Temperatur. Trockene Systeme sind generell einstufige Verfahren. Einstufige Verfahren sind nicht so anfällig für Störungen wie mehrstufige Systeme, jedoch ist die Biogasproduktion geringer. Abbildung 1 zeigt ein prinzipielles Verfahrensfließbild für ein- und zweistufige Systeme.

Abbildung 14: prinzipielles Verfahrensfließbild für ein- und zweistufige Vergärungssysteme



FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Nachfolgend werden die Spezifika verschiedener Prozessvarianten kurz dargestellt:

- Einstufige Nassverfahren

Feste Abfälle werden mit Prozesswasser angemaischt (Suspension mit einem TS-Gehalt bis ca. 15 %) und in den Vergärungsreaktor eingespeist. Der Prozess ist für organikreiche Siedlungsabfallfraktionen als ausschließlichem Input geeignet, er bietet sich jedoch genauso für die Mitvergärung wässriger Suspensionen wie tierische Gülle und organische Industrieschlämme z.B. aus der Nahrungsmittelproduktion, an. Durch den hohen Flüssigkeitsanteil in der Suspension ergibt sich eine Schwimm-Sink-Trennung von Leichtstoffen und Schwergut. Die so um Störstoffe abgereicherte Suspension wird in einen einstufigen Reaktor bei mesophilen Bedingungen (37–40°C) aufgegeben. Die Verweilzeit liegt meist bei 15-20 Tagen. Es wird ein Biogas mit einem Methangehalt um 65 % erzeugt. Das Substrat wird gründlich durch Biogaseindüsung oder aber durch Rührwerke gemischt. Der fermentierte Abfall wird ausgetragen, bei 70°C hygienisiert und auf einen Trockensubstanzgehalt von 50 % entwässert. Das Wasser wird intern als Prozesswasser genutzt.

- Mehrstufige Nassverfahren

Der angemaischt Abfall wird durch hydrolisierende und fermentierende Mikroorganismen fermentiert. Diese erzeugen flüchtige Fettsäuren, welche dann in großer Menge zu Biogas umgewandelt werden. Die Hydrolyse und die Methanisierung finden nacheinander in zwei verschiedenen Reaktoren statt. Dieses Prozessschema ist für organikreiche Siedlungsabfallfraktionen und feuchte organische Abfälle aus Großküchen oder der Nahrungsmittelproduktion geeignet. Mehrstufige Verfahren sind anfälliger für Störungen als einstufige Systeme, jedoch ist die Biogasproduktion höher. Eine mögliche Konfiguration für eine Nassvergärung zeigt folgende Abbildung:

Abbildung 15: Verfahrensschema einer mehrstufigen Nassvergärung (Komponentenanordnung nach Linde-KCA)

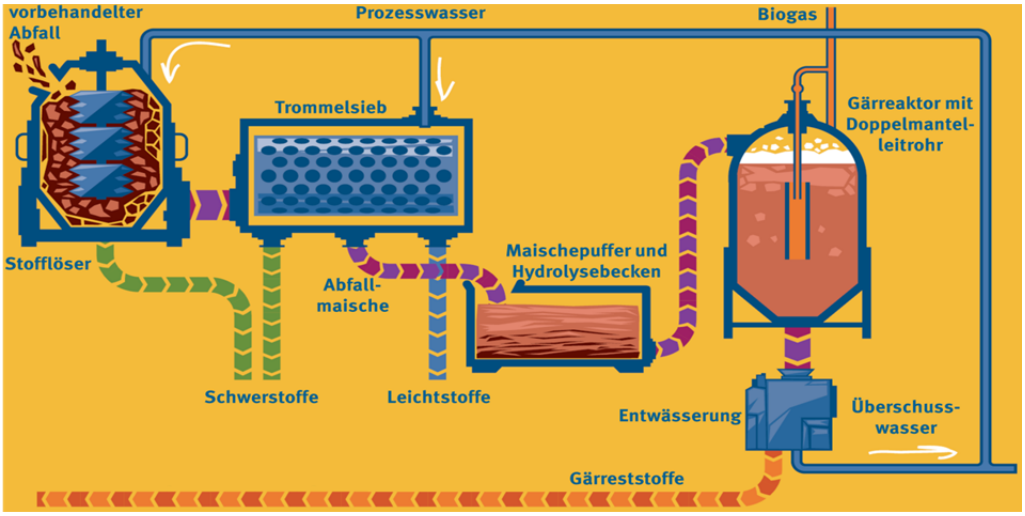


Abbildung 16: Blick auf wesentliche Anlagenkomponenten anaerober Nassvergärungsanlagen in Deutschland (links: Gärbehälter, rechts: Vorbehandlungsstrecke, Bildquellen: Tim Hermann; Intecus)

	- Trockenvergärung Vor der Vergärung wird der Abfall mit internem Prozesswasser oder Schlamm gemischt, um den gewünschten TS-Gehalt von 30–35 % zu erreichen. Die Fermentation kann bei mesophilen oder thermophilen Bedingungen stattfinden. Im Bioabfall enthaltene Störstoffe sollten soweit wie möglich vor dem Vergärungsprozess abgetrennt werden. Eine weitere Abtrennung von Störstoffen kann am Ende des Behandlungsprozesses erfolgen. Die Verweilzeit liegt üblicherweise in einem Bereich von 12–20 Tagen. Der Gärrest wird ausgetragen und auf ca. 50% TS-Gehalt entwässert. Das Wasser wird als internes Prozesswasser genutzt. Der Feststoff wird anschließend aerob nachbehandelt. - Kontinuierliche Trockenverfahren Der Gärreaktor wird kontinuierlich mit zerkleinerten und homogenisierten Material (20–40 % TS) gespeist. Für beide Varianten, gemischte als auch Pfropfenströmung, ist die thermophile Vergärung auf Grund der Wärmebilanz zu favorisieren. - Diskontinuierliche Trockenverfahren (Batch) Beim Batch-Verfahren wird der Abfall mit Inoculum aus einem anderen Reaktor geimpft und anschließend dem Ablauf der natürlichen Vergärung überlassen - Semikontinuierliche Trockenverfahren Das Wesentliche dieser Variante ist, das Prozesswasser zwischen dem etablierten und dem neuen Batchreaktor zu Betriebsbeginn gewechselt wird und Impfstoff und volatiles Materialien aus dem aktiven Reaktor entnommen werden kann. Nach der Vergärung wird der aktive Reaktor aus dem Betrieb entkoppelt und steht als neuer Reaktor zur Verfügung.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	- Die anaerobe Vergärung führt zur Bildung von Methan mit einer theoretischen Methanproduktion von 348 Nm^3/t CSB. Im Allgemeinen werden bei der anaeroben Vergärung 80–140 Nm^3 Biogas je Mg Bioabfall produziert. - Die Zusammensetzung von Biogas ist inputabhängig und bewegt sich im Bereich von: 50–75 Vol.-% Methan, 25–45 Vol.-% Kohlendioxid 2–7 Vol.-% Wasser 20–20.000 ppm Schwefelwasserstoff. ‹ 2 Vol.-% Stickstoff ‹ 2 Vol.-% Sauerstoff ‹ 2 Vol.-% Wasserstoff - Die Gesamtmassebilanz kann z.B. wie folgt beschrieben werden[18]: - Input: 100% Bioabfall bestehend aus - 65% Wasser, - 23 % organischer Trockensubstanz und - 12 % anorganischer Trockensubstanz - Output: - 5 % Störstoffe aus Vor- bzw. Grobbehandlung (Sande, Steine, Folien, etc.) - 11 % Biogas - 29 % Abwasser - 55 % Reste nach der Vergärung / Austrag aus Vergärung
ANWENDUNGS-BEREICH	- es existieren Anlagen mit einer Kapazität zwischen ca. 500 und 80.000 Mg/a Anlageninput

[18] Rosenwinkel, Kroiss, Dichtl, Seyfried, Weiland (Hrsg.): Anaerobtechnik – Abwasser-, Schlamm- und Restoffbehandlung, Biogasgewinnung (3. Auflage), Springer Verlag, 2015, S. 726

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Üblich sind:

- Vergärung wird als biologische Stufe in mechanisch-biologische Restabfallbehandlung integriert (siehe hierfür Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“).
- Vergärung erfolgt mit nachgeschalteter Kompostierungsanlage zur Behandlung des aus der Fermentation stammenden Gärrestes. Dieser kann in eine feste und flüssige Fraktion getrennt werden, der flüssige Gärrest kann bei entsprechender Beschaffenheit als Flüssigdünger genutzt, der feste Anteil zu Kompost weiterverarbeitet werden (siehe Datenblatt „Bioabfallkompostierung“).
- Vergärung in Kopplung mit einer Abwasserbehandlungsanlage bzw. einem integrierten Abwasseraufbereitungssystem.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

Die zum Anlagenbetrieb benötigte elektrische Energie und Wärme zur Beheizung der Reaktoren und Gebäude wird i.d.R. durch die Verbrennung von Biogas in einem Biogasmotor (Blockheizkraftwerk) selbst erzeugt und beträgt rund 5% bis ca. 60% der gesamten erzeugten Energie und Wärme (in Abhängigkeit der angewandten Prozesstechnik). Folgende Tabelle zeigt den Eigenstromverbrauch je Tonne Input für die verschiedenen Prozesse:

Tabelle 6: Gegenüberstellung von Stromerzeugung und Strombedarf bei verschiedenen Verfahrensvarianten bei der anaeroben Vergärung bezogen auf Fermenter-Input (Quelle: Endbericht zum Förderprojekt 03KB022: Steigerung der Energieeffizient in der Verwertung biogener Reststoffe)

Verfahrensvarianten			Stromproduktion (kWh/Mg)	Strombedarf (kWh/Mg)
Nass	1 stufig	mesophil	235	71
		thermophil	310	71
	2 stufig	mesophil	274	71
		thermophil	Keine Angabe	Keine Angabe
trocken	Kontinuierlich	mesophil	241	48
		thermophil	271	48
	diskontinuierlich	mesophil	186	23
		thermophil	194	23

CO_2-RELEVANZ

Der Prozess selbst ist geschlossen, Emissionen in die Atmosphäre sollten daher nicht auftreten, mit gelegentlichen Ausnahmen bei der Beschickung und Entleerung der Reaktoren. Untersuchungen ermittelten jedoch einen sogenannten Methanschlupf (Methanverluste durch undichte Anlagenteile) von bis zu 5 % des erzeugten Methans.

Bedeutende Klimaeffekte bei der anaeroben Vergärung ergeben sich aus der:

- Vermeidung von Methanemissionen durch unvorbehandelt abgelagerte organische Abfälle
- Reduzierung von Emissionen über Energiesubstitution und die Verringerung des Bedarfes an fossilen Brennstoffen

HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE

- Wasser: 50–200l/Mg Abfall
- teilweise Zusatzstoffe, u.a.
  Flockungsmittel wie Eisenchlorid,
  Mittel gegen Schaumbildung ,
  Mittel zur Regulierung des pH-Wertes.

PERSONALBEDARF

- Je nach Anlagenauslegung und Vergärungstechnik werden mindestens 3 Mitarbeiter benötigt. Qualifiziertes Personal, speziell für die Bereiche der Betriebsleitung und Prozessüberwachung ist erforderlich.

FLÄCHENBEDARF

Tabelle 7: Flächenbedarf ohne Nachrotteflächen für den Gärrest (Daten: UBA Texte 43/2010: Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz)

Anlagengröße	20.000 Mg/a	40.000 Mg/a	Pro Mg/a
Nassfermentation	4500–5000 m²	6000–8000 m²	0,15–0,25 m²
Kontinuierliche Trockenfermentation	4000–5500 m²	5000–6000 m²	0,125–0,275 m²
Diskontinuierliche Trockenfermentation	2500–3000 m²	5000 m²	0,125–0,2 m²

NACHSORGE-AUFWAND

- Nachsorgeaufwendungen für abgelagerte Reste der Vergärung sind in den Deponiebetrieb zu integrieren. Reststoffe der Vergärung können jedoch in der Regel in der Kompostierung genutzt oder in anderen Verfahren weiterbehandelt werden.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN

INVESTITIONS-KOSTEN

Tabelle 8: Investitionsbedarf (Daten: UBA Texte 43/2010: Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz)

	Trockenfermentation diskontinuierlich	Trockenfermentation kontinuierlich	Nass-fermentation	Fermentation Teilstrom
Investkosten bei 20.000 Mg Input /a	150–310 EUR/Mg	250–480 EUR/Mg	260–490 EUR/Mg	40–100 EUR/Mg

- Mit sinkender Inputmenge, steigen die spezifischen Kosten aufgrund fix bleibender Kostenpositionen (degressiver Kostenverlauf).

BETRIEBSKOSTEN

Tabelle 9: Betriebskosten (Daten: UBA Texte 43/2010: Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz)

	Trockenfermentation diskontinuierlich	Trockenfermentation kontinuierlich	Nass-fermentation	Fermentation Teilstrom
Betriebskosten bei 20.000 t Input/a	15–30 EUR/Mg	18–38 EUR/Mg	20–50 EUR/Mg	5–15 EUR/Mg

- Mit sinkender Inputmenge, steigen die Kosten aufgrund fix bleibender Kostenpositionen (degressiver Kostenverlauf).
- Reparatur und Wartung ca. 4–6 % der Investitionskosten jährlich

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN

- Der Energieertragswert liegt bei ca. 20–30 EUR/Mg Bioabfall. Damit können die Betriebskosten teilweise durch den Verkauf von erzeugter Energie und ggf. Kompost gedeckt werden. Bei günstigen Preisen sind Gewinne erzielbar.

MASSESPEZIF. GESAMTKOSTEN

- keine Angaben

ANDERE RELEVANTE ASPEKTE

Die Co-Fermentation von organischen Abfallsubstraten in den Faultürmen von Abwasserbehandlungsanlagen ist eine Option, welche zunehmend in der Praxis durchgeführt wird (siehe Datenblatt „Klärschlammbehandlung“).

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

Die Behandlungsmethode findet weltweite Anwendung, neben unzähligen Anlagen zur Monovergärung von landwirtschaftlichen Substraten werden in Deutschland auch viele Anlagen zur Vergärung anderer Abfallstoffe betrieben, deren Zahl ist stark im Wachsen. Beispielanlagen sind:

- Biogasanlage der Bioverwertungsgesellschaft Radeberg mbH www.bvr-radeberg.de

	- Biogas und Kompostwerk Bützberg der Stadtreinigung Hamburg www.stadtreinigung.hamburg/kompostwerk - Biogasanlage Berlin Ruheleben der Stadtreinigung Berlin - Biogas- und Kompostanlage in Gütersloh und Saerbeck
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Anerkannte Hersteller und Erbauer von Anlagenteilen oder Komplettanlagen zur Vergärung von organischen Abfällen sind z.B.: - Strabag Umweltanlagen GmbH, Dresden www.strabag-umweltanlagen.com - HAASE Energietechnik AG, Neumünster www.haase-energietechnik.de - Schmack Biogas AG, Schwandorf www.schmack-biogas.com - FARMATIC Anlagenbau GmbH, Nortorf www.farmatic.de - Biotechnische Abfallverwertung GmbH & Co KG, München www.bta-technologie.de - BEKON Energy, Unterföhring www.bekon-energy.de
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
Relevante Organisationen und Anlaufstellen für weitere Informationen über die Vergärung von Siedlungsabfällen sind der: - Fachverband Biogas e.V. www.biogas.org - Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfälle www.ans-ev.de - Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung (ASA) e.V. www.asa-ev.de	

MECHANISCH-BIOLOGISCHE BEHANDLUNG/STABILISIERUNG

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	Die mechanisch-biologische Behandlung (MBA) wird für gemischte Abfälle mit signifikantem Organik-/Kohlenstoffanteil angewandt, um folgende Ziele zu erreichen: - Stabilisierung und Minderung von Risikopotenzialen in Verbindung mit einer signifikanten Masse- und Volumenreduzierung aufgrund biologischen Abbaus (damit Verringerung des zur Deponierung kommenden Anteils biologisch aktiven Abfalls) und in Verbindung damit - die Erzeugung verschiedener Stoffströme, Gewinnung von recycelbaren Materialien und Verbesserung der Abfalleigenschaften für nachfolgende Behandlungsprozesse

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X[19]	Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	ohne gefährliche Bestandteile und soweit biologisch abbaubare Anteile enthalten sind			
Andere Abfallarten	X	alle biologisch abbaubaren Materialien ohne gefährliche Bestandteile			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung: keine

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:

Fe-/NE-Metalle werden wieder der Metallerzeugung zugeführt, heizwertreiche Fraktionen (EBS) sind energetisch verwertbar (siehe auch Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“). Sofern landesspezifisch rechtliche Regelungen es zulassen, können nach geeigneter Nachbehandlung wie zusätzlicher Absiebung oder weiterer Stabilisierung Reste der Rotte auch zur Deponieabdeckung und bei Standortsanierungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:

Die biologisch behandelte Feinfraktion kann abgelagert oder thermisch weiterbehandelt werden.

Nachsorgebedarf:

Minderungsmaßnahmen und Nachsorge sind auf die entstehenden Emissionen (Abluft, Abwasser) anzuwenden. Auch die Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen erfordert Deponienachsorgemaßnahmen.

Besondere Schutzerfordernisse:

Die Abluft mechanisch-biologischer Behandlungsanlagen und entstehende Abwässer sind zu erfassen und zu reinigen. Gleichzeitig sind technische und organisatorische Vorkehrungen zur Vermeidung und Minderung von Geruchsbelastungen zu treffen. Besondere Vorsorge sollte aufgrund der Selbstentzündlichkeit des Abfalls hinsichtlich des Brandschutzes gelten.

Potentielle Gesundheitsrisiken:

Bei offenen Behandlungsschritten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung besteht ein Risiko erhöhter Keim- und Sporenbelastungen in der Luft. Durch geeignete technische und persönliche Schutzmaßnahmen (Halbmasken) ist dieser Gefahr zu begegnen.

[19] nur in Kleinmengen, z.B. Reste ohne gefährliche Bestandteile aus der Sortierung, grundsätzlich ist eine stoffliche Verwertung oder Nutzung in speziellen Energieerzeugungsanlagen besser geeignet

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten
MBA-Anlagen können grundsätzlich überall errichtet werden, die Standorte sollten jedoch vorzugsweise in der Nähe der Anfallstelle der entsprechenden Abfälle oder in Deponienähe liegen und über eine Anbindung an Verkehrs- bzw. Transportwege verfügen. Ein Abstand zur nächsten Wohnbebauung sollte, wie bei den meisten Behandlungsanlagen für organische Abfälle eingehalten werden, um Belästigungen durch Geruch oder Schadtiere auszuschließen.

Klimatische Gegebenheiten:
MBA-Anlagen können grundsätzlich unabhängig von klimatischen Gegebenheiten betrieben werden, allerdings ist dieser Faktor bei der technischen Auslegung mit zu berücksichtigen. Extreme Bedingungen in Bezug auf Temperatur und Luftfeuchte können die Anwendung offener Rotteverfahren für die biologische Behandlungsstufe einschränken. Vergärungsreaktoren sind bei extremen Temperaturen zu isolieren und ggfs. beheizbar zu gestalten.

Beschäftigungspotentiale:
MBA-Anlagen eröffnen Beschäftigungspotenziale sowohl für ungelerntes als auch höher qualifiziertes Personal.

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

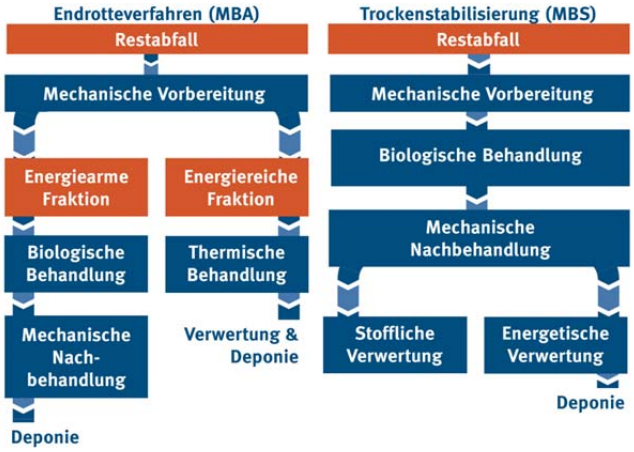
KURZ-BESCHREIBUNG

Bei der mechanisch-biologischen Behandlung werden gemischte Restabfälle durch eine Kombination von mechanischen und biologischen Prozessen so verändert, dass sie ein verringertes Reaktions- und Risikopotenzial aufweisen und somit sicher zur Ablagerung gelangen können. Das Ziel der Prozesskombination ist außerdem die Verringerung des Abfallvolumens und eine weitere Wertgewinnung durch Erzeugung von verwertbaren Materialien sowie, in einigen Fällen, Energie.

Es gibt eine Vielzahl möglicher Prozesskonfigurationen jedoch immer in der Kombination mechanischer Prozesse und einer biologischen Behandlung als Kernverfahren. Einige Verfahrenskombinationen wurden zu einer integrierten Einheit entwickelt, einschließlich der Kontrolle von Emissionen und Gerüchen in einem geschlossenen System. Die mechanisch-biologische Behandlung ist sehr flexibel gestaltbar und kann damit an sich verändernde Abfallzusammensetzungen einfacher angepasst werden bzw. auch dann leistungsfähig sein. Sie ist ein Behandlungsweg für den es keiner zusätzlichen Anforderungen an die Abfallsammlung bedarf, d.h. auch für Haushaltsabfälle ohne jegliche Vorabtrennung geeignet.

Die Hauptkonzepte der mechanisch-biologischen Behandlung unterscheiden sich in der Anordnung der Prozessschritte und dem Ziel der biologischen Behandlung. Dabei erfolgt entweder eine mechanische Aufteilung des Abfalls in eine energiereiche Fraktion zur thermischen Verwertung und eine energiearme Fraktion zur biologischen Behandlung („Endrotteverfahren“) oder eine biologische Stabilisierung des gesamten Abfalls mit nachfolgenden mechanischen Prozessschritten (Trockenstabilisierung).

Abbildung 17: vereinfachte Darstellung grundlegender Behandlungskonzepte (n. Nelles, Morascheck, Grünes)



	Beim „Endrotteverfahren“ wird nur ein bestimmter Teil biologisch behandelt. Im biologischen Kernprozess gelangen die anaerobe Vergärung, die Kompostierung oder Bestandteile von beiden Technologien zur Anwendung. (*Verfahrensansatz MBA; mechanisch-biologische Abfallbehandlung*). Wird die anaerobe Vergärung eingesetzt, wird der Prozess normalerweise zur Optimierung der Biogasproduktion ausgelegt. Wenn ein aerober Behandlungsschritt die Kerntechnologie der biologischen Behandlung bildet, wird während des Rotteprozesses ein gemischter Abfall in stabiles Material zur Deponierung umgewandelt. Bei der Trockenstabilisierung (*Verfahrensansatz MBS; mechanisch-biologische Stabilisierung oder BMA*) wird der gesamte Abfall durch die im biologischen Behandlungsschritt freigesetzte Wärme getrocknet und das dadurch stabilisierte Material anschließend in verwertbare Materialen, ggf. Sekundärbrennstoff und Material zur Deponierung getrennt. Hauptziel ist die Erzeugung von Sekundärbrennstoff zur energetischen Verwertung.
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- feste organik-/kohlenstoffreiche Abfälle ohne gefährliche Bestandteile als Input - Vorliegen eines bestimmten Standards in Bezug auf die Kontrolle und Behandlung von Emissionen und weitere Schutzmaßnahmen (möglichst in einem Regelwerk gefasst) - Energieversorgung
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	Output: - hochkalorische Grobfraktion (MBA) oder brennbares Stabilat (MBS/BMA) - stabilisiertes Rottematerial (MBA) zur Ablagerung - verwertbare Materialien (hauptsächlich Metalle) - Rest- und Störstoffe - Staub, Abwasser und Abluft Qualitätsanforderung an den Output: - Mechanisch-biologisch behandelte Abfälle sollten bei der Ablagerung auf Deponien einen geringen Feuchtegehalt und eine niedrige Atmungsaktivität (Anforderungen der Deponieverordnung in Deutschland AT4 < 5 mg/kg TS) aufweisen. - Das Abwasser der anaeroben Vergärung muss in geeigneter Form behandelt werden, um den Anforderungen an eine Abgabe in Oberflächengewässer zu entsprechen.
BESONDERE VORTEILE	- Reduzierung von Volumen und Reaktionspotenzial des zur Deponierung vorgesehenen Abfalls und damit Verringerung des benötigten Deponieraumes sowie der Gasemissionen, Sickerwasserentstehung- und Geruchsbildung auf Deponien - Verknüpfung von materialspezifischer Behandlung und Erzeugung verschiedener Materialfraktionen für eine anschließende Verwertung - Möglichkeit der Energiegewinnung (Nutzung des Biogases aus dem biologischen Prozess und/oder des erzeugten Sekundärbrennstoffs) - Realisierung in einfacher und wenig kapitalintensiver Form möglich
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- Die nicht vollständige Mineralisierung des Abfalls erfordert weitere Behandlungsmaßnahmen oder Nachsorge auf der Deponie. - nicht vollständige Ausnutzung des Energiegehaltes im Abfall
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Den Kern der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung bildet der biologische Prozess, durch ihn können jedoch nur biologisch abbaubare Fraktionen behandelt werden. In Abhängigkeit vom weiteren Entsorgungsweg und der dafür notwendigen Materialqualität werden daher mechanische Prozesse von unterschiedlicher Intensität und Zielwirkung erforderlich. Diese mechanischen Prozesse gehen der biologischen Behandlung entweder voraus und separieren dabei die verwertbaren, nicht abbaubaren Stoffe von der biologisch behandelbaren Fraktion (MBA), oder sie sind dem biologischen Prozess nachgeordnet und tragen dazu bei, recycelbare und als Brennstoff verwertbare Stoffströme zu generieren (MBS).

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

- **Mechanische Behandlung**

Diese besteht normalerweise aus verschiedenen mechanischen Prozessen, welche dazu dienen, die physikalischen und brennstofftechnischen Eigenschaften des Abfallinputs und dessen Zusammensetzung so zu verändern, dass nachfolgende Prozesse und Möglichkeiten der Verwertung verbessert werden.

Die technische Minimalausstattung für eine effiziente Behandlung umfasst folgende Installationen: -Lager- und Beschickungseinrichtungen
-Entfernung von Stör- und Fremdstoffen
-Vorzerkleinerung

In Fällen der mechanischen Behandlung vor der biologischen Stufe, d.h. beim Verfahrensansatz MBA wird wie folgt vorgegangen:

1) Lager und Beschickung

Flachbunker bzw. Tiefbunker nehmen den angelieferten Abfall auf. Im Flachbunker können sperrige Störstoffe mit Hilfe von Radlader oder speziellen Greifern grob entfernt werden. Unabhängig davon kann der angelieferte Abfall hier ohne große Probleme kontrolliert werden. Dabei lassen sich auch problematische Lieferungen von der Behandlung ausschließen. In Flachbunkern ist des Weiteren die getrennte Lagerung verschiedener Fraktionen (z.B. trockene gewerbliche Abfälle, Sperrmüll, nasse Haushaltsabfälle) einfacher realisierbar. Sie sind kostengünstiger als Tiefbunker, erfordern aber einen größeren Flächenbedarf.

Im Tiefbunker kann der angelieferte Abfall leicht gemischt werden. Anderseits ist jedoch das Aussortieren von Störstoffen relativ schwierig. Tiefbunker eignen sich besonders zur Aufnahme nasser Haushaltsabfälle Für trockene Abfälle stellt der Flachbunker die bessere Option dar. Im Allgemeinen sind Flachbunker daher bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung die Vorzugslösung.

2) Abtrennung von Fremd- und Störstoffen

Im Falle des Betriebs von Flachbunkern sind störende sperrige Materialien leicht mit speziellen Greifern (Greifbagger) oder Radladern zu entfernen. Andere Störstoffe (wie Akkus, große Kunststofffolien) werden i.d.R. an der Fördereinrichtung oder am Fließband entfernt. Bei trockenen sperrigen und gewerblichen Abfällen wird auch die manuelle Auslese in belüfteten Kabinen praktiziert. Aufgrund der potenziellen Gesundheitsrisiken ist diese Vorgehensweise nicht für nasse Haushaltsabfälle geeignet. Hier ist die maschinelle Abtrennung (z.B. mit Greifbagger) erforderlich.

3) Zerkleinerung

Neben der Erzeugung eines homogenen Abfallgemisches wird bei diesem Schritt die Reaktionsoberfläche vergrößert und noch verpackte Materialien werden für die nachfolgenden Prozessschritte verfügbar gemacht. Weil die Vorzerkleinerung der energieintensivste Schritt in der mechanischen Behandlung ist, wird diese nur in ausgewählten Fällen angewandt. Sperrige und gewerbliche Abfälle müssen jedoch immer vorzerkleinert werden.

Für die Vorzerkleinerung (bis zu einer Größe zwischen 250–500 mm) werden Schneideinrichtungen (z.B. Rotorscheren), Schredder und Brecher genutzt. Die Hauptzerkleinerung (100–250 mm) erfolgt mit Rotorscheren, Schreddern und Kaskadenmühlen. Feinzerkleinerungen (‹ 25 mm) werden durch Kutter oder Hammermühlen durchgeführt.

Die mechanische Vorbehandlung kann weiterhin folgende Schritte beinhalten:

4.1) Eisenmetallabscheidung

Große Metallteile werden bereits im Lagerbereich abgetrennt, kleine Teile können hingegen im Abfall verbleiben. Die kleinen Eisenteile können durch Überbandmagneten aus dem darunter durchlaufenden und ausreichend verteilten Materialstrom abgeschieden werden. Weil Eisenmetalle sehr leicht abgetrennt und verwertet werden können, gehört deren Abscheidung zu den häufigen Bestandteilen einer MBA.

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

4.2) Nichteisenmetallabscheidung
Weiterhin möglich ist die Abtrennung von Nichteisenmetallen, insbesondere im Stoffstrom < 80 mm. Für verwertbare Nichteisenmetalle können hohe Erlöse erzielt werden.

5.1) Abtrennung des Überkorns durch Siebung
Wenn wesentliche Anteile an Kunststoffen und Holz im Abfall enthalten sind, erfolgt häufig die Abtrennung zusammen mit Papier/Pappe in einer Siebtrommel. Die Siebung bei einer Korngröße von 100 bis 150 mm erzeugt eine hochkalorische Fraktion im Siebüberlauf (Papier/Pappe, Kunststoffe, Holz). Im Siebdurchgang sind die biologisch abbaubaren Materialen konzentriert. Für sperrige Abfälle findet die Siebtrommel keine Anwendung. Wird aus dem Siebüberlauf Sekundärbrennstoff erzeugt, wird dieser anschließend zerkleinert und eventuell konditioniert und kompaktiert.

5.2) Abtrennung von Leicht- und Schwerfraktion durch Klassierung
Bei der Klassierung, zum Beispiel mittels Windsichter, werden aus der hochkalorischen Fraktion Glas und Steine entfernt. Dieses Verfahren ist jedoch weniger häufig als die Siebung.

6) Abtrennung durch Sortierung
Wo der trockene Abfall (insbesondere gewerblicher und sperriger Abfall sowie Abfall aus dem Baubereich) hohe Anteile an verwertbaren Materialien enthält, kann eine manuelle Sortierung stattfinden. Die Sortierschritte erfolgen meist im Anschluss an eine Vorsiebung. Windsichtungen sind eine wertvolle Unterstützung bei der Trennung des Abfallgemisches und der Erzeugung von Ersatzbrennstoffen.

7) Weitere Zerkleinerung
Im Falle der Nutzung der hochkalorischen Fraktion als Brennstoff z.B. in der Mitverbrennung (siehe auch Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung") ist oft eine weitere Zerkleinerung erforderlich. Vorzugsweise kommen Schnellläufer zur Anwendung. Mit diesem Zerkleinerer ist eine Korngröße von 60–80 mm erzielbar. Ist eine weiterführende Zerkleinerung notwendig, muss der Abfall erst pelletiert werden, was mit hohem technischem Aufwand verbunden ist.

8) Ballenpressen
Für eine optimierte Lagerung und einen besseren Transport wird das abgetrennte Material (meist Kunststoffe und Papier) oft in Ballen gepresst.

Beim ***Verfahrensansatz MBS*** wird nach der biologischen Stabilisierung mechanisch meist nur das Metall und mineralische Grobstoffe abgeschieden. Vor dem biologischen Prozess kann es notwendig sein, eine Abtrennung der Störstoffe und eine Vorzerkleinerung durchzuführen

- ***Biologische Behandlung***

Für die biologische Behandlungsstufe kommen unterschiedliche Technologien zum Einsatz. Gewöhnlich sind dies die Intensivrotte/Kompostierung oder die anaerobe Vergärung. Details hierzu sind in separaten Datenblättern enthalten (siehe Datenblätter „Kompostierung" und „Anaerobe Vergärung").

Nachfolgend werden nur die Besonderheiten der genannten Verfahren bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung dargestellt werden. Für den ***Verfahrensansatz MBA*** betrifft dies:

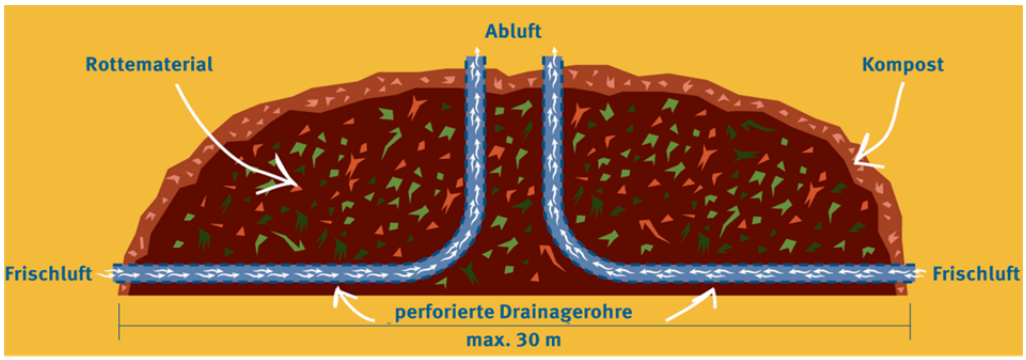
- *Rotteverfahren*

Wie beim Kompostieren können statische und dynamische Methoden zur Rotte des Abfalls eingesetzt werden. Statische Methoden sind die einfachsten Methoden der Rotte. In diesem Fall wird der Abfall während des biologischen Abbaus nicht bewegt. Dazu wird der homogenisierte Abfall zu einfachen Rottehaufen, Dreiecksmieten oder Trapezmiete aufgesetzt. Die Miete ist auf einem undurchlässigen Untergrund zu errichten damit das Grundwasser nicht kontaminiert wird.

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Im einfachsten Fall und bei weniger hohen Anforderungen an eine Abluftbehandlung als in Ländern wie Deutschland inzwischen üblich, lässt sich die biologische Rotte so bereits mittels Kaminzugverfahren nach Spillmann/Collins realisieren. In diesem Verfahren werden perforierte Drainagerohre in die Miete eingebracht. Durch die biologische Selbsterhitzung des Rottematerials wird ein Luftstrom erzeugt, welcher das Rottematerial mit Sauerstoff versorgt. Eine Abdeckmembran regelt den Feuchtgehalt des Materials. Möglich sind bis zu 2,5 m hohe Trapezmieten.

Abbildung 18: Kaminzugverfahren nach Spillmann/Collins



Rottesysteme ohne Bewegung des Abfalls und ohne technische Unterstützung zur Belüftung und Bewässerung werden in Deutschland aber z.B. nur für die passiv belüftete Nachrotte (offene Nachrotte auf Deponieflächen) genutzt.

Für die Hauptrotte werden stattdessen Verfahren mit aktiver Belüftung unter Kontrolle des Wasser- und Sauerstoffgehaltes und mit Ablufterfassung eingesetzt.

Rotteboxen und -container

Eine andere statische Methode sind Rotteboxen und -container. Die Boxen können aus verstärktem Beton oder Stahl hergestellt sein. Sie haben einen beweglichen perforierten Boden und arbeiten im Batch-Betrieb. Die Boxen werden mit Luft über den perforierten Boden versorgt, die Abluft wird oben abgesaugt und anschließend behandelt. Die Rotteboxen erfordern eine gründliche mechanische Vorbehandlung. Die Intensivrotte ist nach 8–10 Tagen abgeschlossen. Die Technologie ist einfach und langlebig.

Dynamische oder quasi-dynamische Methoden, wie Rottetrommel, Tunnelreaktoren und regelmäßige umgesetzte Mieten, können ebenso eingesetzt werden. Details hierzu enthält das Datenblatt zu Kompostierungsverfahren (siehe Datenblatt „Kompostierung“)

Intensive Rottetechnologien sind hervorragend beim Verfahrensansatz MBS zu implementieren. Sie werden zur biologischen Trocknung und Sterilisierung des gesamten Inputstromes angewandt und erzeugen auf diesem Weg einen Output, welcher weitgehend für die thermische Behandlung und für Verbrennungsprozesse geeignet ist. Zum Zweck der Trocknung werden die biologischen Eigenschaften des Abfalls genutzt. Dazu werden die technischen Systeme meist mit unsortiertem, jedoch homogenisierten Abfall komplett befüllt. Sickerwasser und Abluft werden gefasst und letzteres gereinigt. Angesichts des unsortierten Inputs und den hohen Emissionsraten sowie des Sickerwasseraufkommens in der ersten Phase der Behandlung ist der Prozess vollständig zu kapseln.

Aufgrund des durch die biologische Trocknung reduzierten Feuchtegehalts und durch die nachträgliche Abtrennung nicht brennbarer Materialien ist die thermische Behandlung des Outputmaterials relativ gut möglich. Der Heizwert des so erzeugten Sekundärbrennstoffs reicht bis in den Bereich zwischen 12–16 MJ/kg, was eine industrielle Mitverbrennung ermöglicht

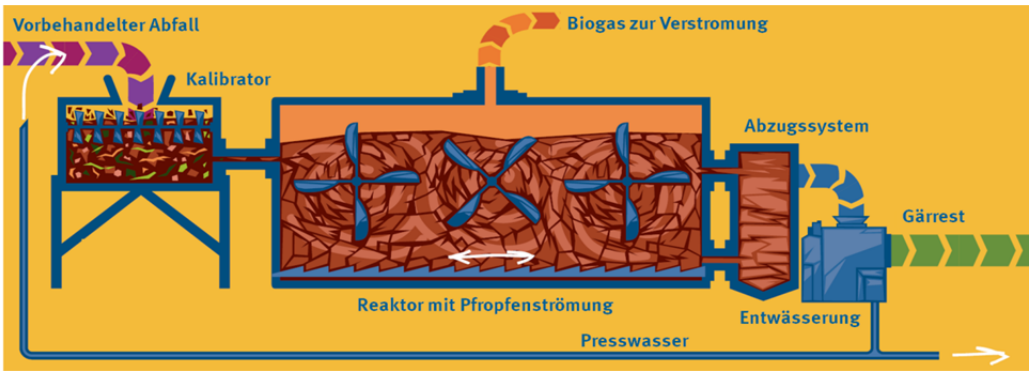
Eine andere Möglichkeit der Realisierung der biologischen Stufe nach dem Verfahrensansatz MBA ist die Anaerobe Vergärung. Bei der anaeroben Vergärung findet der biologische Abbau unter Sauerstoffabschluss in einem geschlossenen Reaktor statt.

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Es kann zwischen trockener und nasser Vergärung unterschieden werden. Nähere Beschreibungen hierzu enthält ein separates Datenblatt. (siehe Datenblatt „Anaerobe Vergärung")

Im Folgenden sollen die spezifischen Vergärungstechnologien beschrieben werden, wie sie in der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung eingesetzt werden. Wenn eine anaerobe Vergärung in eine MBA integriert ist, wird der Prozess i.d.R. zur Optimierung der Biogasproduktion ausgelegt. In einigen Fällen wird die Optimierung nach Biogasproduktion und Sekundärbrennstofferzeugung ausgelegt. Aufgrund der Inhomogenität des zu vergärenden Materials (Sedimente auf der einen und Faserstoffe auf der anderen Seite) bildet die einstufige Trockenvergärung häufig die bevorzugte Behandlungsmethode

Abbildung 19: Verfahrensschema einstufige Trockenvergärung (Komponentenanordnung nach Linde-KCA)



Die Vorteile der Trockenvergärung sind:
- geringer Wasserbedarf,
- durch den höheren Trockengehalt sind sedimentierende Komponenten im Vergleich zur Nassvergärung besser zu integrieren

Die Behandlung von Restabfällen durch die anaerobe Vergärung stellt bestimmte Anforderungen an die Ausstattung, an das Personal und an die Anlagenplanung. Korrosionsfördernde (z.B. Chlor, Schwefel, Säuren) und abrasive Materialien (z.B. Mineralien, Metalle) erzeugen einen hohen Verschleiß. Die typischen Probleme der Behandlung von Restabfällen durch die anaerobe Vergärung können durch folgende technische Lösungen minimiert werden:

- Eindüsung von Biogas anstelle von Rührwerken zur Umwälzung im Vergärungsreaktor führt zur Minimierung der Schwimmschichtbildung und vermeidet Umwicklungen am Rührwerk
- Vorherige Abscheidung und Entfernung von schweren Komponenten (sedimentierende Materialien) und Leichtstoffen (Textilien, Folien zur Vermeidung von Ummantelungen, Verstopfungen und Schwimmschichtbildung),
- Einstellung des Trockensubstanzgehaltes auf 20-40 % vor der Vergärung oder
- Waschen der Feinfraktion nach der mechanischen Vorbehandlung mit dem Ziel der Entfernung von Leichtstoffen, Sand und anderen abrasiven Materialien (z.B. Glas); das restliche Material, welches überwiegend aus biologisch abbaubaren Substanzen besteht, kann im Nassverfahren vergoren werden.

Der Vergärungsprozess ist im Mittel nach ca. 18–21 Tagen abgeschlossen. Danach wird der Output in einer Presse entwässert. Die festen Rückstände werden in einer Kompostierung weiterbehandelt und anschließend deponiert, das Abwasser ist einer weiteren Behandlung zu unterziehen.

Die Abluft aus MBA- und MBS-Anlagen soll grundsätzlich erfasst und behandelt werden. Entsprechend der eingesetzten Verfahren, Luftmengen und gesetzlichen Vorgaben können dafür Biofilter in Kombination mit thermischen Verfahren wie die regenerative thermische Oxidation in Frage kommen. Vorteil thermischer Verfahren ist die weitgehende Reduzierung organischer Verbindungen. Nachteilig sind der Energiebedarf (insbesondere wenn die Anlage selbst kein Biogas erzeugt) und teilweise noch hohe Unterhaltungsaufwand der Technik.

STOFFFLUSS UND -MENGEN

Input:
- 100 % Gemischter Siedlungsabfall
- Wasser (wenn Vergärung als biologische Stufe eingesetzt wird)

Output (ausgehend von der durchschnittlichen Abfallzusammensetzung in Europa):
- 2–5 % Störstoffe
- 2–4 % Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle)
- 30–45 % Sekundärbrennstoff
- 40–65 % Feinfraktion zur biologischen Behandlung

  davon: 10–25% Masseverlust durch biologischen Abbau,
  bis zu 20% Austrag als Wasser
  5% Umwandlung zu Biogas
  30–50% verbleiben als Rest zur Deponierung.

Der veränderte Verfahrensablauf der Abtrennung und der biologischen Aktivität beim MBS-Verfahren verbessert die Verwertbarkeit von nicht biologisch abbaubaren Materialien und führt zu einer Reduzierung der zu deponierenden Mengen

ANWENDUNGS-BEREICH

Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen werden bislang in folgenden Dimensionen errichtet:
- minimaler Durchsatz (mit einfachen Rottemethoden): 25.000 Mg/a
- minimaler Durchsatz (mit anaerober Vergärung): 60.000 Mg/a
- obere Durchsatzmengen: ca. 300.000 Mg/a

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

- Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung ist ein der Abfallablagerung vorgeschalteter Behandlungsschritt. Gleichwohl damit keine speziellen Anforderungen an die Abfallsammlung verbunden sind und Kriterien für eine sichere Ablagerung der Abfälle durch die Behandlung besser erfüllt werden, ist anzustreben, dass Verfahren so zu gestalten, dass ein hoher Teil der im Abfall enthaltenen Wertstoffe und Energie im Zuge des Verfahrens für eine weitere Nutzung verfügbar gemacht wird.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

Der durchschnittliche Energiebedarf liegt zwischen 20–70 kWh/Mg, wobei der größte Anteil mit ca. 10–30 kWh/Mg auf die mechanische Vorbehandlung entfällt.

Tabelle 10: Vergleich des Energieverbrauchs von verschiedenen Prozessvarianten (Quelle Nagel, Nachhaltige Verfahrenstechnik, 2015)

Verbrauch	MBA (Rotte)	MBA (Vergärung)	MBS
Strom	45 kWh/Mg	65 kWh/Mg	100 kWh/Mg
Wärme	0	Eigenversorgung über Gasertrag	0
Gas (davon für RTO)	41 (39) kWh/Mg	58 (45) kWh/Mg	25 (25) kWh/Mg

MBA mit einer Vergärungsstufe erzeugen ca. 70–170 m³ Biogas pro Mg Abfall zur Vergärung.

CO_2-RELEVANZ

- Studien zur Bestimmung von Umweltbelastungen unterstellen, dass die Ablagerung von stabilisiertem Abfall nur etwa 10 % des Deponiegases und 10 % des Deponiesickerwassers im Vergleich zu unbehandelten Abfällen erzeugt.
- Die Nutzung geschlossener Systeme für die biologische Behandlungsstufe hilft bei der Emissionsminderung und Vermeidung des Austritts von Treibhausgasen in die Atmosphäre.

HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE

- keine anderen als die genannten

PERSONALBEDARF	Der Bedarf an Personal hängt vorwiegend von der Kapazität der Anlage ab. Der durchschnittliche Bedarf ist ähnlich dem bei Kompostierungsanlagen (siehe Datenblatt „Kompostierung"). Eine integrierte manuelle Sortierung erfordert naturgemäß einen größeren Arbeitskräftebedarf. Speziell geschultes Personal ist insbesondere bei komplexer Prozessgestaltung erforderlich.
FLÄCHENBEDARF	Der Mindestflächenbedarf ist abhängig von der Anlagenkapazität. Der zusätzliche Flächenbedarf kann sehr gering sein, wenn die Behandlung Teil der Deponierung ist, wobei nur der für die Mietenkompostierung oder Rottefelder benötigte Platz notwendig wird. Entsprechend können die Angaben zum Flächenbedarf bei der Kompostierung und anaeroben Vergärung genutzt werden (siehe Datenblätter „Kompostierung" und „Anaerobe Vergärung").
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investition umfassen in der Hauptsache die folgende Kostenpositionen: - Kosten für Grundstücksakquisition und -erschließung: in Abhängigkeit von den lokalen Bedingungen und der geplanten Kapazität, (deutlich geringer, wenn die Behandlung auf einer Deponie durchgeführt wird) - Ausstattung (recherchiertes Preisniveau zum Jahr 2008) mechanische Stufe: - Bauten inkl. Bunker: 40 EUR/(Mg*a) - stationäre Maschinen: 20–80 EUR/(Mg*a) - mobile Ausrüstung: 5–10 EUR/(Mg*a) biologische Stufe: Rotteverfahren: - Bauteile: 70–90 EUR/(Mg*a) - stationäre Maschinen: 110–140 EUR/(Mg*a) Vergärung: - Bauteile: 50–60 EUR/(Mg*a) - Stationäre Maschinen: 130–180 EUR/(Mg*a) Überschlägige Schätzungen der Kapitalkosten für eine komplette MBA-Anlage liegen in Europa in einem Bereich zwischen 12 Mio. EUR für eine Anlage mit Kapazität von 50,000 Mg/a und 40 Mio. EUR. für eine Anlage mit einer Kapazität von 220,000 Mg/a. Sehr einfach ausgelegte MBA Prozesse auf Deponien lassen sich in weniger kapitalintensiven Ländern auch in einer Größenordnung von 15–20 EUR pro Mg Input realisieren[20].
BETRIEBSKOSTEN	Laufende Kosten fallen an für: - Personal (in Abhängigkeit vom lokalen Arbeitsmarkt) - Energieverbrauch, Versicherungen u. ä. - Reparatur und Wartung - für jedes Bauteil ungefähr 1 % der Investkosten - Maschinen und Elektronik: 3–6 % der Investkosten - Mobile Ausstattung (z.B. Radlader): 8–15 % der Investitionskosten; Bei MBA-Anlagen mit anaerober Vergärung bewirkt die höhere Abnutzung höhere Wartungskosten im Vergleich zur Bioabfallvergärung. Beispielhaft ist eine Gesamtkostensituation (netto) für ein Anlagenbeispiel mit 150.000 Mg Jahresdurchsatz in folgender Tabelle dargestellt.

[20] GTZ-Sektorvorhaben Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Tabelle 11: Betriebskosten EUR/Mg (Quelle: Morgenstern: Restabfallentsorgung in Deutschland, Econum GmbH)

Kostenposition	Vollkosten EUR/Mg	davon variabler Teil EUR/Mg
Personal	6	
Wartung/Instandhaltung	9	5
Energie, Kraftstoffe	7	7
Versicherungen und Sonstiges	6	
Entsorgung, Transport EBS (bei 50% v. Input)	30	30
Entsorgung, Transport Deponat (bei 20% v. Input)	5	5
Entsorgung, Transport Sonstiges (bei 7% v. Input)	5	5
Entsorgung, Transport Metalle (bei 3% v. Input)	-3	-3
Abschreibungen und Zinsen	25	
Summe	90	48

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN

- durch Verkauf von verwertbaren Materialien, insbesondere Metallen; unsicher sind hingegen Erlöse aus dem Absatz von Sekundärbrennstoffen

MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN

- Im Bereich von 40–120 EUR/Mg für die Behandlung (ohne Kosten für die anschließende Ablagerung sowie Verwertung der Sekundärbrennstoffe). Dem stehen geringere Gesamtentsorgungsvolumina auf Deponien und dadurch eingesparte Kosten sowie eine längere Nutzbarkeit der vorhandenen Deponiekapazitäten auch als ökonomischer Vorteil gegenüber.

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

Die Technologie der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten in Europa stark entwickelt. Heute sind in Europa weit über 100 derartige Anlagen zur Behandlung von Restabfällen in Betrieb. In Deutschland werden allein etwa 50 Anlagen mit Kapazitäten ›20.000 Mg/a betrieben. Die durchschnittliche Anlagengröße liegt im Bereich von 100.000 Mg/a, aber es existieren auch Anlagen mit einem Durchsatz von bis zu 300.000 Mg/a. Fast jedes große Entsorgungsunternehmen nutzt in mehr oder weniger großem Umfang diesen Verfahrensweg oder ist am Betrieb solcher Anlagen beteiligt.

Als Beispielbetriebe sind zu nennen:

- MEAB mbH, Schöneiche www.meab.de
- Zweckverband Abfallwirtschaft Saale-Orla, Pößneck www.zaso-online.de
- MBA Lübeck www.entsorgung.luebeck.de/ueber_uns/unsere_anlagen/mba.html
- MBA Neumünster GmbH, Neumünster www.mba-nms.de
- WEV GmbH, Großpösna www.e-wev.de

Großanwendungen bei denen deutsches Know-how oder Technik Eingang gefunden hat, finden sich auch in anderen EU- Ländern, so in Italien, Bulgarien, Portugal, Frankreich, Finnland oder Kroatien.

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Anlagentechnik für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung wurde in Deutschland in der Vergangenheit von einem breiten Herstellerspektrum angeboten. Inzwischen hat sich der Anbieterkreis verkleinert und viele Firmen haben sich auf die Bereitstellung spezieller Verfahrenskomponenten spezialisiert. Dazu gehören u.a.:

Zerkleinerungsaggregate:

HAMMEL Recyclingtechnik GmbH, Bad Salzungen www.hammel.de

Klassierer und Trenntechnik:

EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com

Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel www.mogensen.de

Spaleck – Förder- und Separiertechnik www.spaleck.de

Metallabscheider:
Steinert Elektromagnetbau GmbH, Köln www.steinertglobal.com
IMRO Maschinenbau GmbH, Uffenheim www.imro-maschinenbau.de

Wagner Magnete GmbH & Co. KG Spann- und Umwelttechnik, Heimertingen www.wagner-magnete.de

Abluftbehandlungssysteme
LTB Lufttechnik Bayreuth GmbH & Co. KG, Goldkronach www.ltb.de
- Dürr Systems GmbH Environmental and Energy Systems, Stuttgart www.durr-cleantechnology.com/de

Die Gesamtanlagenplanung von Anlagen wird häufig von spezialisierten Planungsbüros oder dem Anlagenbetreiber selbst vorgenommen. Einige Beispiele aus diesem Bereich sind die Firmen:

- Strabag Umweltanlagen GmbH, Dresden www.strabag-umweltanlagen.com
- Komptech Vertriebsgesellschaft Deutschland mbH, Oelde www.komptech.de
- HAASE Energietechnik AG, Neumünster www.bmf-haase.de
- Herhof GmbH (Tochtergesellschaft der Helector S.A). www.herhof.com
- AMB Anlagen Maschinen Bau GmbH, Oschersleben www.amb-group.de

Für einfachere biologische Trocknungssysteme bieten bspw. Anlagen und Komponenten an:

- CONVAERO GmbH www.convaero.com
- W.L. Gore & Associates GmbH www.gore.com/de_de/

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Relevante Organisationen und Anlaufstelle für weitere Informationen über die mechanisch-biologische Abfallbehandlung und ihre Umsetzung sind:

- Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung: www.asa-ev.de
- Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfälle: www.ans-ev.de
- Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V.: www.bgs-ev.de
- Fachverband Biogas e.V. www.biogas.org

SOLARE TROCKNUNG (INSBES. VON KLÄRSCHLÄMMEN)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Volumen-/Massereduktion sowie Heizwerterhöhung von Klärschlämmen (und in Einzelfällen anderem Abfallmaterial mit hohem Feuchtegehalt)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	X[21]
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X[1]	Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
Andere Abfallarten	X Klärschlämme				

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
für einen effektiven Trocknungsvorgang muss der Abfall über eine hohe spezifische Oberfläche und homogene Struktur verfügen, stückiges Material bedarf daher einer Zerkleinerung und Homogenisierung

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
insbesondere thermische Verwertung

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
insbesondere Verbrennung, Kriterien für eine schadlose Ablagerung (nach deutschen Anforderungen, d.h. AbfAblV) werden nicht erfüllt. Die parallel zum Trocknungsvorgang stattfindende Verrottung führt jedoch auch zur Verringerung der biologischen Aktivität des Abfalls.

Besondere Schutzerfordernisse:
Für die solare Trocknung von Klärschlamm wird je nach Standort und Anlagengröße keine Abluftreinigung benötigt (Geruchsbelastungen sind dennoch zu beachten und zu mindern). Abwasser wird über die Abluft ausgetragen und fällt in flüssiger Form nicht an. All dies setzt voraus, dass die Solartrocknung in einer (zumindest teilweise) geschlossenen Glaskonstruktion und auf versiegeltem Untergrund erfolgt.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten
Aufgrund der bei der solaren Trocknung notwendigen Ausbreitung des Anlageninputs in dünner Schicht ist ein erhöhter Platzbedarf für die Errichtung der Anlage gegeben. Ferner ist wegen der notwendigen An- und Abfuhr auf gute Zugänglichkeit und Anbindung an Transportwege zu achten. Die Integration der Trocknungsanlage in eine erweiterte Behandlungseinrichtung (z.B. Klärwerk oder thermische Verwertungsanlage) ist empfehlenswert.

Klimatische Gegebenheiten:
Von besonderer Relevanz für die Effektivität der Trocknung sind die Faktoren:
- Länge der Sonnenscheindauer und Strahlungsintensität
- Umgebungsluftfeuchte und -temperatur

Auf die Anwendung der Technik an Standorten die in dieser Hinsicht ungünstige Voraussetzungen liefern, sollte verzichtet werden. Weitere relevante Parameter sind die Luftmenge und Ausgangsfeuchte des Materials.

Finanzierungsmöglichkeit:
Finanzierung über Gebühren durch die bei externer Anlieferung zu zahlenden Annahmepreise für zu trocknende Schlämme.

[21] nur Gehölzschnitt, holzige Abfälle oder Reste mit ungünstigem Feuchtegehalt für die Anschlussverwertung (insb. thermische Nutzung)

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Die solare Trocknung dient der Volumen- und Massereduktion sowie der Heizwerterhöhung speziell von Klärschlämmen. Zur Trocknung wird in erster Linie die Strahlungswärme der Sonne genutzt. Die Trocknung erfolgt in transparent überdachten und meist gewandeten Hallen. Die Sonnenenergie erwärmt das Trockengut und die Hallenluft und unterstützt damit den Feuchteübergang in die Luft. Zur Intensivierung des Trocknungsprozesses erfolgt die Auflockerung/Umsetzung des Trockengutes.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

- Geeignete klimatische Bedingungen (Sonnenscheindauer und -intensität)
- Transparente Überdachung/Halle
- Technik zur Auflockerung des Trockengutes
- Intensive Be-/Entlüftung

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

Je nach klimatischen Voraussetzungen und Art des Trockengutes:
- mittlere spezifische Verdunstungsleistung bis zu 1000 kg/m² Trocknungsfläche (in Europa, lt. FISCHLI 2004)
- optimaler Trocknungsgrad etwa 70 % Trockensubstanzgehalt
- theoretisch erreichbarer maximaler Trocknungsgrad >90 % Trockensubstanzgehalt

BESONDERE VORTEILE

- geringer spezifischer elektrischer Energiebedarf
- kein weiterer künstlicher Wärmeenergiebedarf (gilt insb. bei Verzicht auf Winterbetrieb)
- einfache robuste Technik

SPEZIFISCHE NACHTEILE

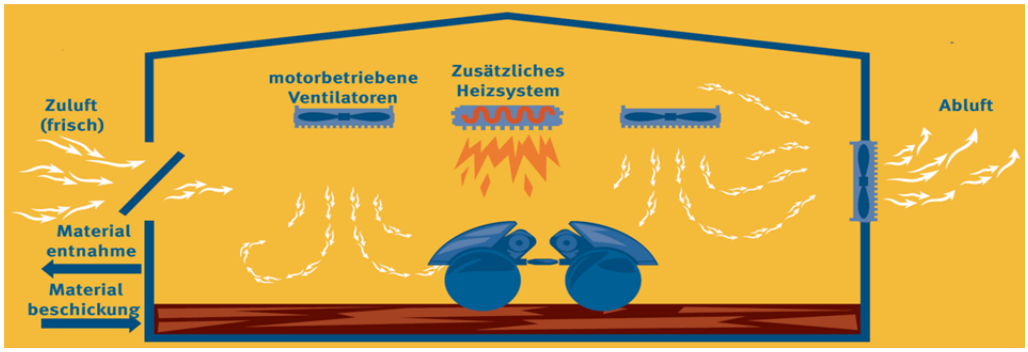
- geringe Trocknungseffizienz (Zeitdauer)
- hoher Flächenbedarf
- bisherige Referenzanlagen arbeiten mit vorwiegend geringer Kapazität

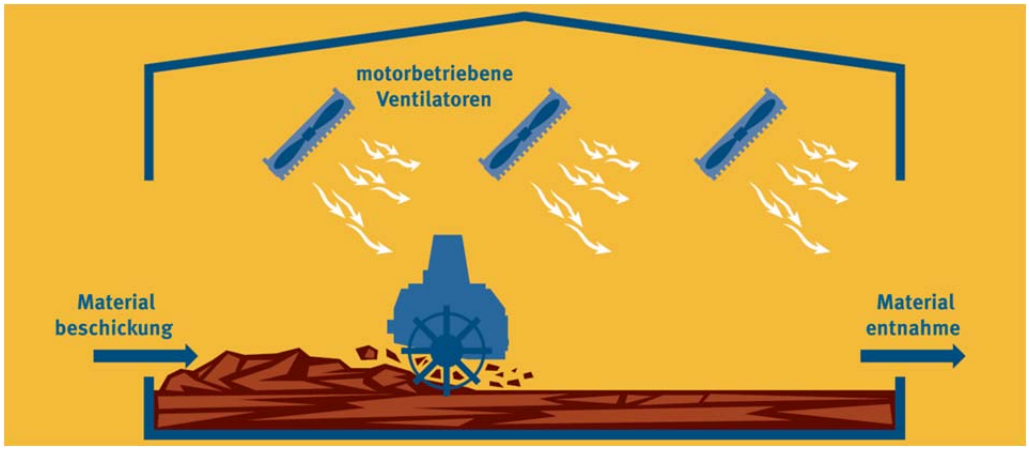
ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Mittels der solaren Trocknung kann ein granulatartiges Stoffgemisch erzeugt werden, welches durch günstige logistische Eigenschaften viele Entsorgungswege offen hält und gute Voraussetzungen zur thermischen Nutzung mitbringt. Beim Trocknungsprozess werden das Trockengut und die Hallenluft durch die Sonnenenergie erwärmt und damit der Feuchteübergang vom Abfall in die Luft beschleunigt. Der erhöhte Wasserdampfdruck führt dazu, dass Wasser aus dem Inputmaterial in die warme, wasserdampfungesättigte Umgebungsluft ausgetrieben wird. Die aufsteigende feuchtegesättigte Luft muss aus dem System entlassen werden. Die dafür erforderliche Umwälzung der Luft ist gewährleitstet durch einen Kamineffekt durch die Anlagengestaltung mit Auslassklappen im Dach und ggf. zusätzlichen motorbetriebenen Ventilatoren. Zur Intensivierung des Trocknungsprozesses wird technisches Gerät bzw. eine vollautomatische Vorrichtung zur Auflockerung/Umsetzung des Trockengutes verwendet. Die Strahlungstrocknung kann durch ein Heizsystem unterstützt werden. Die Anlagen arbeiten in der Regel im Batch-Betrieb.

Abbildung 20: Beispielhaftes Anlagenkonzept (hier Thermo-System Industrie und Trocknungstechnik GmbH) (Integration des zusätzlichen Heizsystems in der Darstellung gilt für den Fall eines Winterbetriebs)



FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG	Abbildung 21: Beispielhaftes Anlagenkonzept (hier IST-Anlagenbau GmbH) 
STOFFFLUSS UND -MENGEN	- Input: Flüssigschlamm mit 1–10 % TS-Gehalt vorentwässerter Schlamm mit 10–40 % TS-Gehalt (meist über 20 %) - Output: Material mit einer Endfeuchte von 50–90 % TS-Gehalt aber wenig Verlusten durch biologische Abbauprozesse)
ANWENDUNGS-BEREICH	- bisher insbesondere für den Einsatz von feuchtem oder vorentwässertem Klärschlamm mit Mengen von 300–15.000 Mg/a technisch umgesetzt - ebenfalls Einsatz in der Holztrocknung, zur Restabfalltrocknung nur pilothaft getestet
KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Die solare Trocknung eignet sich durch die Homogenisierung und Erhöhung des Heizwertes gut als Vorstufe zur energetischen Verwertung
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- Spezifischer elektrischer Energiebedarf: 10–30 kWh/Mg entzogenes H_2O.
CO_2-RELEVANZ	- Durch die energetische Nutzung des regenerativen Anteils im Trockengut wird eine positive CO_2–Bilanz erzielt
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- geeignete Technik zum Beschicken und Entleeren der Trocknungshallen je nach Beschaffenheit und Menge des Trockengutes (z.B. Radlader)
PERSONALBEDARF	- der Trocknungsvorgang verläuft durch eine Automatisierung der Auflockerung des zu trocknenden Klärschlammes selbstgängig, für das Beschicken und Entleeren der Trocknungshallen sowie zur Kontrolle und Wartung wird (abhängig von der Anlagenkapazität) eine geringe Zahl an Bedienpersonal benötigt
FLÄCHENBEDARF	- Je nach Anwendungsfall können 0,5–6 Mg Schlamm pro m² Trocknungsfläche und Jahr ohne zusätzliche Wärmezufuhr behandelt werden, je nach klimatischen Gegebenheiten erfolgt ein saisonaler Betrieb
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	differieren erheblich , lt. Anlagenanbieter (im Jahr 2008) orientierend: - ohne Abwärmenutzung: rund 250 EUR/m² Hallenfläche - mit Abwärmenutzung: rund 350 EUR/m² Hallenfläche,
BETRIEBSKOSTEN	- ca. 15 EUR je Mg entzogenes H_2O
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- über Annahmepreise für das zu trocknende Material - für ein als Brennstoffprodukt nutzbares Trockengut im Falle positiver Abgabepreise

MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- stark schwankend in Abhängigkeit von Material, Verdunstungsleistung und Wassergehalt im In-/Output
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Weltweit wachsende Anwendung, schon mehrere hundert Anlagen allein in Deutschland, Schweiz, Österreich, Frankreich und Australien in Betrieb. Referenzanlagen in Deutschland sind u.a.: - Wasserverband Nord, Bredstedt www.wv-nord.de - Kläranlage Pocking www.pocking.de - Grünstadt, Rheinland Pfalz www.ebg-gruenstadt.de
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Hersteller für Anlagen und Anlagenkomponenten zur solaren Abfalltrocknung in Deutschland sind zum Beispiel: - IST Anlagenbau GmbH, Kandern www.wendewolf.com - THERMO-SYSTEM Industrie- & Trocknungstechnik GmbH, Filderstadt-Bernhausen www.thermo-system.com - Hans Huber AG Maschinen- u. Anlagenbau, Berching www.huber.de

Umwelt Bundesamt

THERMISCHE NUTZUNG VON ABFALLSTOFFEN DURCH INDUSTRIELLE MITVERBRENNUNG*)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Thermische Verwertung von (zumeist vorbehandelten) Abfällen bzw. Abfallgemischen als sogenannter Ersatzbrennstoff (EBS) in industriellen Feuerungsprozessen zur Energiegewinnung und Substitution von Primärenergieträgern *) Die Abgasreinigung als zu integrierender Prozessabschnitt wird separat beschrieben (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen	X[1]	Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton	X[22]	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X[1]
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X[23]	Bau- und Abbruchabfälle	X[1]
Altöl	X[24]	Altfarben/-lacke	X	Altreifen	X[2]
Gefährliche Abfälle	X	teilweise, nur in Anlagen mit entsprechender Zulassung und Stoffe mit mittleren bis hohen Heizwerten			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	geeignete, insbesondere chlor- und schwermetallarme Stoffe mit mittleren bis hohen Heizwerten			
Andere Abfallarten	X	insbesondere chlor- und schwermetallarme Stoffe mit mittleren bis hohen Heizwerten, speziell Klärschlamm, Tiermehl, Sortierreste von Gewerbeabfall			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Spezielle Anforderungen der entsprechenden Verwertungsanlagen müssen beachtet und bei der Aufbereitung der Ersatzbrennstoffe berücksichtigt werden. In der Regel ist die Einstellung bestimmter chemisch-physikalischer Eigenschaften (Heizwert, Feuchte, Stückigkeit, Chlor-/Schwermetallgehalte) notwendig.

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Je nach Anwendungsbereich fallen Outputstoffe in unterschiedlicher Menge und Art an, industriell im Zementwerk mitverbrannte Abfallstoffe werden bspw. zum Großteil mit im Zementklinker eingebunden. In Kraftwerken anfallende mineralische Nebenprodukte (Flugasche, Grobasche – Kesselsand, Schmelzkammergranulat, REA-Gips) sind als Baustoffe im Betonbau, Bergbau, Straßen- und Wegebau sowie im Erd-, Grund- und Landschaftsbau einsetzbar.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Hier sind vor allem Reststoffe aus der Abgasreinigung relevant für deren sichere Entsorgung Sorge zu tragen ist (siehe Datenblatt "„Abgasreinigung“)

Nachsorgebedarf:
Die zur Entsorgung auf Deponien der erforderlichen Kategorie verbrachten Anteile vom Output-Material unterliegen dort den herkömmlichen Nachsorgeprozeduren

Besondere Schutzerfordernisse:
Erforderlich sind insbesondere zusätzliche Brandschutzvorkehrungen für den Bereich der Lagerung der Ersatzbrennstoffe. Abgase aus der Verbrennung sind so zu behandeln und zu reinigen, dass keine erhöhten Gesundheitsrisiken oder nachteiligen Wirkungen auf Schutzgüter und die Umgebung entstehen und rechtliche Vorgaben eingehalten werden (siehe Datenblätter zu „Abgasreinigung“ und „Technologieorientierte Richtlinien der EU“, insbesondere Richtlinie über Industrieemissionen).

---

[22] Stofflichen Verwertungswegen und dafür ggf. notwendigen (mechanischen) Vorbehandlungsschritten ist der Vorrang zu geben, allerdings gute Eignung für heizwertreichere Reste aus der Sortierung/Aufbereitung der genannten Materialien nach deren Aufbereitung und Abreicherung in Bezug auf Chlor- und Schwermetallgehalte

[23] Die Möglichkeit stofflicher Verwertungswege (Holzrecycling) ist vorab zu prüfen und insbesondere für unbehandelte, naturbelassene Altholzfraktionen zu bevorzugen. Spezielle Holzverbrennungsverfahren (Monoverbrennung) sind ebenfalls geeignet

[24] Wege der stofflichen Aufbereitung und Verwertung sind vorab zu prüfen und ggf. zu bevorzugen

Potentielle Gesundheitsrisiken:
Die Freisetzung unbehandelter Abgase stellt ein hohes Gesundheitsrisiko für die Anrainerbevölkerung dar, dem jedoch durch Nutzung moderner Reinigungstechnik und Schutzvorkehrungen effektiv begegnet werden kann. Mit Abgasreinigungstechnologien nach heutigem Stand der Technik ausgerüstete Verbrennungsanlagen gelten als unbedenklich in Bezug auf Gesundheitsrisiken (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“).

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten
Da die industrielle Mitverbrennung vorwiegend in bereits existierenden Anlagen erfolgt, sind die infrastrukturellen Voraussetzungen bereits gegeben. Aufgrund der erforderlichen Erweiterung des Annahmebereiches sowie der Lagerfläche für den Ersatzbrennstoff muss der dafür notwendige Platz vorhanden sein bzw. geschaffen werden.

Klimatische Gegebenheiten:
Keine besonderen Anforderungen oder Einschränkungen, die Nutzung der industriellen Mit- oder Monoverbrennung von Ersatzbrennstoffen ist jedoch für Regionen mit hohem Energie- und Fernwärmebedarf besonders empfehlenswert.

Geeignete Finanzierungsmechanismen:
Die zusätzlichen Investitionen und betrieblichen Maßnahmen zur Realisierung der Mitverbrennung lassen sich durch die Erhebung von Behandlungsgebühren vom Anbieter der Ersatzbrennstoffe (Zuzahlungen zur Brennstoffabnahme) oder aus den Ersparnissen für dadurch substituierte Regelbrennstoffe finanzieren. Die Behandlungsgebühr kann vom Abfallaufbereiter dem Abfallerzeuger durch Erhebung von Entsorgungsgebühren in Rechnung gestellt werden

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZBESCHREIBUNG

Bei der industriellen Mitverbrennung werden meist vorbehandelte Abfälle als sogenannte Ersatzbrennstoffe (EBS) in industriellen Feuerungsprozessen thermisch genutzt. Dafür in Frage kommende Anlagen sind vorwiegend Kraftwerke mit Stein- oder Braunkohleneinsatz, Zementwerke, speziell konzipierte Kraftwerksanlagen die eine Monoverbrennung der EBS vornehmen sowie bislang seltener Kalk- und Ziegeleiwerke, Hochofenanlagen der Eisen-, Stahl- und NE-Metallindustrie.

Durch den Einsatz der Ersatzbrennstoffe werden Primärenergieträger substituiert und Abfälle energetisch verwertet. Die Mitverbrennung in Kraftwerksanlagen erfolgt unter Einschluss einiger Modifizierungen z.B. in der Brennstofflagerung und -aufgabe zumeist mittels gängiger Techniken der Rost- (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) bzw. Wirbelschichtfeuerung (siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung“), vor allem in Zementwerken kommt noch das Verfahren der Drehrohrfeuerung hinzu. Bestehende Anlagen zur Abgasreinigung können mitgenutzt werden oder benötigen im Abhängigkeit vom Brennstoff gewisse Erweiterungen.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

- durch vorwiegend mechanische Aufbereitung der einzusetzenden Abfälle sind bestimmte chemisch-physikalische Eigenschaften, die den speziellen Anlagenanforderungen genügen, beim Ersatzbrennstoffe herbeizuführen, ferner ist die so erreichte Qualität gleichbleibend zu sichern. Einige gängige Qualitätskriterien sind nachfolgend im Überblick wiedergegeben

Tabelle 12: Weitestgehend übliche Qualitätskriterien für Ersatzbrennstoffe

Parameter	Einheit	Kraftwerke	Zementwerke
Korngröße	mm	10–25	ca. 30
Störstoffe	-	Mineralien, Metalle, Holz, Hartkunststoffe, Langteile	
Aschegehalt	Ma.-% (TS)	10–25	10–25
Feuchtegehalt	Ma.-%	10–25	10–25
Heizwert	MJ/kg	>18	>20
Chlorgehalt	g/kg TS	5–15	<10
Schwermetallgehalt	mg/kg (TS)	spezielle Vorgaben, z.B. entsprechend RAL-GZ 724	

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- reduzierter Bedarf an Primärenergieträgern
- *Output Kraftwerke:*

- Energieertrag aus Abfallstoffen
- mineralische Nebenprodukte in Form von Schlacken, Flugasche, Grobasche (Kesselsand), Schmelzkammergranulat und REA-Gips
- Abgas

- *Output Zementwerke:*
  - durch den Einbau der Brennstoffaschen in den Zementklinker handelt es sich bei der Verwertung von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie um eine weitgehend reststofffreie Verwertung

BESONDERE VORTEILE

- Substitution von Primärenergieträgern (in Verbindung mit Kostenersparnissen oder teils sogar Einnahmen aus der Nutzung des Alternativbrennstoffs)
- Reduzierung der abzulagernden Abfallmenge, Entlastung von Deponien
- Senkung des Schadstoff- und Reaktionspotenzials von Abfällen, z.T. sogar reststofffreie Verwertung
- deutlich weniger kostenintensiv als Regelabfallverbrennungsanlagen

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- evtl. Veränderungen von Produkten (Zement, Ziegel, Stahlschlacke)
- erhöhte (thermische) Belastung/Beanspruchung der Feuerungsanlage und Abgasführung
- erhöhte Korrosionsgefahren, somit höherer Wartungsbedarf
- z.T. höhere Abgaswerte als bei Monoverbrennungsprozessen, daher Bypass für kritische Schwermetalle (z.B. Quecksilber) bei der Zementindustrie zukünftig notwendig
- Reaktive Aschen/Schlacken
- Zusätzliche Investitionen und kompliziertere Betriebsführung
- erhöhtes Risiko von Anlagenstillständen durch EBS bedingte Störungen

ANWENDUNGSDETAILS

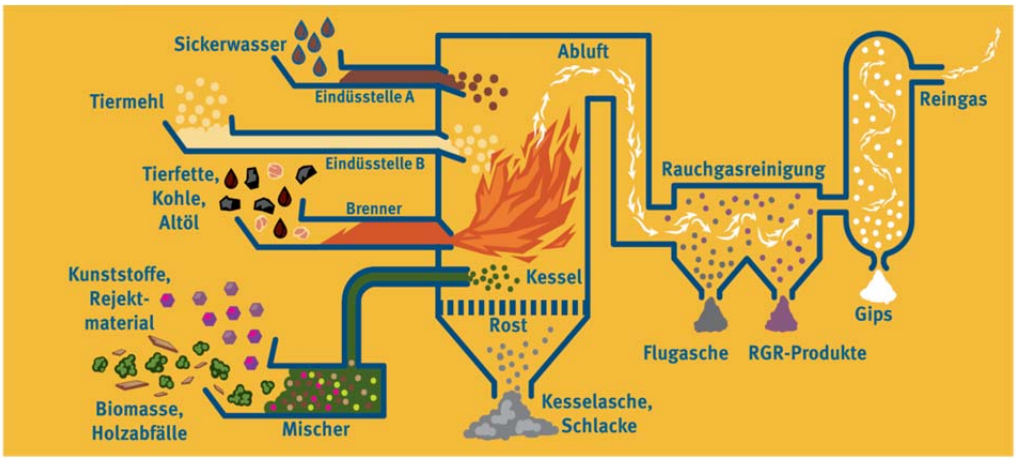
TECHNISCHE UMSETZUNG

Abfallaufbereitungsverfahren und dabei bestehende Möglichkeiten zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen sind bereits in verschiedenen Datenblättern ausgeführt (siehe z.B. Datenblätter „Sperrmüllsortierung“ bzw. „Mechanisch-biologische Behandlung“) Für den eigentlichen Verbrennungsprozess kommen im Grundsatz die ebenfalls separat dargestellten Techniken der Rost- (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) bzw. Wirbelschichtfeuerung (siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung“) in Frage. Üblicherweise kommen für eine Mitverbrennung folgende Varianten zur Anwendung:

in Kraftwerken:

- Variante 1: Nutzung und Optimierung der bestehenden Anlagenkomponenten zur vorwiegenden Mitverbrennung von EBS
- Variante 2: Verwertung der EBS in einer vorgeschalteten Vergasung oder Pyrolyse und Mitverbrennung des erzeugten Gases oder Pyrolysekokses im bestehenden Kessel (*wichtige Zusatznotiz:* bisher kaum vollfunktionsfähige großtechnische Anwendungen der Variante)
- Variante 3: Verwertung der EBS in einem Kessel mit zirkulierender Wirbelschicht
- Variante 4: Verwertung der EBS in einem extern betriebenen Wirbelschichtkessel mit Abgasreinigung und Nutzung des bestehenden Dampfkessels (Verbundschaltung).

Abbildung 22: Beispielhaftes Verfahrensschema zur industriellen Mitverbrennung in einem Kraftwerk



FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG	*in der Zementindustrie:* Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie erfolgt in der Phase des Klinkerbrennprozesses sowie im Zementherstellungsprozess. Zur Anwendung kommt dabei insbesondere der Drehrohrofen. Dieser besteht aus einem in Längsrichtung leicht geneigtem Drehrohr, bei dem durch rotierenden Umlauf ein Transport des am Drehrohreinlauf aufgegeben Materials einschließlich der Abfallstoffe innen längs im Ofen herbeigeführt wird und zwar von der Einlaufseite zur Auslaufseite. Die Zugabe von stückigen Abfällen im Drehrohrofeneinlauf beeinflusst sowohl die zuzuführende Menge an fossilen Brennstoffen als auch deren Verteilung auf Drehrohrofen und Calcinator. Diese Verteilung muss z.B. für die Steuerung der Anlage bekannt sein, um konstante Brennbedingungen zur Erzielung einer gleichmäßig hohen Produktqualität zu erreichen. Eine entscheidende Rolle beim Einsatz von Substitutionsbrennstoffen spielt das Elementverhältnis sowie das Verhältnis der Heizwerte von fossilen und Ersatzbrennstoffen. Letztere verbrennen aufgrund der extrem hohen Temperaturen im Drehrohr (Flammentemperatur ›2000 °C) ohne die Entstehung schädlicher Abgase. Stickoxide werden durch sogenannte DeNOx-Verfahren aus den Abgasen entfernt. Trocknung, Aufheizung und Entgasung von flüchtigen Abfallbestandteilen findet bereits in der Nähe des Drehrohrofeneinlaufs statt, die freigesetzten Gase durchströmen zusammen mit den Abgasen aus dem Drehrohrofen den Calcinator. Die Verbrennung der flüchtigen Komponenten findet innerhalb des Calcinators statt. Die Vergasung der festen Bestandteile, Verbrennung der erzeugten Gase und der Stoffübergang finden erst in Richtung des Rohrauslaufes statt. Gegenbeispiel ist eine vorgeschaltete Vergasungsanlage für EBS zur Erzeugung eines brennbaren Gases, wie bspw. am Zementwerk Rüdersdorf umgesetzt.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	- In Abhängigkeit von der angewandten Mitverbrennungstechnologie wird ein Teil des herkömmlich eingesetzten Regel- oder Primärbrennstoffes durch EBS ersetzt. Wie hoch dieser Anteil ist, hängt von der Art des EBS, der Technologie und den Anforderungen an die Produkte ab. Während sich die Substitutionsrate in Kraftwerken in einem Bereich von 5–25% bezogen auf die Feuerungswärmeleistung bewegt, ersetzen Zementwerke ihren Brennstoffbedarf zum Teil bereits zu bis zu 75% (2014) und darüber auf diese Weise.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	- Die industrielle Mitverbrennung kommt grundsätzlich für Produktions- und Energieerzeugungsprozesse auf der Basis von Verbrennungsverfahren für mittel- und hochkalorische Stoffe in Frage, daneben wird EBS in speziell konzipierten Monokraftwerken zumeist unter Nutzung einer Rost- oder Wirbelschichtfeuerung (siehe Datenblätter „Rostfeuerung“ bzw. „Wirbelschichtverbrennung“) eingesetzt
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- durch Einsparung von Primärenergieträgern, der Energie für deren Gewinnung und Aufarbeitung sowie durch die Nutzung regenerativer Abfallanteile und deren energetischen Potenzials wird eine positive Energiebilanz erzielt
CO_2-RELEVANZ	- Verringerung der CO_2-Emissionen um bis zu 35 % bei teilweisen Ersatz der Primärbrennstoffe, bei ausschließlichem Einsatz von EBS würden die klimarelevanten Emissionen aus den Primärbrennstoffen und aus der anderweitigen Verwertung der EBS entfallen
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- Hilfs- und Zusatzstoffe um EBS im Rahmen der industriellen Mitverbrennung einsetzen zu können, werden nicht benötigt. Es besteht aber ein erweiterter Aufbereitungsbedarf für die Abfälle einschließlich der hieraus resultierenden Zusatzaufwendungen.
PERSONALBEDARF	- geringfügig zusätzlicher Personalbedarf bei der Verwertungsanlage für die Annahme und Aufgabe des EBS (Qualitätssicherung, Aufgabe ggf. mittels Radlader, Wartung und Instandhaltung der Sekundärbrennstoffdosierung)
FLÄCHENBEDARF	- zusätzlich Lagerfläche für EBS, je nach Bedarf und Einsatz in der Anlage, bei Tiermehlen bspw. Silolagerung - zusätzlich Platzbedarf im Annahmebereich

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Für die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in bestehenden industriellen Feuerungsanlagen sind Zusatzinvestitionen erforderlich. Diese ergeben sich insbesondere durch: - Planung und Errichtung des Annahmebereiches, der Förder- und Dosiereinrichtungen - einer ggf. erforderlichen Erweiterung der Abgasreinigung und Emissionsmesstechnik. Die zusätzlichen spezifischen Investitionskosten bei bestehenden Verwertungsanlagen können im Bereich von EUR 1,3–6 Mio. bzw. 25–45 EUR/Mg Ersatzbrennstoff (Stand 2008) liegen. Darin enthalten sind auch die Kosten für die Vorhaltung von Lagerkapazitäten mit entsprechenden brandschutztechnischen Vorkehrungen.
BETRIEBSKOSTEN	Eine leichte Erhöhung der Betriebskosten wird sich aufgrund des erhöhten Personalbedarfs und erhöhten Wartungs- und Investitionsaufwandes ergeben. Aufgrund möglicher Änderung der Verwertungswege der Nebenprodukte (insb. Flugasche) in Kraftwerken kann es zu einem Rückgang im Bereich der Verwertungseinnahmen bzw. Anstieg von Entsorgungsausgaben kommen
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	Durch die Übernahme der abfallstämmigen Brennstoffe zur Mitverbrennung sind für die Betreiber der Mitverbrennungsanlagen Einnahmen in Form eines Behandlungsentgeltes möglich. Eine grobe Orientierung liefern folgende Preisspannen (Stand 2011): - Braunkohlekraftwerk mit Staubfeuerung: 5–15 EUR/Mg - Steinkohlekraftwerke mit Staubfeuerung: größere erforderliche Aufbereitungstiefe der EBS führt teilweise zu keinen Einnahmen - Steinkohlekraftwerke mit Wirbelschichtverbrennung: 0 bis < 10 EUR/Mg
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	nicht benennbar da anlagenspezifisch sehr unterschiedlich

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Eine industrielle Mitverbrennung wird in Deutschland in zahlreichen Industrieanlagen und zunehmend auch in anderen Staaten Europas und der Welt durchgeführt: Beispiele in Deutschland sind aus dem Bereich der Zementindustrie - Cemex Zementwerke Rüdersdorf www.cemex.de - Dyckerhoff Zementwerke Deuna www.dyckerhoff.de Kraftwerke - Kraftwerk Jänschwalde www.vattenfall.com - Kraftwerk Werne www.rwe.com Eisen- und Stahlerzeugung - DK Recycling und Roheisen GmbH, Duisburg www.dk-duisburg.de
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Hersteller für Anlagen und Anlagenkomponenten zur Mit-/Monoverbrennung von Ersatzbrennstoffen sind zum Beispiel: - Steinmüller - Babcock Environment GmbH, Gummersbach www.steinmueller-babcock.com - Oschatz GmbH www.oschatz.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE
Eine relevante Organisation und Anlaufstelle für weitere Informationen über gütegesicherte Ersatzbrennstoffe und ihren Einsatz ist die Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. (BGS). www.bgs-ev.de

THERMISCHE ABFALLBEHANDLUNG – ROSTFEUERUNG*)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Reduzierung von Volumen und Risikopotenzial des abzulagernden Abfalls durch Mineralisierung, Zerstörung organischer und Abscheidung eines Großteils anorganischer Schadstoffe - Energiegewinnung aus Abfällen *) Die Abgasreinigung als zu integrierender Prozessabschnitt wird separat beschrieben (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton	X[25]	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X[1]
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X[26]	Bau- und Abbruchabfälle	X[1]
Altöl	X[27]	Altfarben/-lacke	X	Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X	teilweise, nur brennbare Fraktionen			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	brennbare Stoffe			
Andere Abfallarten	X	brennbare Stoffe			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Der Abfall ist von groben Störstoffen (z.B. große Metallteile) zu befreien und darf keine radioaktiv strahlenden Bestandteile enthalten (Eingangsprüfung !), bei Sperrmüll ggf. Vorzerkleinerung

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Verbrennungsasche/-schlacke kann nach einer weiteren Aufbereitung teils stofflich genutzt werden. Die Aufbereitung umfasst die Abtrennung von Metallen und Zerkleinerung/Homogenisierung, so dass das Material für Bauzwecke (z.B. Straßenbau) eingesetzt werden kann.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Verbrennungsrückstände (Schlacken, Asche) sind für eine Ablagerung geeignet, bei der Abgasreinigung abgeschiedene Stoffe müssen jedoch wie gefährliche Abfälle gehandhabt werden und sind in besonderen Anlagen zu entsorgen, welche für die Stoffe geeignet und zugelassen sind. Bevorzugt wird die Verwertung in Versatzbergwerken oder die untertägige Ablagerung in Untertagedeponien (siehe Datenblatt „Deponie für gefährliche Abfälle“)

Nachsorgebedarf:
Die zur Entsorgung auf Deponien der erforderlichen Kategorie verbrachten Anteile vom Output-Material unterliegen dort den herkömmlichen Nachsorgeprozeduren

Besondere Schutzerfordernisse:
Abgase aus der Verbrennung sind so zu behandeln und zu reinigen, dass keine erhöhten Gesundheitsrisiken oder nachteiligen Wirkungen auf Schutzgüter und die Umgebung entstehen und rechtliche Vorgaben eingehalten werden (siehe Datenblätter zu “Abgasreinigung“ und “Technologieorientierte Richtlinien der EU, insbesondere Richtlinie über Industrieemissionen). Bei der Errichtung von Abfallverbrennungsanlagen ist insbesondere aus Lärmschutzgründen ein Mindestabstand zur nächsten Bebauung zu berücksichtigen.

---

[25] Stofflichen Verwertungswegen und dafür ggf. notwendigen (mechanischen) Vorbehandlungsschritten ist der Vorrang zu geben. Die Rostfeuerung sollte nur zur Behandlung der brennbaren Sortierreste dieser Abfälle angewandt werden

[26] Die Möglichkeit stofflicher Verwertungswege (Holzrecycling) ist vorab zu prüfen und insbesondere für unbehandelte, naturbelassene Altholzfraktionen zu bevorzugen. Spezielle Holzverbrennungsverfahren (Monoverbrennung) sind ebenfalls geeignet

[27] nur in geringen Anteilen, Möglichkeiten der stofflichen Aufbereitung oder anderweitigen thermischen Verwertung (z.B. industrielle Mitverbrennung – siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“) sind vorab zu prüfen und ggf. zu bevorzugen

Potentielle Gesundheitsrisiken:
Die Freisetzung unbehandelter Abgase stellt ein hohes Gesundheitsrisiko für die Anrainerbevölkerung dar, dem jedoch durch Nutzung moderner Reinigungstechnik und Schutzvorkehrungen effektiv begegnet werden kann. Mit Abgasreinigungstechnologien nach heutigem Stand der Technik ausgerüstete Verbrennungsanlagen gelten als unbedenklich in Bezug auf Gesundheitsrisiken (siehe Datenblatt "Abgasreinigung").

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten
Zum wirtschaftlichen Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen bedarf es einer Mindestkapazität (ca. 50.000 t/a). Schwerpunkte des Abfallanfalls (d.h. insbesondere auch in oder in unmittelbarer Nähe von Großstädten) sind daher bevorzugte Standorte. Hier liegen zumeist auch die benötigten infrastrukturellen Voraussetzungen, wie eine gute logistische Anbindung an Straße, Schiene oder Wasserweg sowie Abnahmemöglichkeiten für produzierten Strom/Dampf vor. Das Entstehen eines zusätzlichen Verkehrsaufkommens ist zu berücksichtigen.

Klimatische Gegebenheiten: keine besonderen Anforderungen oder Einschränkungen

Geeignete Finanzierungsmechanismen:
Die Finanzierung der Abfallverbrennung sollte durch Erhebung von Gebühren beim Abfallerzeuger erfolgen. Mittels einer Verbrennungssteuer lässt sich darauf hinwirken, dass nur die nicht verwert- und recycelbaren Abfälle der Abfallverbrennung zugeführt werden

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Die Rostfeuerung ist eine der gebräuchlichsten Verbrennungstechniken, die in der hier charakterisierten Form auch zur Massenverbrennung fester gemischter Siedlungs- und Gewerbeabfälle eingesetzt wird und dabei vom Anwendungsumfang die bislang weltweit führende Technik darstellt. Sie beinhaltet die Möglichkeit zur Energieerzeugung aus Abfällen (insbesondere auch Kraft-Wärme-Kopplung). Im Gegensatz zu anderen Verbrennungstechniken wird hier der Abfall auf einen Rost in der Verbrennungskammer aufgegeben.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Qualitätsanforderungen an den Input:
	  - Heizwert: - › 6MJ/kg bis über 12 MJ/kg bei luftgekühlten Roststäben
	  - 6MJ/kg bis zu 25 MJ/kg bei wassergekühlten Roststäben
	  - Korngröße: ‹ 300 mm in Ausnahmen bis 1000 mm
	- Einbindung einer Abgasreinigung (siehe Datenblatt „Abgasreinigung")
	- vorzugsweise sollte bestehen:
	  - Möglichkeit der Abgabe überschüssiger Wärme (Dampf oder Warmwasser) sowie über diesen Weg erzeugte Fernkälte an externe Abnehmer
	  - alternativ oder ergänzend: Anschluss zur Stromeinspeisung in ein öffentliches Netz

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	Output:
	  - Schlacke
	  - Kesselasche
	  - Abgas
	Qualitätsanforderungen an Output :
	  - Schlacke: C ‹ 3 Masse-%, in modernen Systemen liegt der Glühverlust bzw. TOC bei kleiner 0,5 Masse-%

BESONDERE VORTEILE	- Senkung des Schadstoff- und Reaktionspotenzials und größtmögliche Volumenreduzierung des abzulagernden Abfalls durch verlässliche und erprobte Technik (Entsorgungssicherheit) - Möglichkeit der Nutzung des Energiegehalts von Abfällen zur Erzeugung von Strom und Wärme/Kälte - Rückgewinnung von Fe-und NE-Metallen aus der Aufbereitung von Aschen und Schlacken - Behandlung schadstoffhaltiger Fraktionen zur Entfrachtung von Verwertungskreisläufen
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- hohe Investitionskosten (insbes. zur Gewährleistung der Schutzerfordernisse) - stellenweise sind Akzeptanzprobleme bei Anrainern vorhanden und zu überwinden

ANWENDUNGSDETAILS

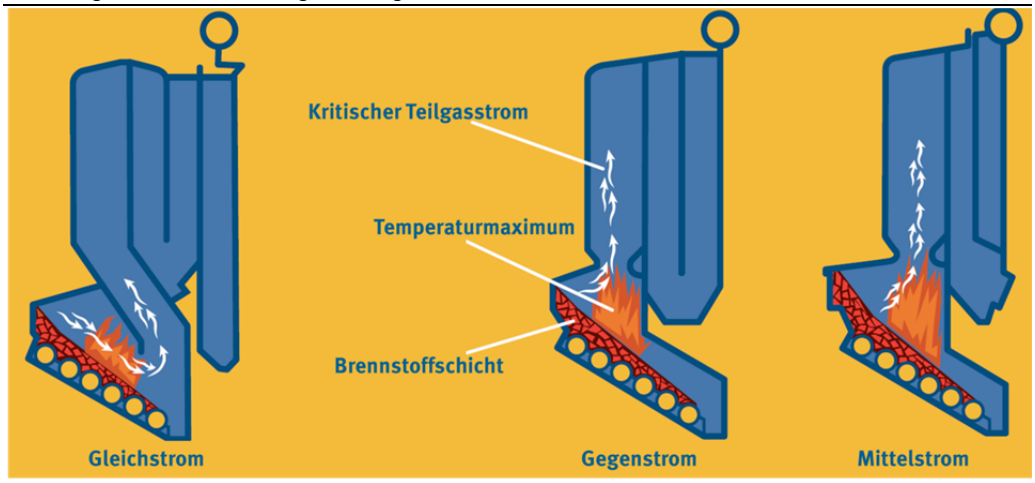
TECHNISCHE UMSETZUNG

Die Beschickung des Rostes mit dem zu verbrennenden Abfall sowie die Verbrennung erfolgt bei der Rostfeuerung kontinuierlich rund um die Uhr während der Abfall nur diskontinuierlich (meist zu Tagzeiten) an der Anlage angeliefert wird. Deshalb ist vor die Rostfeuerung immer ein Tiefbunker geschaltet. Dies gewährleistet neben dem Vorhalten eines ständig verfügbaren Vorrates auch eine Abfallvermischung mit dem Ergebnis der Homogenisierung (Einstellung auf einen annähernd stabilen Heizwertbereich) vor der Verbrennung.

Effektiv erfolgt die Verbrennung mittels Rostfeuerung bei Temperaturen zwischen 850–950°C. Am Ende des sich langsam bewegenden Rostes fallen die Verbrennungsrückstände in den mit Wasser gefüllten Schlackeabzug. Das beim Verbrennungsprozess entstehende Abgas wird der Nachbrennzone zugeführt, wo es bei Temperaturen um 850°C ausbrennt. Im anschließenden Dampfkessel wird das Abgas auf 200–400°C gekühlt. Dabei wird meist überhitzter Dampf (max. 40 bar, 400°C) erzeugt. Der Dampf kann zur Erzeugung von elektrischem Strom, Prozessdampf oder von Heißwasser für Fernwärmezwecke genutzt werden.

Derzeit sind verschiedene Systeme der Rostfeuerung am Markt etabliert. Die Unterschiede bestehen in der Führung des Verbrennungsgases und dem Transport des Abfalls auf dem Rost. Es existieren drei prinzipielle Arten der Abgasführung.

Abbildung 23: Varianten der Abgasführung



Für die Varianten Gleichstrom, Gegenstrom und Mittelstrom zeigt die Abbildung das Verhältnis der Hauptransportrichtungen von Abfall und Abgas.

- *Gleichstromsysteme* sind vorteilhaft bei Abfällen mit hohen Heizwerten (› 9 MJ/kg). Das unvollständig verbrannte Abgas wird zum Passieren der Zone mit den höchsten Temperaturen gezwungen, so dass ein verbesserter Ausbrand von Abgas und Schlacke erfolgt. Somit kann eine Nachbrennkammer in einer separaten technischen Ausführung überflüssig sein
- *Gegenstromsysteme* sind eher vorteilhaft bei Abfällen mit geringen Heizwerten. Trocknung und Feuerung des Abfalls werden gestützt durch die hohe Abgastemperatur. Als mögliches Risiko ist eine schlechte Durchmischung des Abgases zu nennen, so dass sich eine Nachverbrennung absolut notwendig macht.
- *Mittelstromsysteme* sind ein geeigneter Kompromiss wenn Abfälle mit einem großen Heizwertspektrum zu behandeln sind-

Die Rostsysteme transportieren den Abfall so, dass eine gute Durchmischung und das Durchlaufen verschiedener Temperaturzonen gewährleistet werden. Es existieren drei zu unterscheidende Systeme:

- Bei den *Vorschubrosten* transportieren die Roststäbe den Abfall. Eine schräge Rostfläche ist nicht erforderlich, wenngleich es von einigen Herstellern angeboten wird. Mittels Beschleunigung der Rostbewegung kann die Transportgeschwindigkeit erhöht werden. Auf diesem Weg wird eine Kontrolle der Verweilzeit im Ofen ermöglicht und Anpassungen an Schwankungen bei der Aufgabe des Abfalls auf dem Rost sind möglich. Der Vorschubrost ist gegenwärtig das bedeutendste Rostsystem in neuen Anlagen.

	- Bei *Rückschubrosten* erfolgt der Transport des Abfalls mit Hilfe der Schwerkraft. Eine geneigt Oberfläche ist notwendig, weil der Abfall und der Rost sich in entgegengesetzte Richtungen bewegen. Rückschubrostböden sind beispielsweise für eher feuchte Abfalle geeignet. Bei beiden Rostarten können wassergekühlte Roststäbe eingesetzt werden. - Bei *Walzenrosten* sorgt eine Kombination aus Gravitation aufgrund geneigter Rostoberfläche und Walzenbewegung für den Transport des Abfalls. Die Walzenbewegung transportiert den Abfall abwärts. Eine schnellere Rotation der Walzen führt zu einem schnelleren Transport, aber nicht zu einer besseren Durchmischung.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	Input: - Siedlungsabfälle - Wasser (Dampfgenerator, Kühlung), der Frischwasserbedarf liegt im Minimum bei 1 m³/h je Mg/h Durchsatz. Output: - 200–350 kg Schlacke/Mg Input - 25–40 kg Aschen/Stäube aus Kessel und Abgasreinigung pro Mg Input (Quelle VDI 3460) - 4.500–6.000 m³ Abgas/Mg Input - Wasser (vom Dampfgenerator)
ANWENDUNGS-BEREICH	Für den wirtschaftlichen Betrieb liegt die erforderliche Kapazität bei einem Minimum von 50.000 Mg/a = 6,5 Mg/h Durchsatz, maximale Auslegungen kommen auf etwa 225.000 Mg/a = 30 Mg/h Durchsatz pro Linie wobei es keine Limitierung für die Anzahl der Linien gibt. Die größten Anlagen haben derzeit Gesamtkapazitäten von 800.000 bis 1.000.000 Mg/a aufzuweisen. Neue wassergekühlte Rostsysteme erlauben inzwischen die Verbrennung von hochkalorischen Abfallgemischen bis etwa 16 MJ/kg. Früher wurde der Heizwert in der Regel unter ca. 12 MJ/kg gehalten, da ansonsten die Wärmebelastung der luftgekühlten Rostsysteme zu hoch ging und eine Beschädigung bzw. eine starke Verkürzung der Lebensdauer des Rostes die Folge sein konnte.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Der Rostfeuerung können prinzipiell alle Maßnahmen und Prozesse einer Abfallbehandlung vorgeschaltet werden, sie erfüllt dann die Aufgabe alle brennbaren Stoffe die nicht mehr anderweitig genutzt oder behandelt werden können energetisch zu nutzen und zu mineralisieren. Von Vorteil sind zudem Synergien mit nahegelegenen Verfahren/Industrien, welche eine hohen Bedarf an thermischer Energie haben und diese von den Verbrennungsanlagen abnehmen oder die Erbringbarkeit einer Grundlastversorgung von Fernwärme(kälte)-Netzen. In jedem Fall muss das Verfahren mit einer Abgasreinigung kombiniert werden, da das bei der Verbrennung entstehende Abgas gesundheitsgefährdende Stoffe in großem Ausmaß enthält (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“).
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	Energiebilanz anhand eines Beispiels (Stand 2010, nach Alwast, Riemann[28]) Input: - Siedlungsabfall 100 % - Hilfsenergie, z.B. Erdgas < 3 % des Inputs an Siedlungsabfall Output: - Abgas und Feuerungsverluste: 18% - Dampf: 82%, davon - 1,6% Eigenbedarf an Dampf - bis zu 29% Elektrizität, davon

[28] Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen, Texte 50/2010, Umweltbundesamt (Hrsg.), http://www.uba.de/uba-info-medien/4025.html.

	→81% Stromabgabe →19% Eigenbedarf - bis zu 69% Abwärme Eine kombinierte Erzeugung und Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie ist anstrebenswert. Die Regel hierbei ist jedoch, dass eine Erhöhung der Dampfabgabe für die Wärmenutzung jeweils eine Verringerung des Erzeugungspotenzials an elektrischer Energie nach sich zieht. Typische Kombinationen durchschnittlicher Anlagen sind z.B.: 5 % elektrischer Strom plus 35 % Wärmeabgabe oder 10 % elektrischer Strom plus 20 % Wärmeabgabe. Standortbezogen lassen sich mit modernen Anlagen deutlich bessere Werte erbringen.
CO_2-RELEVANZ	- der Anteil regenerativer Bestandteile im Abfall (in Europe durchschnittlich 50 %) ermöglicht im Vergleich zur Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen eine positive CO_2-Bilanz
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- Heizöl oder Erdgas für das An- und Abfahren der Anlage sowie für die Stützfeuerung bei absinkender Temperatur in der Nachverbrennung - Für die Abgasreinigung: Adsorbentien und weitere Reagenzien (u.a. Kalk und Harnstoff, Details und Mengen siehe Datenblatt "Abgasreinigung")
PERSONALBEDARF	- Für den 24h/7Tage-Betrieb mind. 15 ausgebildete Personen je Linie und Tag, einschließlich wenigstens 1 Ingenieur und 2 Vorarbeiter, zusätzlich Personal für Verwaltung und Eingangskontrolle, Linienzahl beeinflusst Personalbedarf weniger als installierte Abgasreinigungstechnik - insbes. für das technische Leitungspersonal wird speziell qualifiziertes Personal benötigt
FLÄCHENBEDARF	Der minimal erforderlich Flächenbedarf liegt in einem Bereich von ca.: - 10.000 m² bei einem Durchsatz von 50.000 Mg/a bzw. - 30.000 m² bei einem Durchsatz von 200.000 Mg/a
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	- schwanken stark in Abhängigkeit der angewandten Prozesstechnik und können bei einem Anlagenneubau zwischen ca. EUR 50 Mio. und EUR 200 Mio. (und darüber) liegen. Im Mittel betrugen in Deutschland die spezifischen Investitionskosten von 10 Vergleichsanlagen mit Neuerrichtungsdatum ab 2005 ca. 350 EUR/Mg Durchsatz pro Jahr bis ca. 600 EUR/Mg Durchsatz pro Jahr (inklusive Abgasreinigung). Weitere Vergleichswerte liefern die unten angeführten Referenzdokumente.

BETRIEBSKOSTEN	- schwanken teils erheblich und lagen in Deutschland im Jahr 2010 zwischen 34 EUR/Mg und 102 EUR/Mg im Vergleich von 6 Verbrennungsanlagen
	- Reparatur und Wartung:
	  - für jedes Bauteil ca. 1 % der Investitionskosten/a
	  - Maschinen und Elektrotechnik ca. 3–4 % der Investitionskosten/a
	- Personalkosten: abhängig vom lokalen Arbeitsmarkt
	Weitere Vergleichswerte liefern die unten angeführten Referenzdokumente.

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- durch die Einspeisung von elektrischem Strom und Dampf/Warmwasser
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- orientierend im Bereich von 80–150 EUR/Mg (inklusive Abgasreinigung) - große Anlagenkapazitäten, eine einfache Abgasreinigung und gute Erlössituation für abgegebenen Strom/Dampf verbessern i.d.R. die Kostensituation

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die Verbrennung fester Siedlungsabfälle unter Nutzung von Rostfeuerungstechniken hat eine weltweite Verbreitung. Deutschland nutzt allein annähernd 100 Anlagen (Stand 2016) die Abfallstoffe mithilfe dieser Feuerungstechnik verbrennen. Ausgewählte Beispiele sind: - Magdeburg Rothensee (650.000 Mg/a, 4 Linien) www.mhkw-rothensee.de - Hamburg Borsigstraße (320.000 Mg/a; 2 Linien) www.mvr-hh.de - TREA Breisgau (175,000 Mg/a, 1 Linie) www.eew-energyfromwaste.com In großem Maßstab werden Anlagen mit dieser Technik auch genutzt in: - Frankreich, Schweiz, Niederlande, Österreich, Italien, China, Japan und Skandinavien.
ANERKANNTE HER-STELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Hersteller für Anlagen und Anlagenkomponenten von Anlagenteilen oder Komplettanlagen mit Rostfeuerungstechnik sind zum Beispiel: - MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik, München www.martingmbh.de - Steinmüller - Babcock Environment GmbH, Gummersbach www.steinmueller-babcock.com - Oschatz GmbH www.oschatz.com - Hitachi Zosen Inova Kraftwerkstechnik GmbH, Landsberg www.hz-inova.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Wesentliche Referenzdokumente sind z.B. verfügbar in Form der:

VDI 3460 und BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung/Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration

Weitere Informationen und Auflistungen von relevanten Anlagen sind erhältlich durch die:
- ITAD – Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. www.itad.de
- CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants www.cewep.com

THERMISCHE ABFALLBEHANDLUNG – WIRBELSCHICHTVERBRENNUNG*)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Reduzierung von Volumen und Risikopotenzial des abzulagernden Abfalls durch Mineralisierung, Zerstörung organischer und Abscheidung eines Großteils anorganischer Schadstoffe - Energiegewinnung aus Abfällen *) Die Abgasreinigung als zu integrierender Prozessabschnitt wird separat beschrieben (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X[29]
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X[30]	Bau- und Abbruchabfälle	X[1]
Altöl	X[31]	Altfarben/-lacke	X	Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X	teilweise, nur brennbare Fraktionen			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	geeignete, brennbare Stoffe, besonders kleinstückige Gemische (z.B. Spuckstoffe der Papierindustrie)			
Andere Abfallarten	X	geeignete brennbare Stoffe, insbesondere vorentwässerter oder getrockneter Klärschlamm			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Der Abfall ist von groben Störstoffen zu befreien (z.B. große Metallteile), darf keine radioaktiven Bestandteile enthalten (Eingangsprüfung !) und ist auf das für die Wirbelschicht notwendige Größenmaß zu zerkleinern

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Verbrennungsasche/-schlacke kann nach einer weiteren Aufbereitung teils stofflich genutzt werden. Allerdings sind die Anwendungen im Vergleich zur Asche aus Rostfeuerung (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) beschränkt.

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Verbrennungsrückstände (Schlacken, Asche) sind für eine Ablagerung geeignet, bei der Abgasreinigung abgeschiedene Stoffe müssen jedoch wie gefährliche Abfälle gehandhabt werden und sind in besonderen Anlagen zu entsorgen, welche für die Stoffe geeignet und zugelassen sind. Bevorzugt wird die Verwertung in Versatzbergwerken oder die untertägige Ablagerung in Untertagedeponien (siehe Datenblatt „Deponie für gefährliche Abfälle“)

Nachsorgebedarf:
Die zur Entsorgung auf Deponien der erforderlichen Kategorie verbrachten Anteile vom Output-Material unterliegen dort den herkömmlichen Nachsorgeprozeduren

Besondere Schutzerfordernisse:
Abgase aus der Verbrennung sind so zu behandeln und zu reinigen, dass keine erhöhten Gesundheitsrisiken oder nachteiligen Wirkungen auf Schutzgüter und die Umgebung entstehen und rechtliche Vorgaben eingehalten werden (siehe Datenblätter zu „Abgasreinigung“ und „Technologieorientierte Richtlinien der EU, insbesondere Richtlinie über Industrieemissionen“). Bei der Errichtung von Abfallverbrennungsanlagen ist insbesondere aus Lärmschutzgründen ein Mindestabstand zur nächsten Bebauung zu berücksichtigen.

---

[29] Stofflichen Verwertungswegen und dafür ggf. notwendigen (mechanischen) Vorbehandlungsschritten ist der Vorrang zu geben. Die Wirbelschichtverbrennung sollte nur zur Behandlung der brennbaren Sortierreste dieser Abfälle angewandt werden

[30] Die Möglichkeit stofflicher Verwertungswege (Holzrecycling) ist vorab zu prüfen und insbesondere für unbehandelte, naturbelassene Altholzfraktionen zu bevorzugen. Spezielle Holzverbrennungsverfahren (Monoverbrennung) sind ebenfalls geeignet

[31] nur in geringen Anteilen, Möglichkeiten der stofflichen Aufbereitung oder anderweitigen thermischen Verwertung (z.B. industrielle Mitverbrennung – siehe Datenblatt “Industrielle Mitverbrennung“) sind vorab zu prüfen und ggf. zu bevorzugen

Potentielle Gesundheitsrisiken:
Die Freisetzung unbehandelter Abgase stellt ein hohes Gesundheitsrisiko für die Anrainerbevölkerung dar, dem jedoch durch Nutzung moderner Reinigungstechnik und Schutzvorkehrungen effektiv begegnet werden kann. Mit Abgasreinigungstechnologien nach heutigem Stand der Technik ausgerüstete Verbrennungsanlagen gelten als unbedenklich in Bezug auf Gesundheitsrisiken (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“).

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten
Zum wirtschaftlichen Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen bedarf es einer gewissen Mindestkapazität (i.d.R. mehrerer zehntausend Mg pro Jahr). Industrieansiedlungen bieten in dieser Hinsicht für diese Technologie gut geeignete Standorte. Hier liegen zumeist auch die benötigten infrastrukturellen Voraussetzungen, wie eine gute logistische Anbindung an Straße, Schiene oder Wasserweg sowie Abnahmemöglichkeiten für produzierten Strom/Dampf vor. Das Entstehen eines zusätzlichen Verkehrsaufkommens ist zu berücksichtigen.

Klimatische Gegebenheiten: keine besonderen Anforderungen oder Einschränkungen

Geeignete Finanzierungsmechanismen:
Die Finanzierung der Abfallverbrennung sollte durch Erhebung von Gebühren beim Abfallerzeuger erfolgen. Mittels einer Verbrennungssteuer lässt sich darauf hinwirken, dass nur die nicht verwert- und recycelbaren Abfälle der Abfallverbrennung zugeführt werden

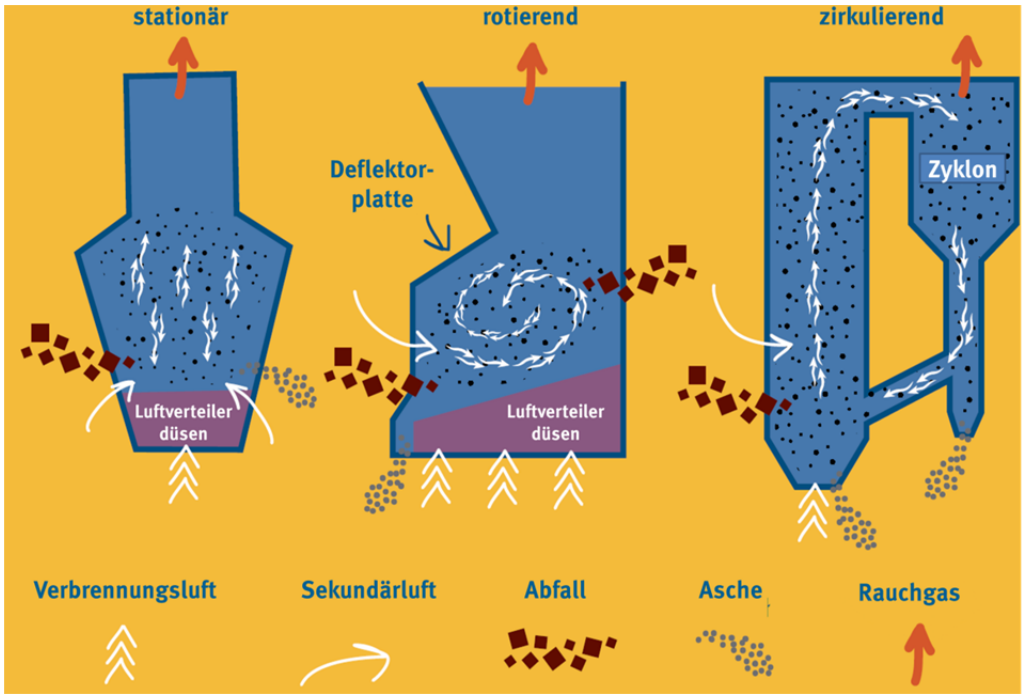
TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Die Wirbelschichtverbrennung ist eine besonders effiziente und schadstoff-arme Technologie für Verbrennungsanlagen. In dem Verfahren werden die Brennstoffe (hier Abfälle) in einem aufwärts gerichteten Luftstrom dem Verbrennungsprozess ausgesetzt. Das Ergebnis ist eine turbulente Vermischung von Gas und Feststoff (Wirbelschicht). Das Verwirbeln ermöglicht effektive chemische Reaktionen und einen effektiven Wärmetransport. Die Wirbelschichtverbrennung wurde u.a. entwickelt, um Schadstoffemissionen soweit zu beherrschen, dass sehr kostenintensive Reinigungsmaßnahmen wie z.B. Wäscher teilweise entfallen bzw. minimiert werden können. Der Einsatz dieser Technologie ist besonders bei der Klärschlammverbrennung üblich (siehe auch Datenblatt „Klärschlammbehandlung“) und erfolgt überdies verbreitet für die Verwertung von Ersatzbrennstoffen (EBS).
GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	- Die Prozessführung muss so eingestellt sein, dass die Temperaturen unterhalb eines Bereiches liegen, bei welchem Asche sintert und schädliche Stickoxide entstehen. - Eine Vorbehandlung des Abfalls muss so erfolgen, dass ein möglichst gut zerkleinerter Input (ca. 50 mm) mit relativ gleichbleibenden physikalischen Eigenschaften entsteht - Heizwert des Inputs kann bis zu 20 MJ/kg bei stationärer Wirbelschichtverbrennung und bis zu 35 MJ/kg bei zirkulierender Wirbelschichtverbrennung betragen
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	Output: - Asche mit keiner oder wenig Schlacke (Kohlenstoffanteil im Bereich 0,5 % bzw. mit einem Anteil brennbarer Bestandteile < 0,5 Masse-%) - Kesselstaub - Abgas - niedrige NO_x -Bildung und geringe Bindung von Schwermetallen in der Asche infolge der vergleichsweise geringen Prozesstemperatur

BESONDERE VORTEILE	- Prozess ist weniger empfindlich bei Änderungen des Heizwertes im Input und kann insbesondere für die Verbrennung von Schlamm/pastösen Stoffen eingesetzt werden - kein oder reduzierter Bedarf zur Abgasentstickung im Ergebnis geringer Schadstoffbildung durch Verbrennung bei eher niedrigen Temperaturen - guter Ausbrand - Technologie ist für hohe Brennstoff-Wärmeleistungen (bei zirkulierender Wirbelschicht bis zu 1000 MW_{th}) und Heizwerte des Inputs (bei zirkulierender Wirbelschicht bis zu 35 MJ/kg) ausgelegt - meist geringerer Kapitalbedarf im Verhältnis zu anderen Techniken
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- Prozess ist durch geringeren Durchsatz im Verhältnis zu anderen Techniken gekennzeichnet - Relativ höherer Verschleiß im Verbrennungsraum und im Kessel durch die große Menge an abrasiven Materialien (Sand) in der Wirbelschicht - in geringerem Umfang Bindung von Schwermetallen in der Asche - eventuelles Risiko der Bildung von Lachgas im Emissionsstrom - stellenweise sind Akzeptanzprobleme bei Anrainern vorhanden und zu überwinden
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Bei der Wirbelschichtverbrennung werden meist zerkleinerte Abfälle mit inerten Materialien in eine Wirbelschicht versetzt und bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von 750–850°C verbrannt. Lange Verweilzeiten, große spezifische Oberflächen und ein guter Wärmetransport führen zu einem guten Ausbrand (Restanteil Kohlenstoff < 0,5 Masse-%). Die Verbrennungstemperatur liegt unterhalb des Grenzbereiches der Stickoxidentstehung, was zu einer vergleichsweise geringen NOx-Bildung führt, allerdings ist die Bildung von Lachgas zu beachten. Die geringe Prozesstemperatur garantiert, dass die Asche nicht sintert, so dass Schwermetalle in geringerem Umfang in der Asche gebunden werden. Die Vermischung in der Wirbelschicht führt weiterhin dazu, dass das Abgas in Kontakt mit der Schwefelabsorbersubstanz (Kalkstein, Dolomit) kommt. Damit kann ein hoher Anteil des Schwefels innerhalb des Kessels am Sorptionsmittel gebunden werden. Wirbelschichtverbrennungssysteme lassen sich in zwei grundlegende Hauptgruppen unterteilen, dem atmosphärischen System (Fluidised Bed Combustion – FBC) und den unter Druck stehenden System (Pressurised Fluidised Bed Combustion – PFBC). Letztgenanntes System arbeitet mit einem erhöhten Druck und erzeugt einen Hochdruckluftstrom, welcher den Betrieb einer Gasturbine ermöglicht. Dampf wird durch die Wärme aus der Wirbelschicht erzeugt und in eine Dampfturbine geleitet; Das Verfahren stellt damit ein hoch effizientes kombiniertes Kreislaufsystem dar. Grundsätzlich gibt es drei unterschiedliche Arten von Wirbelschichtsystemen, die durch die Art der Abgasführung bestimmt werden: - stationäre Wirbelschicht - rotierende Wirbelschicht und - zirkulierende Wirbelschicht. Bei der *stationären Wirbelschicht* ist die Betthöhe konstant. Es gibt im Wesentlichen keine diagonalen Transporte in der Wirbelschicht. Die stationäre Wirbelschicht wird oft für Klärschlamm genutzt. Sie ist besonders geeignet für die Verbrennung von Abfällen mit geringen Heizwerten (6,5 bis 13 MJ/kg). Auch die Verbrennung von Abfällen im höheren Heizwertbereich (bis 18 MJ/kg) ist beim Vorliegen bestimmter Voraussetzungen möglich. Bei der *rotierenden Wirbelschicht* ist die Wirbelschicht ebenfalls stationär. Eine Rotation entlang der eigenen Achse bewirkt eine diagonale Durchmischung. Die rotierende Wirbelschicht ist geeignet für Abfälle mit höherem Heizwert (7 bis maximal 20 MJ/kg). Schlamm kann ebenfalls verbrannt werden.

Abbildung 24: Varianten der Abgasführung bei der Wirbelschichtverbrennung



Bei der *zirkulierenden Wirbelschicht* ist die Betthöhe nicht konstant. Dafür verlassen Bettasche und Bettsand kontinuierlich den Ofen aufgrund der hohen Luftgeschwindigkeit. Dieses Bettmaterial wird in einem Zyklon abgeschieden und meist in die Verbrennung zurückgeführt. Die hohen Luftgeschwindigkeiten/-verwirbelungen ermöglichen insbesondere den Einsatz von hochkalorischen Abfällen.

STOFFFLUSS UND -MENGEN

Input:
- feste und pastöse Abfälle
- Sand/Inertes
- Wasser (Dampfgenerator), der Frischwasserbedarf liegt im Minimum bei 1 m³/h je Mg Durchsatz/h

Output:
- 200 bis 250 kg Bettasche/Mg Input
- 50 bis 100 kg Zyklonasche/Mg Input
- 5 bis 20 kg Kesselasche//Mg Input
- 4.500 bis 5.500 m³ Abgas//Mg Input
- Wasser (vom Dampfgenerator)

ANWENDUNGS-BEREICH

Angeboten wird diese Technologie momentan üblicherweise für den Einsatz in einem Kapazitätsbereich von
- ab 4 Mg/h bis ca. 150.000 Mg pro Linie und Jahr für EBS-Fraktionen
- ca. 5.000–75.000 Mg TS pro Jahr für Klär- und Industrieschlamm

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Die Wirbelschichtverbrennung dient insbesondere auch der thermischen Behandlung von brennbaren Materialien, welche anders nicht behandelt werden können (z.B. Abfälle < 30mm, Schlamm). Sie kann prinzipiell mit allen vorhergehenden Maßnahmen und Prozessen der Abfallbehandlung kombiniert werden. Von Vorteil ist es Synergien mit Verfahren herzustellen, welche eine hohen Bedarf an thermischer Energie haben (Bsp. Papierfabriken welche im Gegenzug den Großteil ihrer Prozessabfälle in solchen Anlagen verwerten können). Alternativ sollten zumindest Möglichkeiten bestehen, überschüssige Wärme (Dampf oder Warmwasser) zur externen Nutzung abgeben zu können oder elektrische Energie in das Stromnetz einzuspeisen. In jedem Fall muss das Verfahren mit einer Abgasreinigung kombiniert werden (siehe Datenblatt "Abgasreinigung").

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

Energiebilanz anhand eines Beispiels (Stand 2010)

Input: - Brennstoff (Abfall), Hilfsenergie, z.B. Erdgas < 3 % des Brennstoffinputs

Output: - elektrischer Strom; Erzeugungseffizienz unter Abzug des Eigenbedarfs bis zu 20 %
- thermische Energie; Erzeugungseffizienz von bis zu 60 %

Eine kombinierte Erzeugung und Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie ist anstrebenswert. Die Regel hierbei ist jedoch, dass eine Erhöhung der Dampfabgabe für die Wärmenutzung jeweils eine Verringerung des Erzeugungspotenzials an elektrischer Energie nach sich zieht.

Tabelle 13: Beispiel von Energieflüssen bei einer Klärschlamm-Monoverbrennung mit Wirbelschichttechnik (Quelle: Franck, Monoverbrennung von Klärschlamm, 2015)

Parameter	Einheit	Wert	
Durchsatz	Mg_{TS}/Jahr	35.000	2.000
Luftvorwärmung	°C	120	200
Klemmenleistung Turbine	MW_{el}	1,4	-
Stromabgabe Turbine, netto	MW_{el}	0,4	-
Energiebedarf Trocknung	MW_{th}	7,0	0,430

CO_2-RELEVANZ

- der Anteil regenerativer Bestandteile im Abfall (in Europe durchschnittlich 50 %) ermöglicht im Vergleich zur Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen eine positive CO_2-Bilanz

HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE

- Sand
- Branntkalk
- Herdofenkoks
- Heizöl oder Erdgas für das Anfahren sowie für die Stützfeuerung

PERSONALBEDARF

- Für den 24h/7Tage-Betrieb mind. 10–15 ausgebildete Personen je Linie und Tag, einschließlich wenigstens 1 Ingenieur und 2 Vorarbeiter, zusätzlich Personal für Verwaltung und Eingangskontrolle
- insbes. für das technische Leitungspersonal wird speziell qualifiziertes Personal benötigt

FLÄCHENBEDARF

- der erforderliche Flächenbedarf liegt je nach Anlagenkapazität in einem Bereich von ca. 5.000–10.000 m².

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN

INVESTITIONS-KOSTEN

Überschlägig ist für großtechnische Anlagen zur Monoverbrennung von Klärschlamm mit Hilfe der Wirbelschichttechnik mit spezifischen Investitionskosten von 180–400 EUR/Mg_{TS} zu rechnen. Folgende Tabelle gibt eine Auflistung der Investitionskosten einer Groß- und Kleinstanlage zur Klärschlammverbrennung unter Anwendung der Wirbelschichtfeuerung.

Tabelle 14: Investitionskosten für eine Wirbelschichtfeuerung zur Klärschlammverbrennung (Quelle: Franck, Schröder: Zukunftsfähigkeit kleiner Klärschlammverbrennungsanlagen, 2015)

Parameter	Großanlage	Kleinanlage
Jahreskapazität	35.000 Mg_{TS}/a	2.000 Mg_{TS}/a
Verfahrenstechnik	24.150.000 EUR	3.590.000 EUR
Bautechnik	5.150.000 EUR	880.000 EUR
E-MSR-Technik	2.250.000 EUR	1.130.000 EUR
Nebenkosten	3.200.000 EUR	1.000.000 EUR

BETRIEBSKOSTEN

- insbesondere abhängig vom Marktpreis für Betriebsmittel (Heizöl) und den jeweiligen Personalkosten
- Als Orientierungswert wird für die Anlagenbeispiele in Tabelle 1 mit EUR 5,5 Mio. (Großanlage 35.000 Mg/a) bzw. rd. EUR1 Mio. Jahresbetriebskosten (Kleinanlage (2.000 Mg/a) kalkuliert
- Reparatur und Wartung: -für jedes Bauteil ca. 1 % der Investitionskosten/a
  -Maschinen und Elektrotechnik ca. 3–4 % der Investitionskosten/a

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN

- durch Einspeisung von elektrischem Strom und Dampf/Warmwasser

MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN

Liegen etwa in der gleichen Größenordnung wie bei der Rostfeuerung. Mögliche Einsparungen ergeben sich aus den geringeren Anforderungen an die Entstickung. Höhere Kosten können aufgrund verstärkten Verschleißes und teilweise durch die Vorbehandlung des Inputs entstehen. Insbesondere wenn kleinkörnige Materialien wie getrockneter Schlamm oder anderes Material ‹ 30 mm von der mechanisch-biologischen Behandlung verbrannt werden, kann die Kostenersparnis bei der Wirbelschichtverbrennung bis zu 20–30 % im Vergleich zur Rostfeuerung liegen (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“). Kostenbeispiele aus Deutschland sind:

- Input getrockneter Schlamm oder Materialien ‹30mm: 80 bis 120 EUR/Mg
- große Anlagenkapazitäten, eine einfache Abgasreinigung und gute Erlössituation für abgegebenen Strom/Dampf verbessern i.d.R. die Kostensituation

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

Die Verbrennung von geeigneten Abfällen, Klärschlamm und insbesondere Ersatzbrennstoffen unter Nutzung der Wirbelschichtverbrennung wird in immer breiterem Umfang angewandt. Deutschland betreibt inzwischen einen Anlagenbestand mit Wirbelschichttechnik oberhalb von 2 Mio. Mg Gesamtjahreskapazität. Ausgewählte Beispiele sind hier:

- Anlage TEV Neumünster: zirkulierende Wirbelschicht, 150.000 Mg Jahreskapazität
- EBS – Kraftwerk im Industriepark Höchst www.infraserv.com

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Anerkannte Hersteller und Erbauer von Anlagenteilen oder Komplettanlagen mit Wirbelschichttechnik sind z.B.:

- Eisenmann SE, Böblingen www.eisenmann.com
- Küttner GmbH & Co. KG www.kuettner.de
- Strabag Umwelttechnik GmbH www.strabag.de

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE
Wesentliche Referenzdokumente sind z.B. verfügbar in Form der: VDI 3460 und BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung/Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration Weitere Informationen und Auflistungen von relevanten Anlagen sind erhältlich durch die: - ITAD - Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. www.itad.de - CEWEP - Confederation of European Waste-to-Energy Plants www.cewep.com

ABGASREINIGUNG (INSB. REINIGUNG DER RAUCHGASE DER ABFALLVERBRENNUNG)

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Reduzierung des Schadstoffausstoßes bei der Abfallverbrennung durch Behandlung der Abgase aus den Verbrennungsprozessen (Siehe auch Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen „Industrielle Mitverbrennung“, „Rostfeuerung“, „Wirbelschichtverbrennung“)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle					
andere behandelbare Stoffe	X	Abgas aus der Verbrennung von Abfällen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Die bei Abfallverbrennungsprozessen entstehenden Abgase bedürfen aus Gründen des Immissionsschutzes einer Behandlung, die Abgasreinigung stellt daher eine notwendige prozessintegrierte Komponente dar

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Bei der Abgasreinigung anfallende Rückstände können teilweise recycelt werden (z.B. REA-Gips).

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:
Der wesentliche Teil der abgeschiedenen Stoffe und Abgasreinigungsrückstände muss auf Deponien für gefährliche Abfälle, vorrangig Untertagedeponien abgelagert werden. (siehe Datenblatt “Deponie für gefährliche Abfälle“)

Nachsorgebedarf:
Für die Reaktionsprodukte der trockenen und quasitrockenen Abgasreinigung, welche toxische und auslaugbare Problemstoffe (Schwermetalle, Dioxine/Furane, PAK) enthalten sowie für die Eindampfrückstände der nassen Abgasreinigung entsteht ein Nachsorgeaufwand durch die fachgerechte Behandlung oder Entsorgung in Untertagedeponien oder durch Untertageversatz (siehe Datenblatt “Deponie für gefährliche Abfälle“)

Besondere Schutzerfordernisse:
Bei der Abgasreinigung abgeschiedene Abgasbestandteile und entstehende Rückstände sind i.d.R. stark schadstoffhaltig und müssen unter speziellen Schutzvorkehrungen (z.B. Kapselung, Immobilisierung) behandelt oder abgelagert werden.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Die Abgasreinigung wird in Verbindung mit Abfallverbrennungsprozessen angewandt; die entsprechenden äußeren Einflussfaktoren und Beschränkungen sind somit den entsprechenden Datenblättern zu entnehmen (siehe auch Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen „Industrielle Mitverbrennung“, „Rostfeuerung“, „Wirbelschichtverbrennung“)

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Abgasreinigungssysteme dienen der Verringerung des Gefahrenpotenzials von Emissionen und der Reduzierung der größtmöglichen Menge an Schadstoffen, die bei Abfallverbrennungsprozessen entstehen. Zu den typischen Luftschadstoffen aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen zählen: - partikelförmige Schadstoffe (Staub), - Kohlenstoffmonoxid (CO), - Stickstoffoxide (NO_x),

- Schwefeloxide (SO_x),
- Halogenwasserstoffe (HCl, HF),
- organische Schadstoffe (z. B. PCDD/F) und
- Schwermetalle (z.B. Hg, Cd, As).

Dazu sind die Abgasreinigungssysteme mit der Abgasführung der Verbrennungsanlagen verbunden. Man unterscheidet trockene, halbtrockene und nasse Abgasreinigungssysteme, wobei nasse Abgasreinigungssysteme abwasserfrei und abwassererzeugend betrieben werden können. Die Abgasreinigung erfolgt im Wesentlichen mit Hilfe von Techniken zur Abscheidung von Partikeln und sauren Abgasbestandteilen sowie technischen Maßnahmen zur Minderung von Stickoxiden. Technische Bestandteile sind u.a. Elektro- und Gewebefilter, Sprühtürme, Abgaswäscher sowie Katalysatoren durch die die im Abfallverbrennungsprozess entstehenden Abgase geleitet werden.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

Abgasreinigungssysteme müssen zugelassene Technik verwenden und sind Teil der Anlagengenehmigung. In europäischen Anlagen darf das behandelte Abgas die Emissionsgrenzwerte der Europäischen Richtlinie über Industrieemissionen (siehe Datenblatt „Technologieorientierte Regelungen“) als Mindestanforderung nicht überschreiten.

Tabelle 15: Grenzwerte für Abgase aus der Verbrennung

Parameter	Tagesmittelwert in mg/Nm³ trocken (11 Vol.-% O_2 trocken)
Gesamtstaub	10
TOC	10
HCL	10
HF	1
SO_x	50
NO_x	200-400
CO	50
Hg / Summe aus Cd + Tl	0,05 / 0,05
Summe aus Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5
Dioxine und Furane	0,1 ngl-TEQ/Nm³ trocken (11 Vol.-% O_2 trocken)

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- Gemäß den Vorgaben (siehe bspw. Tabelle 1) gereinigtes Abgas, das über den Kamin ohne zu erwartende Beeinträchtigung für Mensch und Umwelt abgegeben werden kann
- Reststoffe, die gemäß ihrer Schadstofffracht zu entsorgen sind:
  - Kesselasche und Filterstäube,
  - Reaktionsprodukte aus der Abscheidung saurer Abgasbestandteile,
  - schwermetallhaltige Schlämme (aus nassen Abgasreinigungsverfahren),
  - beladene Adsorbentien (z.B. Aktivkohle),
  - REA-Gips

BESONDERE VORTEILE

- Die Abgasreinigung ermöglicht eine Abfallverbrennung auf umweltverträgliche Art und Weise. Sie macht die Abfallverbrennung für die Bevölkerung akzeptabel und erlaubt es, sie großtechnisch als Abfallbehandlungsoption neben anderen Verfahrenswegen zu installieren und gleichzeitig als Option zur Energieerzeugung zu nutzen.

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- Die Abgasreinigung ist ein kosten- und nachsorgeintensiver Prozess.

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Abgasreinigungssysteme konzentrieren sich insbesondere auf die Verringerung von luftgetragenen Emissionen und Abscheidung folgender Schadstoffe aus dem Abgasstrom der Abfallverbrennung, so dass rechtsverbindliche Standards, wie bspw. in der EU, eingehalten werden können. Dazu sind die Abgasreinigungssysteme, wie in Abbildung 1 dargestellt, direkt mit der Feuerungsanlage verbunden.

Für die Abgasreinigung ergeben sich eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der nach-

folgend vorgestellten Einzelverfahren und Techniken, so dass eine an die brennstoff-, standort- und technologiespezifischen sowie wirtschaftlichen Faktoren angepasste Prozesskette für die Abgasreinigung zu wählen ist.

Abbildung 25: Beispielhaftes Verfahrensschema für eine Verbrennung mit angeschlossener Abgasreinigung

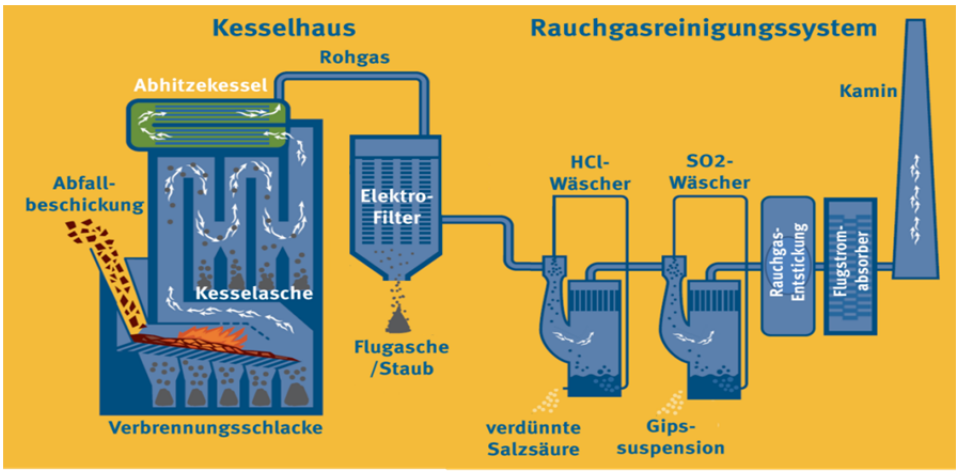


Tabelle 16: Schadstoffkonzentrationen im Rohgas bei der Verbrennung (Thomé-Kozmiensky, Löschau, 2014[32])

Schadstoff	Rohgaskonzentration resultierend aus der Verbrennung von Haushaltsabfällen in modernen Anlagen [mg/Nm³ trocken]	
	Schwankungsbreite	Tagesmittelwert
Staub	800–5.000	2.500
HCl	200–2.500	1.500
HF	2–100	15
SO_2	200–1.000	600
Schwermetalle	1–35	1–35
NO	Wirbelschichtverbrennung 180–250 Rostfeuerung ‹ 450	Rostfeuerung. 350
Dioxine/Furane	1–3 ng TE	2 ng TE

Die Abscheidung der in Tabelle 2 gelisteten Schadstoffe erfolgt folgendermaßen:

a) <u>Staub</u>

Der Staub beinhaltet vorwiegend flüchtige Schwermetalle sowie große Mengen an organischen Verbindungen. Der Gehalt an Dioxinen/Furanen ist besonders hoch. Zur Abscheidung von Staub werden hauptsächlich Gewebefilter oder Elektrofilter eingesetzt. In Einzelfällen finden aber auch noch Massenkraftabscheider (Schwerkraftabscheider, Zyklone, Multizyklone) zur Vorabscheidung von Partikeln und Nassabscheider (Venturiwäscher) Anwendung. Eine Übersicht über die prinzipielle Charakteristik der Verfahren bietet die folgende Tabelle:

Tabelle 17: Charakteristika von verschiedenen Entstauberverfahren (Thomé-Kozmiensky, Löschau, 2014[1])

Staubabscheider	erreichbarer Gesamt-abscheidegrad	erreichbarer Reingas-staubgehalt	abscheidbare Korngröße x_p	Anwendung
Einheit	%	mg/Nm³ tr.	µm	-
Schwerkraft-abscheider	‹60	1.000	›10	Vorentstaubung für Grobstäube
Fliehkraftabscheider: Zyklon/Multizyklon	80/95	300/150	›5/›5	Vorentstaubung für Grobstäube
Elektroabscheider trocken	80–99,9	25	›1	Entstaubung
Elektroabscheider nass	90–99,9	‹5	›0,05	Feinstaub-/Aerosol-abscheidung

[32] Immissionsschutz, Band 4. TK Verlag Neuruppin, 2014

Staubabscheider	erreichbarer Gesamt-abscheidegrad	erreichbarer Reingas-staubgehalt	Abscheidbare Korngröße x_p	Anwendung
Einheit	%	mg/Nm³ tr.	µm	
Filternder Abscheider Gewebefilter	>99,9	<2	>0,1	Entstaubung
Nassabscheider Venturiwäscher	>99,9	<5	>0,05	Feinstaub-/Aerosol-abscheidung

b) Saure Schadgase HCl, SO_2, HF

HCl, SO_2 und HF können aus dem Abgas mittels trockener, quasi trockener und nasser Verfahren entfernt werden, wobei die Reststoffe bei Nassverfahren in gelöster Form oder suspendierter Form (bspw. verdünnte Salzsäure, Gipssuspension) und bei quasitrockenen und trockenen Verfahren in trockener Form anfallen (bspw. Natriumchlorid). Zu den quasitrockenen Verfahren werden die Sprühabsorption mit Kalkmilch (Kalkhydrat als Suspension) und das konditioniert-trockene Verfahren mit Kalkhydrat oder Natriumbikarbonat in Pulverform gezählt. Folgende Tabelle stellt verschiedene Parameter der Verfahren gegenüber.

Tabelle 18: Abgasreinigungskonzepte zur Minderung saurer Schadgase (Thomé-Kozmiensky, Löschau 2014[1])

Parameter	Nassverfahren		Sprühabsorber	konditioniert-trockene Verfahren	trockene Verfahren	
Sorptionsmittel	H_2O CA(OH) oder $CaCO_3$	H2O NaOH	$Ca(OH)_2$	$Ca(OH)_2$	$Ca(OH)_2$	$NaHCO_3$
Aggregatzustand Sorptionsmittel	flüssig (Suspension)	flüssig (Lösung)	flüssig (Suspension)	fest (Pulver)	fest (Pulver)	
Abgastemperatur im Reaktor	Sättigungstemperatur (etwa 50–60 °C)		Kohle: ~70°C Biomasse: ~100°C Abfall: ~140°C	Kohle: ~70°C Biomasse: ~100°C Abfall: ~140°C	Kesselaus-trittstempera-tur	
Abgaskonditio-nierung	durch Sorptions-mitteleindüsung		durch Sorpti-onsmitteleinindüsung	durch zusätzliche Wassereindüsung	keine	
Hauptreaktions-produkte	HCl $CaSO_4$	HCl Na_2SO_4	CaCl, $CaSO_4$, $CaSO_3$	CaCl, $CaSO_4$, $CaSO_3$	CaCl, $CaSO_4$ $CaSO_3$	NaCl Na_2SO_4
Aggregatzustand Reaktionsprodukt	flüssig (Suspension/ Lösung)		fest (Staub)	fest (Staub)	fest (Staub)	

c) Stickoxide

Im Falle, dass die Entstehung von Stickoxiden nicht durch verbrennungstechnische Maßnahmen verhindert werden kann, existieren im Wesentlichen zwei Prozesse für die Entfernung von Stickoxiden aus dem Abgas:

- SNCR-Verfahren (Selective Non Catalytic Reduction) sowie
- SCR-Verfahren (Selective Catalytic Reduction)

Das *SNCR-Verfahren* erreicht als Gasphasenreaktion eine Eliminationsrate des NO_x von 50-60% (in neueren Anlagen und unter optimalen Voraussetzungen bis zu 85%) durch das Einsprühen von Nitrogenverbindungen (besonders Harnstoff oder Ammoniak) mittels Düsen in den heißen Abgasstrom (850–1100°C, vorzugsweise 950°C). Zur Abscheidung von 1 kg Stickoxid wird dabei rund 1 kg Ammoniak benötigt.

Beim *SCR-Verfahren* (katalytische Reduktion) werden die Stickoxide unter Zugabe von Ammoniakwasser an einem Katalysator zu Stickstoff und Wasserdampf umgesetzt. Die Stickoxide werden katalytisch bei einer Temperatur von 180°C bis 450°C zerstört, wobei der optimale Temperaturbereich zwischen 350 °C und 400°C liegt. Die Eliminationsrate liegt bei über 90–92 %, wobei sich der Ammoniakbedarf zur Reduktion am Katalysator theoretisch auf 0,388 kg je reduziertem Kilogramm Stickoxid beläuft. Beim SNCR- wie auch beim SCR-

Verfahren entstehen keine Rückstände, allerdings ist der sogenannte Ammoniakschlupf zu beachten und auf das gesetzlich (in Deutschland derzeit 17. BImSchV) festgelegte Maß zu begrenzen. Beide Verfahren sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 19: Charakterisierung der Prozesse für die Beseitigung von Stickoxiden

	SNCR	SCR
NO_x Konzentration im Reingas	< 150 mg/m³	< 80 mg/m³
Vorteile	- preisgünstig - gute Reingaskonzentrationen - Einschränkung der De-Novo-Synthese von Dioxinen und Furanen	- sehr gute Reingaskonzentrationen - kann zur direkten Zerstörung von Dioxinen und Furanen genutzt werden
Nachteile	- bei Kesseln mit schwankender Temperaturverteilung kann das Temperaturfenster, in dem das Reduktionsmittel eingedüst werden muss, verpasst werden - liegen zu hohe NO_x-Ausgangswerte im Rohgas vor, reicht SNCR-Anlage nicht aus, um geforderte Reingaswerte zu erzielen	- hohe Kosten durch Instandhaltung des Katalysators - Wartung/Kontrolle notwendig durch Staubbeladung und damit verbunden Senken der Aktivität - anfällig gegenüber Abgasbestandteilen (z.B. Schwermetallen), welche den Katalysator „vergiften“ und damit in seiner Funktion beeinträchtigen

d) Schwermetalle und Dioxine

Dioxine, Furane und Schwermetalle, welche durch den Wäscher gehen, können aus dem Abgas durch Aktivkohle bzw. –koks oder ein Gemisch aus Kalkhydrat und Aktivkoks eliminiert werden. Als verlässlicher Prozess hat sich insbesondere die Flugstromadsorption (Zusatz von Aktivkoks – Kalk/Natriumbikarbonat und eine Mischung dessen mit dem Abgas) durchgesetzt, aufgrund höherer Kosten und schwierigerem Handlings wird das Verfahren der Festbettadsorption weniger oft genutzt. Die Hauptmerkmale beider Prozesse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 20: Adsorptionsprozesse für Schwermetalle und Dioxine bei der Abgasreinigung

	Flugstromadsorption	Festbettadsorption
Konzentration im Reingas: - Dioxin - Schwermetalle	 « 0,1 ng TE < 0,1 mg	 « 0,1 ng TE < 0,1 mg
Temperatur	max. 150 °C	max. 150 °C
Vorteile	- sehr gute Reingaskonzentration - vertretbare Kosten	- sehr gute Reingaskonzentration - unempfindlich gegenüber Konzentrationsschwankungen
Nachteile	- Gefahr des Durchbrechens (bei hoher Beladung)	- Brandgefahr - teuer - hohe CO-Emissionen während des Anfahrens
Rückstände	Aktivkohle oder -koks teilweise mit Kalk oder Natriumbikarbonat vermischt	Aktivkohle oder -koks

Aktivkohle/-koks bindet Schwermetalle (vor allem Hg und Cd) sowie Dioxine und Furane, es kommt auch zu Schwefel- und Chloranreicherungen in geringerer Menge. In der Regel erfolgt eine Rückführung in den Verbrennungsraum und zwar solange, wie Quecksilber und Cadmium abgeschieden werden.

STOFFFLUSS UND -MENGEN

Die möglichen Reduktionsraten der verschiedenen Schadstoffe im Abgas sind in Verbindung mit den verschiedenen einsetzbaren Techniken oben dargestellt.

ANWENDUNGSBEREICH

- Die Abgasreinigung muss entsprechend der gesetzlichen Vorschriften in allen Abfallverbrennungsanlagen unterschiedlicher Bauart integriert sein. (siehe Datenblätter zu verschiedenen Verbrennungsprozessen; “Rostfeuerung“, “Wirbelschichtverbrennung“, “Industrielle Mitverbrennung“)

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	- Techniken zur Abgasreinigung können an jedes Verbrennungssystem (einschließlich der nicht Abfälle einsetzenden thermischen Anlagen) angebunden werden.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ CO_2-RELEVANZ	- wird bestimmt durch den jeweiligen Verbrennungsprozess und die daraus resultierenden Emissionen
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- Natriumbikarbonat, Kalkstein oder Kalkhydrat zur Absorption saurer Schadgase - Kohle, Koks aus Braunkohle zur Absorption von Schwermetallen u. Dioxinen: <0,8 kg/Mg Abfallinput - Harnstoff oder Ammoniakwasser (25%) zur Minderung von NO_x) - Wasser
PERSONALBEDARF	- Abgasreinigungssysteme erfordern keinen zusätzlichen Personalbedarf beim Betrieb von Verbrennungsanlagen, allerdings entsteht ein zusätzlicher Entsorgungsaufwand bei dem es zu Personaleinsatz kommt
FLÄCHENBEDARF	- Der zusätzliche Flächenbedarf für die Einrichtungen zur Wärmenutzung (Kessel) und Abgasreinigungssysteme ist im Vergleich zum eigentlichen Verbrennungssystem erheblich. Möglich Maßnahmen zur Nachrüstung der Abgasreinigung sollten bei der Bemessung der Flächen berücksichtigt werden.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	Trockene und quasitrockene Abgasreinigungsanlagen haben die niedrigsten Investitionskosten. Die nasse Abgasreinigung weist bei den Investitionskosten einen weiten Bereich auf. Allerdings ist eine relativ einfach aufgebaute nasse Abgasreinigungsanlage nur unwesentlich teurer als eine quasitrockene Rauchgasreinigung. Pro Anlage können die erforderlichen Investitionen (Basis Preisrecherche 2008) durchschnittlich betragen: (Annahme: Verbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 200.000 Mg/a; einfache Abgasreinigung (trocken)) - Baukosten: 4.500.000 EUR - Ausrüstung: 13.000.000 EUR - Nebenkosten, Finanzierung: 3.500.000 EUR (Annahme: Verbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 200.000 Mg/a; komplexe Abgasreinigung (nass)) - Baukosten: 7.500.000 EUR - Ausrüstung: 20.000.000 EUR - Nebenkosten, Finanzierung: 5.500.000 EUR Am Beispiel einer Trockensorption in verschiedenen Ausführungen belaufen sich die Investitionskosten auf ca. 8 Mio. EUR ((mit SNCR) – 12 Mio. EUR). Investitionskosten für SCR und SNCR Verfahren können sich wie folgt gestalten :

Tabelle 21: Investitionskosten für ein SCR und SNCR – Verfahren (Beckmann, 2011[33])

SNCR Verfahren	NO_x-Reingaskonzentration	mg/Nm³ tr.	200	150	100
	Investitionskosten	EUR	265.000	280.000	525.000
SCR Verfahren	NO_x-Reingaskonzentration	mg/Nm³ tr.	150	100	50
	Investitionskosten	EUR	2.280.000	2.308.000	2.365.000

[33] Beckmann: Beschreibung unterschiedlicher Techniken und deren Entwicklungspotentiale zur Minderung von Stickstoffoxiden im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen, Umweltbundesamt 2011, http://www.uba.de/uba-info-medien/4196.html

BETRIEBSKOSTEN

- laufende Kosten sind abhängig von den Marktpreisen der eingesetzten Materialien. Folgende Tabelle präsentiert Orientierungswerte für Betriebsmittel, die in Abhängigkeit des Marktes Schwankungen unterlegen sind.

Tabelle 22: Beispiele für spezifische Betriebsmittelkosten (Beckmann, 2011[2])

Parameter	Preis
Natriumbicarbonat (98 Ma.-% $NaHCO_3$)	230 EUR/Mg
Aktivkoks	420 EUR/Mg
Ammoniakwasser (25 Ma.-% NH_3)	100 EUR/Mg
Verdünnungswasser (Deionat)	4 EUR/Mg
Reststoff zur Entsorgung	135 EUR/Mg

- Reparatur- und Wartungskosten: für jedes Bauelement ca. 1 % der Anschaffungskosten; für Maschinen und Elektronik ca. 3–4 % der Anschaffungskosten
- Am Beispiel einer Trockensorption in verschiedenen Ausführungen belaufen sich die Betriebskosten auf ca. 1,5–2,3 Mio. EUR pro Jahr

MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN

- durch den Verkauf des bei der Abgasreinigung entstehenden Gipses und der Salzsäure (beides in gereinigter Form)

MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN

- in den Gesamtkosten, welche für die Abfallverbrennungsprozesse dargestellt sind, enthalten (siehe Datenblätter für die verschiedenen Verbrennungsprozesse „Industrielle Mitverbrennung“, „Rostfeuerung“, „Wirbelschichtverbrennung“)

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

- siehe Datenblätter für die verschiedenen Verbrennungsprozesse „Industrielle Mitverbrennung“, „Rostfeuerung“, „Wirbelschichtverbrennung“

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Beispiele für Anbieter von entsprechenden Anlagenkomponenten und Komplettlösungen für die Abgasreinigung sind:

- LAB GmbH, Stuttgart www.labgmbh.de
- MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik, München www.martingmbh.de
- ENVIROTHERM GmbH, Essen www.envirotherm.de
- Hitachi Zosen Inova Kraftwerkstechnik GmbH, Landsberg www.hz-inova.com
- Steinmüller-Babcock Environment GmbH, Gummersbach www.steinmueller-babcock.com

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Weitere Informationen und Auflistungen von relevanten Anlagen sind erhältlich durch die:

- ITAD – Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. www.itad.de
- CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants www.cewep.com

Umwelt Bundesamt

PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG AUS KOMMUNALEN KLÄRSCHLÄMMEN

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Weiterbehandlung von Klärschlammen aus der kommunalen Abwasserbehandlung und Klärschlammaschen aus der Monoverbrennung von Klärschlämmen zur Rückgewinnung von Phosphor als endliche Ressource

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	eventuell Überschussgülle, Tiermehl, phosphorhaltige organische Verbindungen			
Andere Abfallarten	X	Klärschlamme aus dem Prozess der kommunalen Abwasserbehandlung bzw. daraus bei der Monoverbrennung zurückbleibende Aschen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:

Damit der in Abwasserklärprodukten chemisch unterschiedlich gebunden vorliegende Phosphor rückgewonnen werden kann sind Vorbehandlungsschritte erforderlich. Da ein Großteil des Phosphors in gelöster Form vorliegt, muss vor allem ein partikulärer Zustand herbeigeführt werden, was durch chemische Fällung oder über biologische Aufkonzentration mittels phosphoraufnehmender Bakterien in der biologischen Stufe der Kläranlage erreicht werden kann. Mit den phosphatangereicherten Suspensionen kann im Sinne einer speziellen Extrahierung von Phosphor weiterverfahren werden. Voraussetzung für die Anwendung von Rückgewinnungsverfahren aus Klärschlammaschen ist die vorherige Monoverbrennung des Klärschlamms

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:

Die rückgewonnenen Phosphorverbindungen sind nach Reinigung und ggf. weiterer Aufbereitung relativ breit einsetzbar. Je nach Rückgewinnungsverfahren sind unterschiedliche Produkte für verschiedene Anwendungen möglich. Kalzium-Phosphate fallen bei nasschemischen sowie bei thermochemischen Verwertungen an. Sie werden durch Fällung oder Kristallisation gewonnen oder aber auch thermochemisch im Produkt auf konzentriert. Vorwiegend werden Kalzium-Phosphate als Langzeitdünger und somit als Mineraldünger-Substitut verwendet. Aluminium- und Eisen- Phosphate fallen bei nasschemischen Verfahren und thermochemischen Behandlungen an. Ihr Einsatz als Düngemittel ist jedoch limitiert. Überdies lassen sich auch reiner Phosphor als Industrieprodukt sowie Schwermetalle für die Zink- und Kupferverhüttung gewinnen

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten für Output-Material:

Klärschlamm kann in Mono- oder Co-Verbrennungsanlagen inertisiert werden, Restasche und sonstige Behandlungsreste sind wie Verbrennungsreste verwertbar bzw. auf Sonderabfalldeponie oder im Bergversatz abzulagern.

Besondere Schutzerfordernisse:

Beim Umgang mit Klärschlämmen besteht jederzeit ein Gesundheitsrisiko durch die hohe Keimbelastung der Abwässer. Je nach Verfahren besteht während des Prozesses der Phosphorrückgewinnung ein Risiko durch die gesundheitsgefährdende Wirkung der eingesetzten Betriebsstoffe. Zudem sind die entstehenden Produkte direkt gesundheitsgefährdend und teilweise leicht entzündlich und eutroph. Dementsprechende Vorsorge- und personelle Schutzmaßnahmen sind zu betreiben.

Mögliche Finanzierung:

Die gewinnbaren Phosphorverbindungen sind düngefähige Produkte mit zumeist guter Pflanzenverfügbarkeit, so dass die Anlagen teilweise über deren Vermarktung refinanzierbar sind. Außerdem stellen Gebührenhaushalte zur Erfassung und Behandlung der kommunalen Abwässer eine weitere Finanzierungsoption dar. Gelegentlich sind auf europäischer und ggf. nationaler Ebene Fördermodelle existent, welche die Phosphorrückgewinnung in ihrer Entwicklung und Durchführung finanziell stützen können.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Ansatzpunkte der Rückgewinnung:
Potenziale, Aufwand und Effizienz der Phosphorrückgewinnung differieren u.a. in Abhängigkeit vom Ansatzpunkt der Behandlung. Orientierend hierfür sind u.a. folgende Eckwerte:

Tabelle 23: Eckwerte zur Phosphorrückgewinnung (aus TBF + Partner AG, Zürich 2015 / empirische Daten UBA)

Entnahmeort	Phosphorfracht (*relativ zu Zulauffracht*)	Phosphorkonzentration	wie vorliegend
Ablauf	10 %	< 0,8 mg P/l	gelöst und partikulär
Schlammwasser	Bei Fällung: < 5 % BioP: bis 50 %	< 20 mg P/l bis 400 mg P/l	gelöst und partikulär
Faulschlamm (bei 30 % TR)	90 %	>10–ca. 20 g P/kg Schlamm	biologisch und chemische gebunden
Asche	90 %	ca. 60 g P/kg Asche	chemisch gebunden

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Anlagen zur Phosphorrückgewinnung sollten möglichst in der Nähe der Anfallstellen der Klärschlämme errichtet werden, um den Logistikaufwand so gering wie möglich zu halten. Für den Betrieb der Anlagen ist ein Zugang zum Stromnetz wichtig. Zudem sind entsprechende Lagerflächen für die Stoffströme zu bemessen.

Klimatische Gegebenheiten:
ohne Einfluss

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Im Klärschlamm ist der Phosphor chemisch und auch biologisch gebunden. Bei der Aufbereitung der Klärschlämme zur Phosphorrückgewinnung haben sich, neben weiteren in Entwicklung befindlichen Ansätzen, bisher drei Möglichkeiten praktisch durchgesetzt. Dies sind

- Fällung und Kristallisation direkt aus Schlammwasser oder Faulschlamm (z. B. AirPrex®-Verfahren)
- die nasschemische Aufbereitung und der Aufschluss des Klärschlammes oder der Klärschlammasche mit Säuren oder Laugen (z. B. Seaborne-Verfahren);
- die thermochemische Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammasche

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

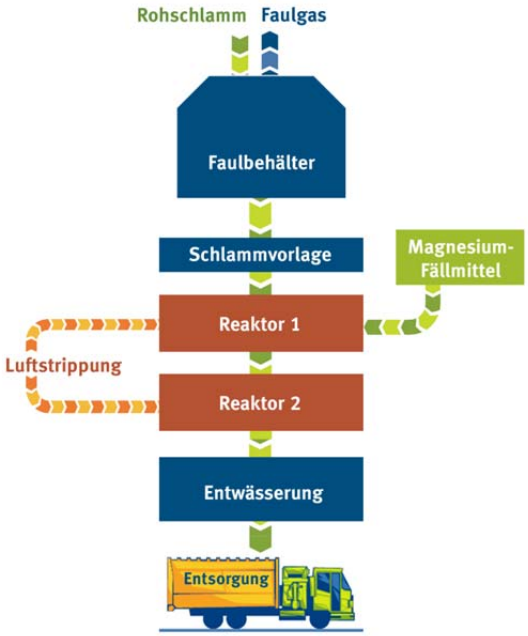
- Phosphor liegt im Zulauf zur Kläranlage teilweise als Phosphat gelöst und teilweise biologisch und chemisch gebunden vor. Der partikuläre Phosphor kann per Sedimentation erfasst werden. Ein Großteil des Phosphors liegt allerdings in gelöster Form vor. Da eine Phosphorelimination grundsätzlich angezeigt ist, muss auch dieser zuerst in eine partikuläre Form übergeführt werden, was durch chemische Phosphat-Fällung durch Zugabe von Fällungsmitteln oder durch biologische Phosphat-Fixierung durch überdurchschnittliche Phosphoraufnahme spezialisierter Bakterien in der biologischen Stufe der Kläranlage erreicht werden kann. Die so gewonnenen Schlammsuspensionen können je nach Rückgewinnungsverfahren vor bzw. nach der Faulung oder nach der Trocknung im Sinne einer Extrahierung von Phosphor behandelt werden.
- Im Falle der Anwendung von Rückgewinnungsverfahren aus Klärschlammaschen bedarf es der vorherigen Monoverbrennung des Klärschlamms und ggf. der Brikettierung oder Pelletierung der Aschen.

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- Es findet eine substanzielle Phosphorentfrachtung der Klärschlämme bzw. Verbrennungsrestprodukte bei gleichzeitiger Gewinnung industriell nutzbaren Phosphors bzw. düngefähiger Phosphate statt. Eine endliche Rohstoffressource wird geschont.
- Phosphorfrachten in kommunalen Kläranlagen haben, nachdem phosphatfreie Waschmittel weitestgehend im Markt angekommen sind, größtenteils ihren Ursprung in menschlichen Fäkalien. Damit sind rückläufige Phosphorfrachten im Abwasser nicht mehr zu erwarten.

BESONDERE VORTEILE	- Mit den genannten Verfahren der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm kann der direkte Einsatz der Klärschlämme als Dünger, welcher aus mehreren Gründen nicht zielführend ist (u.a. Gehalte von gefährlichen, grundwassergefährdenden und endokrin wirksamen Substanzen, eingeschränkte Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen) verzichtbar gemacht werden. Die angesprochenen Verfahren liefern alle düngefähige Produkte, deren Schadstoffbelastungen geringer sind (u.a. weniger Cadmium und Uran) als bei konventionellen Mineraldüngern, die aus Rohphosphat sedimentären Ursprungs hergestellt wurden. - Ein wesentlicher Vorteil der Rückgewinnung betrifft die deutlich verbesserte Entwässerbarkeit des Klärschlammes im weiteren Behandlungsprozess. - Die Installationen zur Phosphorrückgewinnung sind teilweise leicht nachzurüsten und in den Abwasser- bzw. Klärschlammbehandlungsprozess integrierbar. Zudem sind die Installationen nicht nur für Klärschlämme geeignet sondern es lassen sich andere Phosphorpotenziale damit ansprechen. - Bei dem thermischen Verfahren erfolgt eine simultane energetische und stoffliche Nutzung des Klärschlamms, außerdem eine nachhaltige Zerstörung der organischen Schadstoffe.
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- Die Phosphorrückgewinnungsraten der einzelnen Verfahren unterscheiden sich teils stark. - Bestimmte Inkompatibilitäten mit anderen Prozessanwendungen sind möglich. - Die Bau- und Betriebskosten differieren stark und können abhängig von der Art der Anlage sehr hoch sein, einige Verfahren sind nur in Kombination mit spezifischen Anlagen anwendbar. Die Verfahrensführung ist meist relativ aufwändig. - Langfristig belastbare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren lassen sich noch nicht treffen, die gesammelten Erfahrungen sind bislang erst gering und eher pilothaft.
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Eine Phosphorrückgewinnung lässt sich innerhalb verschiedener Phasen der Behandlung von Abwässern in und aus kommunalen Kläranlagen integrieren. Üblicherweise ist der Großteil der Phosphorfracht in den anfallenden Klärschlämmen eingebunden, weshalb sich großtechnische Verfahren aktuell auf die Rückgewinnung von Phosphor aus diesem Medium konzentrieren. Die chemische Bindungsform und Konzentration des Phosphors in den zu behandelnden Medien ist von großer Bedeutung für den erforderlichen Aufwand und eine entsprechend hohe Rückgewinnungsrate. Mehrere Pilotprojekte haben die großtechnische Machbarkeit verschiedener Rückgewinnungsansätze grundsätzlich bestätigt, sind aber bislang nicht zur Markteinführung gelangt. Daher ist darauf hinzuweisen, dass Unternehmen und Verfahren mit der Aussicht eine Phosphorrückgewinnung ökonomisch realisieren zu können derzeit erst in geringer Zahl existieren. Im Folgenden wird auf Verfahren zur Phosphorrückgewinnung eingegangen die bereits vom Pilotanlagenstadium in Anwendungen mit stabiler Betriebsweise überführt wurden. <u>Phosphorrückgewinnung aus Faulschlämmen durch Fällung und Kristallisation im Kläranlagenprozess</u> Fällungs- und Kristallisationsverfahren lassen sich nur auf die gelöst vorliegende P-Fraktion anwenden. Daher kann es prozessabhängig zu Inkompatibilitäten mit einer Phosphorelimination mittels Eisen- und Aluminiumsalzfällung kommen. Bereits längerfristig erfolgreich praktiziert wird diese Art der Phosphorrückgewinnung aus entwässerten Faulschlämmen mittels folgender zwei Verfahren. **AirPrex®-Verfahren:** Das Verfahren beruht auf der Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) und wurde ursprünglich von den Berliner Wasserbetrieben (BWB) entwickelt, um MAP Inkrustationen in Rohrleitungen zu verhindern. Dabei wird der Faulschlamm aus dem Faulturm in ein zweistufiges Reaktorsystem gegeben und einer Luftstrippung unterzogen. Durch das Ausgasen von CO_2 steigt der pH-Wert deutlich an. Die gleichzeitige Zugabe von Magniesium-Fällsalzen führt zur Bildung und Ausfällung von MAP-Kristallen, welche in einer späteren Stufe aus dem Schlamm abgetrennt werden können. Nach einer anschließenden Aufbereitung kann MAP als Düngeprodukt für u.a. die Landwirtschaft vermarktet werden. Die nachfolgende Abbildung stellt das Verfahren vereinfachend dar:

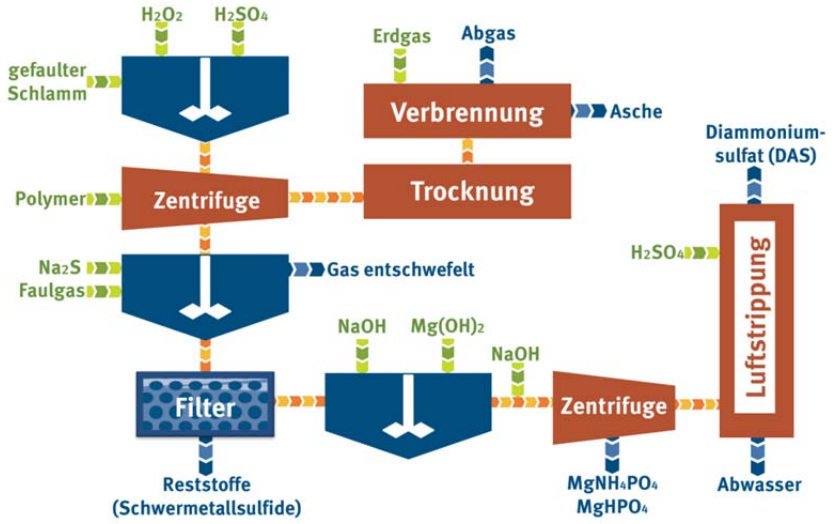
Abbildung 26. Grundkonfiguration für das AirPrex®-Verfahren (Darstellung nach BAFU, 2009)



In Berlin wird – je nach Belüftungsaufwand – zwischen 3.5 % und 8 % des Phosphors der Zulauffracht zur Kläranlage zurückgewonnen

Seaborne-Verfahren:
Dieses Verfahren wird an der Kläranlage Gifhorn in Niedersachsen erfolgreich praktiziert. Es handelt sich um ein relativ komplexes und aufwendiges Verfahren. Der Klärschlamm wird dabei mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2) unter Zugabe von Schwefelsäure hydrolysiert. Als nächster Schritt erfolgt eine Entwässerung mittels Zentrifuge, wobei sich der Phosphor und die Schwermetalle nun überwiegend im Zentrat befinden. Durch eine sulfidische Fällung werden die Schwermetalle entfernt und der Phosphor wird unter Erhöhung des pH-Wertes durch Zugabe von Magnesium und Natronlauge zu MAP gefällt. Das MAP wird anschließend zentrifugiert und getrocknet. In einer weiteren Stufe wird unter Luftstrippung und Schwefelsäurezugabe Diammoniumsulfat (DAS) gefällt, um die NH_3-Belastung im verbleibenden Abwasser zu minimieren. Ein vereinfachtes Verfahrensschema ist in folgender Abbildung dargestellt:

Abbildung 27: Verfahrensschema Seaborne-Verfahren (Darstellung nach BAFU, 2009)



Großtechnisch auf gutem Weg und daher ggf. in Zukunft ebenfalls zu beachten sind auch Verfahren wie Ostara Pearl®, NuReSys® oder Fix-Phos.

Verfahren zur Rückgewinnung aus Klärschlammaschen

Die hier vorzustellenden Verfahren basieren ausschließlich auf der Behandlung von Aschen aus der Monoverbrennung von Klärschlamm. Grundsätzlich sind zwei Methoden zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen in Anwendung. Hierbei handelt es sich einerseits um die nasschemische Aufbereitung und zum anderen um die thermische Extraktion. In den Aschen ist der Phosphor chemisch in Form von Eisen-, Aluminium- und Calciumphosphaten gebunden, wobei Calciumphosphate die Hauptverbindungsform bilden. Der Gehalt an Phosphor in den Aschen beträgt in etwa 5–10% (durchschnittlich 64 g pro kg Asche). Im günstigen Fall können Rückgewinnungsraten von bis zu 90% erreicht werden.

Nasschemische Aufbereitung:
Hier wird der Phosphor mittels eines Eluierungsverfahrens mit z.B. Schwefelsäure aus den Aschen in Lösung gebracht. Problematisch ist dabei der Anteil an Schwermetallen, welcher mit in Lösung geht. Diese können jedoch anschließend z.B. als Sulfide ausgefällt und von dem gelösten Phosphor abgetrennt werden. Abhängig vom pH-Wert fällt der Phosphor während der Neutralisation der sauren Elution als Eisen-, Aluminium- und Calciumphosphat aus. Letzteres ist eines der Hauptprodukte der nasschemischen Aufbereitung, da zur Neutralisation der Elutionen häufig Calciumhydroxid (Kalkmilch) verwendet wird. Großtechnisch auf gutem Weg und daher ggf. in Zukunft beachtenswert sind als Säureaufschlussverfahren das Stuttgarter Verfahren sowie der Budenheim Carbonic Acid Process und das Tetraphos-Verfahren.

Thermische Extraktion:
Hierzu lassen sich zwei Verfahren beschreiben, die sich im Laufe der Zeit von Pilotversuchen zu Verfahren entwickelt haben, welche industriell zur Anwendung gelangen.

ASH DEC (Outotec)-Verfahren:
Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Separation der Schwermetalle und einem phosphorreichen Produkt, welches als landwirtschaftlicher Dünger verwendet werden kann. Die Asche wird mit Alkali- und /oder Erdalkalichloriden in einem Intensivmischer homogenisiert und pelletiert. Zusammensetzung und Dosierung der Additive sind wesentliche Parameter dieses Prozesses, da sie für die Überführung der Calcium- aber auch Aluminiumphosphate in lösliche Phosphatverbindungen entscheidend sind. Die folgende Abbildung zeigt die ursprüngliche Pilotanlage dieses Verfahrens.

Abbildung 28: ASH DEC (Outotec)-Pilotanlage Leoben in Österreich, 2008 (Foto: Outotec GmbH & Co. KG)

	Klärschlammpellets werden in einen Thermoreaktor aufgegeben und bis zu 30 Minuten bei einer Temperatur von etwa 1.000 °C behandelt. In dieser Zeit reagieren bis zu 99 % der Schwermetalle, insbesondere die toxischen Stoffe Quecksilber, Cadmium und Blei mit den Additiven und verdampfen. Weitere Schwermetalle, die in verträglicher Dosis als Spurennährstoffe wirken, werden ebenfalls bis auf die erwünschten Betriebswerte oder gesetzlich einzuhaltenden Grenzwerte abgeschieden. 97 % der eingesetzten Asche wird als phosphorreiches Granulat ausgetragen. Die restlichen 3 % der Asche werden in einer mehrstufigen Rauchgasreinigungsanlage aufgefangen und können als verwertbares Metallkonzentrat weiterverwendet werden. Nachteil dieses Verfahrens ist der besonders hohe Energieaufwand. **Mephrec®-Verfahren:** Dieses metallurgische Verfahren erlaubt die Rückgewinnung von Phosphor als fertiges Düngeprodukt. Hier wird nur gering getrockneter Klärschlamm (z.B. 25 % TS) allein oder in Mischung mit beispielsweise Klärschlammaschen oder Tiermehl mit entsprechenden P_2O_5-Gehalten brikettiert und unter reduzierenden Bedingungen bei Temperaturen bis zu 2.000 °C einer Schmelzvergasung in einem Schachtofen unterzogen. Die entstehende Schlacke wird in einem Wasserbad granuliert und kann wie oben beschrieben als phosphorreiches Düngeprodukt verwertet werden. Hoch schmelzende Schwermetalle finden sich in der abstechbaren Metalllegierung wieder, wohingegen niedrig schmelzende Metalle wie (Zink, Cadmium, Quecksilber) verdampfen und in einer Rauchgasreinigungsanlage abgeschieden werden.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	- Verfahrensabhängig unterschiedlich. Der Fachpublikation “Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland“ [1] vom September 2013 können folgende Orientierungswerte entnommen werden: - Bei einem Input von 100m³/h liefert das AirPrex®-Verfahren 2 Mg MAP/Tag - Aus 120 m³/Tag Faulschlamminput fällt das Seaborne-Verfahren durchschnittlich 1,3 Mg MAP/Tag, was einer jährlichen Phosphormenge von ca. 60 Mg entspricht. - Nasschemische Verfahren mit dem Fällungsprodukt MAP ermöglichen eine Rückgewinnung von rund 40% bis 70% des im Kläranlagenzulauf enthaltenen Phosphors. - Thermisch-metallurgische Verfahren ermöglichen nahezu eine vollständige Rückgewinnung (›90%) des im Kläranlagenzulauf befindlichen Phosphors. - Das thermochemische Verfahren der Firma Outotec (ehemals ASH DEC) generierte im Rahmen des EU-Projektes SUSAN bei einem Input von 12.000 Mg/a Klärschlammasche, basierend auf einem Phosphoranteil im Kläranlagenzulauf von rund 9%, in etwa 10.000 Mg/a an Phosphordünger. - Das Mephrec®-Verfahren der Firma Ingitec aus Bayern liefert als metallurgisches Verfahren 12.000 Mg/a an Phosphorasche aus ca. 60.000 Mg/a Klärschlamm (25% TS). Die damit letztlich realisierbare Phosphorsubstitution beläuft sich auf ca. 500 Mg/a. * *Umrechnung der Phosphoranteile von P_2O_5 = 43,64% und MAP = 12,62%*
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	- Die Verfahren sind in den Gesamtprozessablauf von kommunalen Kläranlagen gut integrierbar und können bei entsprechender Anlagennachrüstung bzw. Zusatzinstallation auch unmittelbar am Kläranlagenstandort realisiert werden. - Als empfehlenswerte Entsorgungsoption für anfallenden Klärschlamm kann die Monoverbrennung mit der Phosphorrückgewinnung gekoppelt und somit simultan umgesetzt werden. Der Verbrennungsprozess kann auch für die Rückgewinnung benötigte Energie liefern.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	- Der Energiebedarf bei der Phosphorrückgewinnung kann verfahrensabhängig erheblich sein. Beim ASH DEC Verfahren ist der Energieverbrauch mit 400–850 kWh/t Asche angegeben. Die Gewinnung der Energie kann mit der Klärschlammverbrennung erfolgen.

PERSONALBEDARF	- Zum Betrieb von Phosphorrückgewinnungsanlagen ist qualifiziertes Personal, speziell für die Bereiche Betriebsleitung und Prozessüberwachung erforderlich. Der genaue Personalbedarf ist abhängig von der Anlagengröße und dem Grad der Automatisierung. - Im Regelfall kann ein Großteil der Abläufe mit von geschultem Kläranlagenpersonal getätigt werden.
BENÖTIGTE HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- Je nach Verfahren verschiedene chemische Zusatzmittel zur Fällung sowie Extraktion der Phosphoranteile, wie mit Beispielen in den Verfahrensbeschreibungen angegeben.
FLÄCHENBEDARF	- Ist verfahrensabhängig. Kristallisations- und Fällungsverfahren weisen generell einen geringen Platzbedarf auf. Im Gegensatz dazu sind Säureaufschlussverfahren platzintensiv. - Der Platzbedarf hängt zudem mit dem behandelten Substrat zusammen. Je geringer der zu behandelnde Volumenstrom, desto geringer sind auch die benötigten Reaktorvolumina und damit auch der Platzbedarf. - Installationen können oft am Kläranlagenstandort integriert werden.
NACHSORGEAUFWAND	- Restprodukte der Verfahren, also Klärschlamm und Restasche sind gemäß der hierfür vorhandenen Standards weiter zu behandeln und zu entsorgen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	- Sehr variabel. Bei der in Gifhorn (D) mit einer täglichen MAP-Produktion von 1,3–1,8 Mg/Tag errichteten Referenzanlage (Seaborne-Verfahren, s.o.) betrug der Investitionsaufwand im Jahr 2007 7,6 Mio. EUR. Davon entfielen ca. 4 Mio. EUR auf die Anlagentechnik und deren Ausrüstung. - Beim nasschemischen Aufschluss von Klärschlammaschen wird ein Investitionsvolumen von 11 Mio. EUR bei einer jährlichen Aschebehandlung von 15.000 Tonnen angesetzt. - Der bekannte Investitionswertebereich für Phosphorrückgewinnungsanlagen bewegt sich in einer Spanne von 6–20 Mio. EUR (basierend auf diversen Angaben/Quellen bis ca. 2014).
BETRIEBSKOSTEN	- Für die meisten Verfahren sind die Betriebskosten bzw. die Kosten für die benötigten Chemikalien die wesentlichen Kostentreiber. Generell sind diese Kosten noch vergleichsweise hoch und zumeist mit marktgängigen Phosphoreinkaufspreisen nicht konkurrenzfähig. - Für das Fällen von MAP werden die Prozesskosten bei etwa 3–4 EUR/kg P angesiedelt. - Für die nasschemische Aufbereitung werden aufgrund des hohen Verbrauches an Chemikalien sogar jährliche Betriebskosten von bis zu 5,80 EUR/kg gelöstem Phosphor berichtet - (basierend auf diversen Angaben/Quellen bis ca. 2010). Durch fortlaufende Prozessoptimierungen lassen sich inzwischen jedoch teilweise deutlich reduzierte Kosten realisieren.
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- Durch Vermarktung der erhaltenen Rückgewinnungsprodukte (meist düngefähige Phosphate). Für geplante ASH DEC-Anlagen wurden Beträge zwischen 4–12 Mio. EUR als Jahreserlös erwartet.

MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- Aufgrund der noch jungen großtechnischen Erprobung und geringen Erfahrungen bei der Umsetzung im Dauerbetrieb sind die Rückgewinnungskosten noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Generell sind die Rückgewinnungskosten der Kristallisations- und Fällungsverfahren niedriger als jene für Säureaufschlussverfahren bei der thermochemischen Rückgewinnung. Insgesamt liegen die Rückgewinnungskosten deutlich höher als die Kosten für konventionellen Phosphordünger. - Für die Beurteilung der Gesamtbilanz bei der Phosphorrückgewinnung sind neben den reinen Verfahrenskosten aber auch Einsparungen zu berücksichtigen, welche sich aus dem Einsatz des Verfahrens für die Kläranlage ergeben. Durch die Berücksichtigung der möglichen Einsparungen können die an sich sehr teuren thermochemischen Aufschlussverfahren die tiefsten Rückgewinnungskosten erreichen. Dabei spielt insbesondere die Einsparung von Klärschlammentsorgungskosten eine entscheidende Rolle.

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Für folgende Anlagen in Deutschland ist lt. Quelle [1] bisher eine Nutzung von Phosphorrückgewinnungstechniken im Regelbetrieb bekannt bzw. avisiert. - Kläranlage Gifhorn (Seaborne-Verfahren, MAP-Fällung), seit 2007 - Kläranlage Waßmannsdorf, Berliner Wasserbetriebe (AirPrex-Verfahren) - Kläranlage Offenburg, Baden-Württemberg (Stuttgarter-Verfahren) - Klärwerk 1, Stadt Nürnberg (Mephrec-Verfahren, Schmelzvergasung Klärschlammbriketts – aktuell noch in Planungsphase) An weiteren Anlagen befinden sich (teilweise auch alternative) Verfahren derzeit im Versuchsstadium (u.a. Hildesheim/Fix-Phos, Kläranlage Rastatt/PHOSIEDI).
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Technologie- und Verfahrensentwickler der beschriebenen Ansätze zur Phosphorrückgewinnung sind u.a.: Seaborne -Verfahren: - Oxytabs (ehemals Seaborne), D-24768 Rendsburg AirPrex®-Verfahren: - Polution Control Service GmbH, D-22143 Hamburg www.pcs-consult.de Mephrec®-Verfahren: - Ingitec®Engineering GmbH, D-04178 Leipzig www.ingitec.de ASH DEC-Verfahren: - Outotec GmbH & Co. KG www.outotec.com/en/About-us/Acquisitions/ASH-DEC/

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Weitere unterstützende Detailinformationen und Einblicke zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm sind u.a. erhältlich über:

- Publikation "Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland" vom September 2013; Quelle [1] http://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/klaerschlammentsorgung-in-bundesrepublik
- Forschungsbericht "Phosphorrecycling – Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für Deutschland" vom November 2011 http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/n/de/publikationen/Abschlussbericht_PhoBe-1.pdf
- Bericht zur großtechnischen Anwendung der Seaborne-Technologie auf der Kläranlage Gifhorn, September 2012 http://www.asg-gifhorn.de/docs/abschlussbericht_seaborne_technologie_gifhorn.pdf
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), www.dwa.de; u.a. DWA-Bibliothek: http://www.dwa.de/dwa/sitemapping.nsf/literaturvorschau?openform&bestandsnr=48447

Zwischenlagerung und Deponierung von Abfällen

Die traditionelle und nach wie vor weitverbreitete Praxis der Endablagerung von Abfällen auf Deponien wird in den abfallwirtschaftlich fortgeschrittenen Ländern Europas zunehmend durch moderne Abfallbehandlungsmethoden mit anschließender Verwertung und einem relativ geringen Verbleib an abzulagerndem Restmaterial abgelöst. Dieser Umschwung hin zu thermisch und biologisch unterstützten Abfallverwertungsverfahren ist mit einer verstärkten Nutzung des Energiegehaltes im Abfall, der höchstmöglichen Ausschleusung recycelbarer Stoffe und einem reduzierten Anfall an noch abzulagernden Resten verknüpft. Die Abkehr von der Abfalldeponierung ist ein notwendiger Schritt für ein wirkliches nachhaltiges Abfallwirtschaftsmodell, bedarf allerdings eines konsequenten Kreislaufdenkens und einer strengen Abfallgesetzgebung einschließlich ihrer strikten Umsetzung. Die Deponierichtlinie der Europäischen Union, welche für die Mitgliedsstaaten zum tragenden Stützpfeiler für dieses Vorgehen wurde, legt zum Beispiel fest, dass biologisch abbaubare Abfallbestandteile schrittweise bei der Deponierung reduziert werden und aller Abfall eine Vorbehandlung durchlaufen muss, bevor eine Ablagerung überhaupt in Betracht kommt. In der erweiterten Perspektive ist darüber hinaus auch eine möglichst weitgehende Reduzierung der Abfallablagerung avisiert, was heißt, dass alle Bemühungen zukünftig darauf ausgerichtet werden müssen, den Gesamtumfang der Abfallerzeugung zu verringern und alle entstehenden Abfälle so zu behandeln, dass eine weitest gehende Verwertung dieser möglich wird.

Als direkte Konsequenz aus dieser Vorgabe werden Abfälle in immer größerem Umfang für eine anschließende stoffliche oder energetische Nutzung aufbereitet. Hierfür sind ausreichende Kapazitäten zur Behandlung und Verwertung der Abfälle bereitzustellen. So es hierbei zeitweilig zu Engpässen kommt, Liefermengen oder Behandlungsprodukte vorrübergehend von regulär vorgehaltenen Lagern nicht aufgenommen werden können, kann eine Zwischenlagerung erforderlich werden.

Selbst bei einer stetig steigenden Behandlungs- und Verwertungsintensität für Abfälle und der Tatsache, dass immer weniger dieser Stoffe als nicht nutzbarer Rest übrigbleiben, wird auch in Zukunft die Notwendigkeit einer geordneten Ablagerung zur sicheren und kontrollierbaren Verwahrung von Abfallstoffen und -resten gegeben sein. Damit dem unterschiedlichen Bedarf an Ablagerungsaufwand und -sicherheit entsprochen werden kann wurden drei Deponiekategorien als Standard festgeschrieben, den die europäischen Länder einzuhalten haben.

Die erste Kategorie bildet die Deponie für nicht gefährliche Abfälle, wie z.B. für Restmüll aus Haushaltungen und Gewerbe ohne erhöhte Konzentrationen an giftigen oder potentiell umweltschädigenden Substanzen. Dieser Deponietyp steht für die meistgenutzte technische Variante zur Ablagerung von Haushalts- und Gewerbeabfällen bzw. Reststoffen die nach der Behandlung dieser Abfälle verbleiben.

Auch die Behandlung von Abfällen, die insbesondere die biologisch aktiven Substanzen dabei erfahren haben sollten, können die Bildung klimaschädlicher Gase und die Entstehung von Sickerwässern im Deponiekörper nicht vollständig ausschließen. Aus diesem Grund müssen Deponieanlagen immer mit den entsprechenden technischen Vorkehrungen und Schutzmaßnahmen ausgestattet werden, um einen Übertritt dieser Emissionen und anderer umweltrelevanter Stoffe in die Atmosphäre bzw. in das Grundwasser zu verhindern. Außerdem sind immer auch Maßnahmen der Nachsorge über einen Zeitraum von wenigstens 30 Jahren zu veranlassen und durchzuführen.

Die zweite Deponiekategorie sind die Inertstoffdeponien. Diese Deponieart dient ausschließlich der dauerhaften Ablagerung von mineralischen Abfällen oder Stoffen die inerte Eigenschaften aufweisen und frei von umweltrelevanten Schadstoffkonzentrationen sind. In Frage kommen hierbei insbesondere Materialien wie Bodenaushub, Abraum aus Bergbauaktivitäten und Bau- und Abbruchabfälle mit hauptsächlich inertem Charakter (z.B. Steine, Beton, Ziegel, Sand und Vermischungen davon).

Die dritte Deponiekategorie ist die Deponie für gefährliche Abfälle. Dieser Deponietyp ist Abfallstoffen vorbehalten, bei denen von einem erhöhten Risiko für Umweltbelastungen ausgegangen werden muss da hohe Gehalte an umweltgefährdenden Substanzen vorliegen. Aus diesem Grund sind mit der Errichtung und dem Betrieb solcher Deponien spezielle Sicherheitsvorkehrungen und Nachsorgeauflagen verbunden. So müssen Deponien für gefährliche Abfälle besondere Anforde-

rungen an den Standort/Untergrund, eine doppelte Basisabdichtung und weitere Systeme zum Schutz von Boden, Grundwasser und Atmosphäre vor übertretenden Stoffen aufweisen. Zudem gibt es Kontroll- und Nachsorgeauflagen. Einen kompletten Katalog an Vorkehrungs- und Schutzmaßnahmen liefert die europäische Richtlinie. Sie legt auch fest, dass alle als gefährlich geltenden Abfälle, die zu solchen Anlagen verbracht werden, hinsichtlich ihrer Herkunft und des Transportweges zu dokumentieren sind. Annahmekriterien sind dezidiert festgelegt, um jedwedes Risiko durch unbekannte Einflüsse bei der Ablagerung auszuschließen.

Als Grundsatz gilt, dass jede Deponie nur die Abfälle zur Ablagerung bringen darf, für die sie errichtet und zugelassen wurde. Auf keiner der drei genannten Deponiearten dürfen Abfälle abgelagert werden

- die flüssig sind,
- die leicht entflammbar und brennbar sind,
- die zur Explosion oder starken chemischen Reaktionen neigen,
- die aus dem medizinischen Bereich oder Krankenhäusern stammen und infektiös sind,
- aus Altreifen bestehen und
- die zu den Stoffen zählen, für die gesetzliche Regularien eine Deponierung ausdrücklich untersagen.

Zu den speziellen Behandlungsverfahren und Behandlungstechnologien, die unmittelbar vor einer Ablagerung auf Deponien angewandt werden können, um die geforderten Annahmekriterien zu erfüllen, gehören die Stabilisierung/Verfestigung und Neutralisation von schadstoffhaltigen und schadstofffreien Schlämmen, Böden, Emulsionen, Flüssigkeiten, Pulvern und Stäuben. Eine Vielzahl rechtlich geschützter Stabilisierungsmethoden wird auch auf schwermetallhaltige Abfälle angewandt um diese in ein unlösliches Festprodukt umzuwandeln welches sicher auf Deponien zur Ablagerung kommen kann. Diese Behandlungsmethoden sind jeweils als Spezialfälle für besondere Arten von Abfällen anzusehen und werden daher in dieser Dokumentation nicht weiter dargestellt.

Hinweis: Detaillierte Beschreibungen der im Text angesprochenen Technologien und Ausrüstungen sind in den nachfolgend aufgelisteten Kapiteln enthalten.

Tabelle 1: Übersicht der auch in separaten Informationsabschnitten und Datenblättern behandelten Technologien und Ausrüstungen

Datenblätter
Zwischenlagerung
Zeitweise Abfallzwischenlagerung
Deponierung
Inertstoffdeponien
Deponien für nicht gefährliche Abfälle
Deponien für gefährliche Abfälle

ABFALLZWISCHENLAGERUNG

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Ziel ist die zeitweise Lagerung von Abfällen die einer Weiterbehandlung bedürfen zum Zwecke der Überbrückung von Kapazitätsengpässen in den betreffenden Behandlungsanlagen (Langzeitzwischenlager) bzw. bei Anlagenrevisionen oder -ausfällen (Kurzzeitzwischenlager)

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X[1]
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X				
Andere Abfallarten					

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Das zu lagernde Material ist zu zerkleinern bzw. erfährt eine entsprechende Behandlung im Rahmen der vorgeschalteten Behandlungsprozesse (bspw. MBA)

Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:
entsprechend des weiteren Entsorgungsweges für welchen die Zwischenlagerung erfolgte

Erfordernisse der Nachsorge:
Wiederherstellung des Ausgangszustandes der genutzten Lagerfläche

Besondere Schutzerfordernisse:
- Luft- und feuchtedichte Umwicklung des Abfallmaterials
- Überwachung des abgelagerten Materials auf Gasbildung und Temperaturentwicklung
- Durchführung von Untergrundabdichtung und Brandschutzmaßnahmen

Von der Lagerung in aufgeschütteten Mieten sowie nicht folienumwickelten Ballen ist grundsätzlich abzuraten, da eine erhöhte Brandgefahr aufgrund des möglichen Sauerstoffeintrags besteht!

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
eine gute Zugänglichkeit des Standortes sollte gewährleistet sein,
geordnete Deponiestandorte erfüllen in der Regel alle Voraussetzungen insbesondere für die Lagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle,
eine Mindestanforderung für Folienballenlager ist das Vorhandensein einer untergrundstabilen, befestigten Fläche

Klimatische Gegebenheiten:
prinzipiell keine Einschränkungen jedoch besteht bei Lagerung auf Flächen mit intensiver Sonnenbestrahlung bzw. in warmen Klimaten eine erhöhte Selbsterhitzungs- und Brandgefahr

Beschäftigungspotenziale:
ein besonderer Bedarf an speziell qualifiziertem Personal besteht nicht

---

[1] nur für zerkleinerten Sperrmüll geeignet

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Zwischenlager sind bei nicht ausreichenden Behandlungskapazitäten infolge von Anlagenausfällen, Revisionen oder anderweitigen Kapazitätsengpässen erforderlich. Im Regelfall können Zwischenlager für Massenabfälle, wie nicht vorbehandelte Siedlungsabfälle bzw. heizwertreiche Abfälle, notwendig werden. Grundsätzlich bewährt hat sich die Lagerung in Folienballen, sie wird deshalb nachfolgend detaillierter beschrieben.

Statt einer Ballierung können unvorbehandelte Siedlungsabfälle auch im Dünnschichteinbau auf vorschriftsmäßigen Deponieflächen zwischengelagert werden. Da die Vorgehensweise der Einlagerung auf einer Deponie ähnelt, wird hierfür auf die Beschreibung im entsprechenden Datenblatt (siehe Datenblatt "Deponie für nicht gefährliche Abfälle“) verwiesen.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

- befestigte Fläche mit Sickerwasserfassung oder vorschriftsmäßige Deponiefläche
- Abfallmaterial in einem verdichtungsfähigem, nicht sperrigen Zustand

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- Output: Abfälle die sich zur weiteren Behandlung (z.B. unvorbehandelte Siedlungsabfälle oder thermischen Verwertung (z.B. heizwertreiche Abfälle) eignen

BESONDERE VORTEILE

- Fremdentsorgung in Drittanlagen kann vermieden werden

SPEZIFISCHE NACHTEILE

- Zusatzkosten
- Flächenbedarf
- Beeinträchtigung der Verwertungsqualität bei heizwertreichen Abfällen möglich, Nachaufbereitung erforderlich

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Tabelle 1: Unterschiede in der technische Umsetzung der Abfallzwischenlagerung

Rundballen	Rechteckballen
Balleneigenschaften	
- Bessere Kompaktierung - besser Schutz der Außenflächen durch Geotextilwicklung - Lagerung und Transport aufgrund runder Form schwieriger - leichter zu öffnen - Gewicht: 400–1.450 kg/Ballen	- Lagerung und Transport unkompliziert - Stabilität geringer, da nur Drahtwicklung, Außenfestigkeit nur durch Folienwicklung
Maschinentechnik	
- Wickeltechnik - Mobil - robust, geringer Verschleiß - Energieverbrauch: ca. 1,5 kWh/Ballen - 20–35 Ballen/h - keine Einhausung erforderlich	- Kanalpresse - Immobil - hoher Verschleiß - Energieverbrauch: ca. 15 kWh/Ballen - 20–30 Ballen/h - Einhausung notwendig

Die Ballierung des Materials kann am Entstehungsort oder alternativ am Zwischenlager erfolgen. Das Material muss vorzerkleinert sein. Das Material kann sowohl zu Rundballen gewickelt als auch zu Rechteckballen gepresst werden. Für den Schutz gegen nicht auszuschließende geringe Sickerwassermengen muss insbesondere bei Langzeitlagern (› 1 Jahr) die Lagerfläche mit einer Asphalttragschicht o.ä. befestigt werden. Dies gewährleistet zudem die Befahrbarkeit auch bei schlechten Witterungsverhältnissen. Alternativ kann die Lagerung auf einer Deponiefläche mit Sickerwasserfassung (siehe Datenblatt "Deponie für nicht gefährliche Abfälle“) erfolgen.

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG	Die Sickerwasserfassung auf der Tragschicht erfolgt über Entwässerungs-mulden, die das Sickerwasser in eine Sickerwasseraufbereitungsanlage oder ein Sammelbecken, aus welchem das Wasser entsorgt wird, leiten. Um Niederschlagswasser abzuleiten und einen UV-Schutz für die Folie zu gewähren, ist das Lager abschnittsweise nach Fertigstellung mit einer PE-Folie abzudecken. Zusätzlich kann die Bedeckung mit Bodenmaterial erfolgen (siehe Abbildung 1). Dies gewährleistet darüber hinaus die Verhinderung der Bildung von Luftströmungskaminen, welche eine potenzielle Gefahr der Entstehung von Bränden sein können. Abbildung 1: links: Folienabdeckung /rechts: zusätzliche Erdabdeckung (Bildquellen: INTECUS GmbH) Die Stapelhöhe wird durch die maximale Auslage des verwendeten Krans bzw. Teleskopladers sowie durch die statischen Eigenschaften der Ballen begrenzt. Bislang wurden Lager bis zu einer maximalen Stapelhöhe von 12 Ballen realisiert. Das Lager ist in Brandabschnitte (von je 2.000 m²) einzuteilen, welche durch Brandschutzwälle abzugrenzen sind, die sukzessive mit der Balleneinlagerung errichtet werden.
STOFFFLUSS UND -MENGEN	**Input** - Haus-/Sperrmüll, heizwertreiche Abfälle - Folie, Geotextil, Wickeldraht - Bodenmaterial zur Abdeckung und Brandbekämpfung **Output** - Haus-/Sperrmüll, heizwertreiche Abfälle - Bodenmaterial aus der Abdeckung - gebrauchte Folie, Geotextil, Wickeldraht
ANWENDUNGS-BEREICH	Der Anwendungsbereich reicht von anlagennahen Revisionszwischenlagern beginnend bei 1.000 Mg bis hin zu Großlagern bis zu 400.000 Mg Gesamtlagerkapazität.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Die Zwischenlagerung von Abfällen kann sowohl vor deren Verwertung als auch vor deren Beseitigung erfolgen. Vor Beginn der Zwischenlagerung sollte sichergestellt sein, dass die erforderlichen Verwertungs- bzw. Beseitigungskapazitäten nach Ende der vorgesehenen Lagerfrist zur Verfügung stehen. Eine unnötige oder sehr lange Zwischenlagerung ist zu vermeiden.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	Input: Betriebsmittel für Aggregate u. Sicherungseinrichtungen (z.B. Diesel, Strom)
CO_2-RELEVANZ	geringe Emissionen an CO_2 und Methan, vernachlässigbar
HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE	- Folie, Geotextil oder Wickeldraht - Bodenmaterial zur Abdeckung und Brandbekämpfung
PERSONALBEDARF	- 2 Personen für Ballierung und Einlagerung - Überwachungs- und Sicherungspersonal

FLÄCHENBEDARF	Balliertechnik: - Rundballen: 18 x 3 x 5 m - Rechteckballen: 35 x 5 x 6 m Lagerfläche: 0,1–0,8 m²/Mg (in Abhängigkeit von Material, Brandschutzanforderungen und Stapelhöhe)
NACHSORGE-AUFWAND	- Rückbau des Lagers - Rückbau der Fläche in den Ursprungszustand
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	- i.d.R. gering, da aufgrund der nur zeitweiligen Lagerung die Flächen und die Technik gemietet werden können
BETRIEBSKOSTEN	- 20 bis 50 EUR/Mg in Abhängigkeit der Menge und Art der gelagerten Abfälle (Stand 2008)
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- Nur insofern die Zwischenlagerung für Dritte erfolgt in Form von Annahme/ Lagerungsgebühren
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- 20 bis 50 EUR/Mg in Abhängigkeit der Menge und Art der gelagerten Abfälle (Stand 2008)
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die Errichtung von Zwischenlagern ist eine Technik von der insbesondere größere Abfallentsorgungsunternehmen und Anlagenbetreiber im Zusammenhang mit der Überbrückung von Ausfällen, Revisionen und zur Bewältigung von Übermengen zeitweiligen Gebrauch machen (müssen). Hier können entsprechende Anwendungen aktuell erfragt werden. Abfallzwischenlager finden sich weltweit, in Deutschland lag die Gesamtgrößenordnung solcher Lager im Jahre 2006 kurzfristig im Bereich von 2-4 Mio. Mg, seit 2009 sind sie sämtlich zurückgebaut worden. Ein Verweis auf bestehende Anlagen wäre nicht sinnvoll, da diese Lager temporären Charakter besitzen.
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Hersteller von: *Press- u. Ballierungstechnik:* - Schuster Engineering www.schusterengineering.de - EuRec Technology Sales & Distribution GmbH www.eurec-technology.com - PTF Häusser GmbH www.ptf-haeusser.de *Stretchfolie:* - FRANPACK GmbH www.franpack.de - Manuli Stretch Deutschland GmbH www.manulistretch.com - R&S Kunststoff-Verarbeitungs GmbH www.rs-kunststoffverarbeitung.de *Ballengreifern:* - C. Steffenewers GmbH & Co.KG www.steffenewers.de - Kurschildgen GmbH Hebezeugbau www.tigerhebezeuge.de - Kock & Sohn www.kock-sohn.de - Liebherr-International Deutschland GmbH www.liebherr.com

INERTSTOFFDEPONIE

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- preiswerte, kontrollierte Ablagerung inerter mineralischer Abfälle von denen keine Umweltgefahren ausgehen mit relativ geringen zusätzlichen Schutzerfordernissen

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X[2]	Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	X[2]
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	bspw. Kunststoffmaterialien, welche nicht verwertet oder anderweitig behandelt werden können			
Andere Abfallarten	X	bspw. Bodenaushub und Erden, Kies, Aufbruchasphalt, Steine, Ziegel, Abraum von Bodenarbeiten und mineralische Rückstände und Schlacken von anderen Behandlungsverfahren			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Erfordernisse der Nachsorge:
Nachsorgemaßnahmen umfassen vor allem die Sicherung des Geländes, regelmäßige Inspektionen und die Überwachung der Grundwasserpegel und anderer Messstellen

Besondere Schutzerfordernisse:
Schutz gegen den Austritt von Schadstoffen in Gewässer, Boden und Luft, Schutz der Anlage gegen unautorisierten Zutritt und unerlaubte Ablagerung

Mögliche Finanzierung:
Finanzierungsmöglichkeiten bestehen über Gebühren, Abgaben oder/und Steuern, ggf. spezielle Deponiesteuern

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Bei der Errichtung der Anlagen ist darauf zu achten, dass diese
- einen hoher Platzbedarf mit speziellen geologischen und hydrogeologischen Anforderungen haben
- mit ausreichendem Abstand zur nächsten Wohnbebauung zu errichten sind
- des Anschlusses an Zufahrtswege wie Straßen oder Eisenbahn bedürfen

Klimatische Gegebenheiten:
Einschränkungen durch klimatische Bedingungen bestehen nicht

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG	Diese Deponien sind ausgewiesene Gebiete bzw. einfach gestaltete Anlagen für die Ablagerung von mineralischen Materialien mit inerten Eigenschaften von denen keine Gefährdung für die Umwelt ausgeht. Oft können Gruben, stillgelegte Steinbrüche oder Tagebaue genutzt werden, welche die grundlegenden geohydrologischen Anforderungen erfüllen.

[2] Ablagerung nur zeitweise, Möglichkeiten der direkten stofflichen Verwertung oder Nutzung in thermischen Prozessen sind bevorzugt zu nutzen

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN	Standortanforderungen: Geeignete geologische und hydrogeologische Bedingungen, insbesondere - ungestörter Untergrund mit geringer Durchlässigkeit (›1 m mächtig, kf-Wert ≤ $1*10^{-7}$m/s) (Basisabdichtung), - mineralische Entwässerungsschicht mit einer Mächtigkeit › 30 cm - ausreichender Abstand zum Grundwasserspiegel,
ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	- langfristige und kontrollierte Ablagerung von Abfällen, welche nur geringe Schutzmaßnahmen erfordern.
BESONDERE VORTEILE	- relativ leicht zu realisieren und preiswert - nach der Schließung mit einer Rekultivierungsschicht abzudecken - geringer Nachsorgebedarf
SPEZIFISCHE NACHTEILE	- hoher Platzbedarf
ANWENDUNGSDETAILS	
TECHNISCHE UMSETZUNG	Eine Inertstoffdeponie hat mindestens über 3 Anlagenbereiche zu verfügen: - Eingangsbereich - Lagerbereich - Arbeitsbereich Zusätzlich ist die Deponie zu umzäunen, um einen Zutritt nicht befugter Personen zu unterbinden, die Zufahrtsstraßen müssen für Schwerlastfahrzeuge konzipiert sein und es müssen Maßnahmen getroffen werden (bspw. Randgräben, Randwälle), die einen Zufluss von Oberflächenwasser aus benachbarten Bereichen in die Deponie auch bei Starkregen verhindern. Der grundsätzliche Aufbau einer Inertstoffdeponie ist in Abbildung 2 dargestellt. Abbildung 2: Grundsätzlicher Aufbau einer Inertstoffdeponie gemäß Deutscher Abfallablagerungsverordnung Wenn die Abfallablagerung in einem Deponiesektor beendet ist, sollte eine Oberflächenabdichtung mit folgendem Aufbau aufgebracht werden: - gegebenenfalls eine 0,5 Meter mächtige Ausgleichsschicht - 1,0 m Rekultivierungsschicht bestehend aus Kulturboden, optional mit einer darunter befindlichen 0,3 m starken Entwässerungsschicht

ANWENDUNGS-BEREICH	Der Standort einer Inertstoffdeponie sollte so ausgewählt werden, dass der Betrieb über mindestens 10, besser 15–20 Jahre möglich ist, um die Amortisierung der Investitionskosten für die Errichtung und die Schließung des Standortes (Zugangsstraßen, Drainagesystem, Umzäunung, Fahrzeugwaage, Sicherheits- und Nachsorgemaßnahmen u.a.) sicherzustellen. Die Größe des Standortes und der Einrichtungen muss an die lokalen Gegebenheiten, die Größe des Einzugsgebietes bzw. die Menge der anfallenden Abfälle angepasst sein.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Eine Inertstoffdeponie ist für die sichere und langfristige Ablagerung von Abfallmaterialien vorzusehen, von denen keine Gefährdung für die Umwelt ausgeht. Eine derartige Einrichtung kann mit verschiedenen Anlagen kombiniert werden, die für die Vorbehandlung der abzulagernden Materialien geeignet sind.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	<u>Input:</u> - Energie, bspw. Dieselkraftstoff für Deponiebaumaschinen, Elektroenergie <u>Output:</u> - keine energetische Nutzung da aufgrund der mineralischen Ablagerungsmaterialien keine oder nur geringe Bildung von Deponiegas zu erwarten ist
CO_2-RELEVANZ	Keine Relevanz, da keine oder nur geringe Emissionen zu erwarten sind.
BENÖTIGTE HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- Abdeckungsmaterialien wie beschrieben.
PERSONALBEDARF	Die Personalanforderungen hängen insbesondere von der Größe der Deponie ab. Der Deponiebetreiber muss sicherstellen, dass jederzeit ausreichend fach- und sachkundiges Personal zur Überwachung und Kontrolle der Tätigkeiten und zur Vermeidung von Unfällen und Begrenzung eventueller Unfallfolgen vorhanden ist. Das Personal sollte über Deponielehrgänge regelmäßig (aller 2 Jahre) Fortbildungen erhalten. Für eine Deponie mit einem jährlichen Input von 500.000 Mg werden 8–10 Arbeitskräfte benötigt, davon 1 Anlagenleiter, 3 Fachkräfte für die Abfallannahme (Verwiegung) und Annahmekontrolle, 3 Maschinenführer sowie einige Hilfskräfte.
FLÄCHENBEDARF	Der Platzbedarf hängt von der geplanten Kapazität der Deponie und der Oberflächengestalt der Ablagerungsfläche ab. Grundsätzlich muss für die gleiche Abfallmenge ein größerer Flächenbedarf eingeplant werden, wenn die Ablagerung auf einer ebenen Fläche erfolgt im Gegensatz zur Nutzung einer Hohlform (Grube, Tal oder Steinbruch). In Abhängigkeit von der Gesamtkapazität und dem täglichen Input sollte das jeweils betriebene Feld nicht größer als 2.000 m² bei kleinen bis mittleren Deponien und 8.000 m² bei großen Deponien betragen. Nicht in Betrieb befindliche Sektoren bzw. verfüllte Abschnitte müssen entsprechend abgedeckt werden. Beispielhaft können für eine Mineralstoffdeponie mit einer Kapazität von 340.000 m³, einer jährlichen Ablagerungsmenge von 30.000 Mg und einer Höhe von 15 m eine offene Ablagerungsfläche von 42.000 m² und eine Gesamtbetriebsfläche von 55.000 m² angegeben werden. Für eine Gesamtkapazität von 2 Mio. m³ ist eine Fläche von 240.000 m² erforderlich. Für den Betrieb einer Deponie ist des weiteren Platzbedarf vorzusehen für - Versorgungsleitungen (Frischwasser, Elektroenergie), - Anbindung an das Straßen-, Eisenbahn bzw. Wasserwegenetz, und - Schutzzonen (Sickerwassersammlung, Grundwassermonitoring, Eingrünung).
NACHSORGE-AUFWAND	Die Deponiefläche muss eingezäunt werden. Des Weiteren sind regelmäßige Inspektionen sowie Überwachungen vorzusehen.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investitionskosten sind abhängig von den lokalen Bedingungen und der Deponiekapazität, vor allem aber den - Kosten für den Erwerb und die Vorbereitung der Deponiefläche - Baukosten: Die Baukosten sind wesentlich geringer als die Baukosten für eine geordnete Siedlungsabfalldeponie (siehe Datenblatt "Deponie für nicht gefährliche Abfälle“) - Ausrüstungskosten: meist lediglich Radlader, Kontrollwaage
BETRIEBSKOSTEN	Die Betriebskosten sind abhängig von der geplanten Kapazität und der genutzten Ausrüstung. Betriebs-, Wartungs- und Personalkosten sind sehr gering im Vergleich zu geordneten Deponien für gemischte Siedlungsabfälle, insbesondere aufgrund des sehr geringen Nachsorgebedarfs(siehe Datenblatt "Deponie für nicht gefährliche Abfälle“)
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- durch Ablagerungsgebühren/ Deponieentgelte und mögliche Deponiesteuern
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	- in Europa liegen die Gesamtkosten bei ca. 10 EUR/Mg deponiertes Material (Stand 2008)
ANDERE RELEVANTE ASPEKTE	
	Während der Suche und Auswahl geeigneter Standorte sollten geeignete Platzreserven berücksichtigt werden, um im Falle einer weitergehenden Entwicklung des Standes der Technik zu einem späteren Zeitpunkt entsprechende Recyclinganlagen direkt neben der Deponie errichten zu können.

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT	
REFERENZ-ANWENDUNGEN	Die meisten Länder Europas verfügen über Inertstoffdeponien, auch in Deutschland werden Anlagen dieser Art betrieben, z.B. - Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten, Deponie Steinegaden www.zak-kempten.de - Boden- und Bauschuttdeponie "Sundern – Meinkenbracht“ der Sauer & Sommer Straßen- und Tiefbau GmbH www.sauer-sommer.de - Deponie Dersenow der RBS Bodenverwertungs GmbH www.rbsfirmengruppe.de
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	In Deutschland bietet eine Vielzahl von Firmen spezielle technische Komponenten, Bau- und Dienstleistungen für die Errichtung und den Betrieb von Inertstoffdeponien an. Dazu zählen beispielsweise: Verlegung von mineralischen Abdichtungen: - TD Umwelttechnik GmbH & Co. KG www.trisoplast.de - Bickhardt Bau AG www.bickhardt-bau.de - Kügler & Belouschek www.kuegler-textoris.de

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE
Eine Auflistung von Unternehmen die in der Bauausführung tätig sind (Deponiebaufirmen) und weitere relevante Informationen zum Deponiebetrieb werden bereitgestellt von: - AK GWS Arbeitskreis Grundwasserschutz e.V. www.akgws.de - Überwachungsgemeinschaft Bauen für den Umweltschutz BU www.ueberwachungsgemeinschaft-bu.de

Umwelt Bundesamt

DEPONIE FÜR NICHT GEFÄHRLICHE ABFÄLLE

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- Deponien für nicht gefährliche Abfälle dienen der sicheren und kontrollierten Ablagerung von Abfällen, welche nur relativ geringe Aufwendungen für den Schutz der Umwelt erfordern.

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas	X[3]	Leichtverpackungen	X[1]	Speise- und Grünabfälle	X[4]
Papier/Pappe/Karton	X[1]	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X[1]
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X[5]				
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	z.B. verschiedene Kunststoffabfälle, welche nicht verwertet oder anderweitig behandelt werden können			
Andere Abfallarten					

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:
Zur Verringerung der potenziellen Umweltrisiken, speziell der Bildung von Sickerwasser und Treibhausemissionen sollten Abfälle, welche biologisch abbaubare Bestandteile enthalten, vor der Ablagerung thermisch oder mechanisch bzw. mechanisch-biologisch vorbehandelt werden. Mehrere Länder Europas, so auch Deutschland, haben dies zur Voraussetzung der Ablagerung dieser Abfälle gemacht.

Erfordernisse der Nachsorge:
Nachsorgemaßnahmen umfassen vor allem die Sicherung des Geländes, regelmäßige Inspektionen und die Überwachung der Grundwasserpegel und anderer Messstellen. Sie müssen, so lange eine Gefahr vom Deponiestandort ausgehen kann, aufrechterhalten werden.

Besondere Schutzerfordernisse:
Schutz gegen den Austritt von Schadstoffen in Gewässer, Boden und Luft, Schutz der Anlage gegen unautorisierten Zutritt und unerlaubte Ablagerung

Mögliche Finanzierung:
über Gebühren/Abgaben, die Finanzierung kann mit Hilfe einer speziellen Deponiesteuer unterstützt werden.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten:
Bei der Errichtung der Anlagen ist darauf zu achten, dass diese
- einen hoher Platzbedarf mit speziellen geologischen und hydrogeologischen Anforderungen haben
- mit ausreichendem Abstand zur nächsten Wohnbebauung zu errichten sind
- des Anschlusses an Zufahrtswege wie Straßen oder Eisenbahn bedürfen.

Klimatische Gegebenheiten:
Einschränkungen durch klimatische Bedingungen bestehen nicht

---

[3] abzulagernde Mengen richten sich nach der Intensität der Getrenntsammlung, anteilige Mengen sind jedoch immer auch im Hausmüll enthalten. Möglichkeiten der direkten stofflichen Verwertung oder Nutzung in thermischen Prozessen sind bevorzugt zu nutzen

[4] abzulagernde Mengen richten sich nach der Intensität der Getrenntsammlung, anteilige Mengen sind jedoch immer auch im Hausmüll enthalten. Zur Verringerung der Umweltbelastung von Deponien sind Anstrengungen insbesondere darauf zu richten, diese Abfälle anderen Verwertungen zuzuführen bzw. vorzubehandeln.

[5] nur wenn sie stabil und nicht reaktiv sind und die Annahmekriterien für die Deponie für nicht gefährliche Abfälle einhalten.

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Geordnete Siedlungsabfalldeponien sind speziell gestaltete Flächen mit geeigneten Einrichtungen für die Ablagerung nicht gefährlicher fester Abfälle in systematischer und kontrollierter Weise mit dem Ziel der Beseitigung von Gefährdungen der Umwelt und der menschlichen Gesundheit sowie der Vermeidung von Boden- und Grundwasserkontaminationen. In einer geordneten Deponie werden die Abfälle in Lagen eingebracht, welche soweit wie möglich verdichtet und am Ende jedes Arbeitstages abgedeckt werden.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

Standortanforderungen:
Geeignete geologische und hydrogeologische Bedingungen, insbesondere
- ungestörter Untergrund mit geringer Durchlässigkeit (>1 m mächtig, kf-Wert ≤ $1*10^{-9}$m/s) (Basisabdichtung),
- ausreichender Abstand zum Grundwasserspiegel,

Untergrundsicherung mit Basisabdichtung und Drainageschicht.

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

Vermeidung von allgemeinen Gesundheitsrisiken und Umweltgefahren sowie Minimierung von Gefahren, welche von gefährlichen bzw. potenziell gefährlichen Materialien ausgehen können, durch eine langfristig kontrollierte Lagerung ohne Kontamination von Boden oder Grundwasserressourcen.

BESONDERE VORTEILE

- Sichere Ablagerung von festen Siedlungsabfällen
- Vermeidung von schädlichen Emissionen durch spezielle Schutzmaßnahmen wie Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung und Sammlung von Abwässern sowie Gasfassung
- Langfristige Sicherheit durch Nachsorge und spezielle Sicherheitsmaßnahmen
- ökonomische Vorteile gegenüber anderen, kostspieligeren Behandlungsverfahren

SPEZIFISCHE NACHTEILE

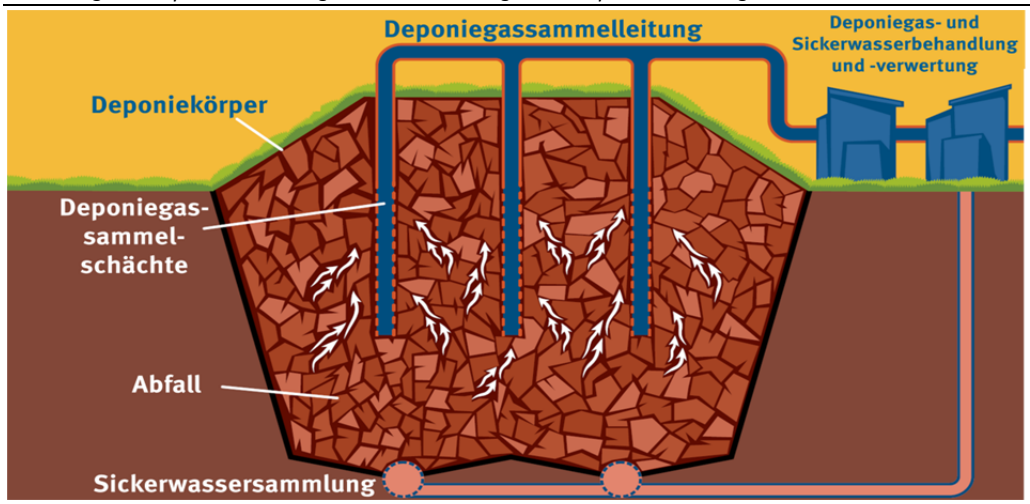
- Notwendigkeit einer intensiven und langfristigen Kontrolle und Nachsorge
- Emission klimaschädigender Gase
- Verhalten des Abfalls im Deponiekörper ist schwer zu beeinflussen

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

Um die sichere und kontrollierte Ablagerung gemischter Siedlungsabfälle in einer geordneten Deponie zu gewährleisten, muss diese so gestaltet werden, dass die notwendigen Schutzmaßnahmen für die Abdichtung der Deponiebasis und des umgebenden Bodens sowie die Drainage für den Deponiekörper vorgesehen und die technischen Voraussetzungen für die Erfassung und Behandlung von Sickerwasser und Deponiegasen geschaffen werden. Abbildung 3 illustriert den grundlegenden Aufbau dieser technischen Einrichtungen.

Abbildung 3: Komponenten einer geordneten Siedlungsabfalldeponie für nicht gefährliche Abfälle

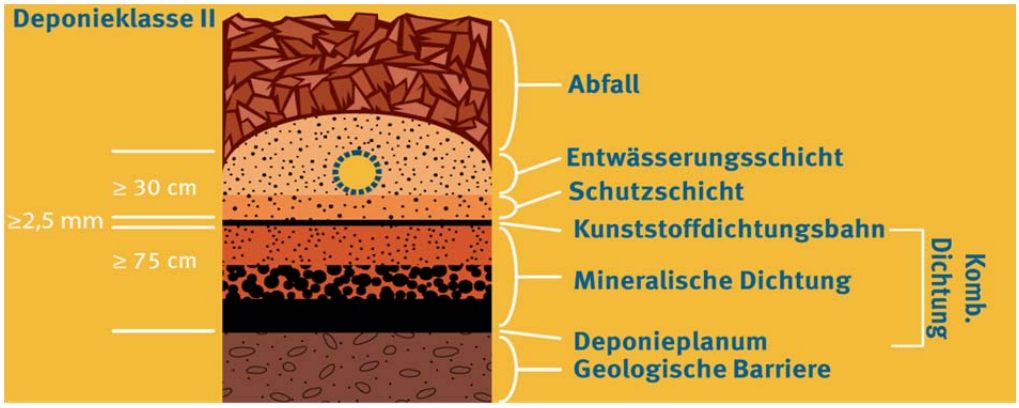


FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Aufbau einer kombinierten Basisabdichtung

Abbildung 4 zeigt das Konstruktionsprinzip einer kombinierten Basisabdichtung für eine geordnete Siedlungsabfalldeponie. Die Abdichtung wird auf der Deponiebasis errichtet.

Abbildung 4: Beispiel einer kombinierten Basisabdichtung (gemäß deutscher Deponieverordnung)

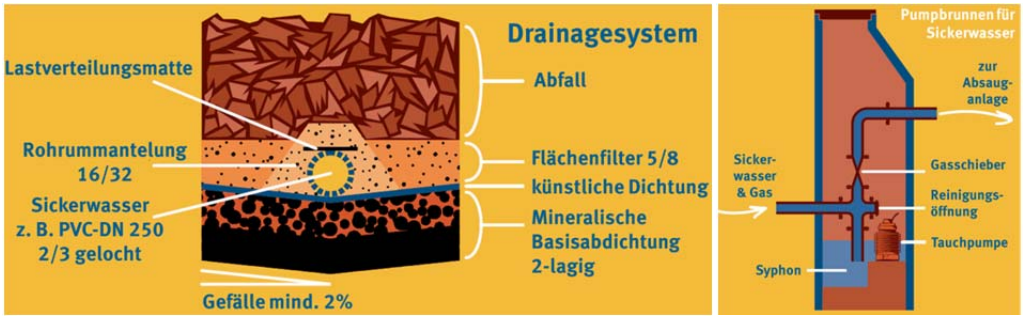


Der untere Bereich der Abdichtung besteht aus drei mineralischen Lagen (Ton) mit einer Gesamtmächtigkeit von mind. 0,5 m, welche mit einer Kunststoffdichtungsbahn (HDPE) mit einer Mindeststärke von 2,5 mm bedeckt sind. Der kf-Wert sollte ≤ $5*10^{-10}$ m/s betragen. Die Kunststoffdichtungsbahn muss durch eine Schicht feinen Sandes oder ähnliches Material geschützt werden. Darauf ist eine Drainageschicht, bestehend aus Kies oder Splitt mit einem kf-Wert von ≤ $1*10^{-3}$ m/s zu errichten. Darin sind Drainagerohre zur Sammlung des Sickerwassers zu integrieren.

Aufbau des Drainagesystems

Die Abbildung 5 zeigt die technischen Installationen für die Sammlung von Sickerwasser. Im Wesentlichen bestehen diese aus der Drainageschicht, Kontroll- und Überwachungspegeln, Pumpstationen (Pumpensümpfen) und Speicherbecken (Reaktions- und Sedimentationsbecken) und haben die Aufgabe, die Sickerwässer aus der Deponie abzuführen und die Entwicklung von hohen hydrostatischen Drücken auf die Basisabdichtung und entsprechende Schäden zu verhindern.

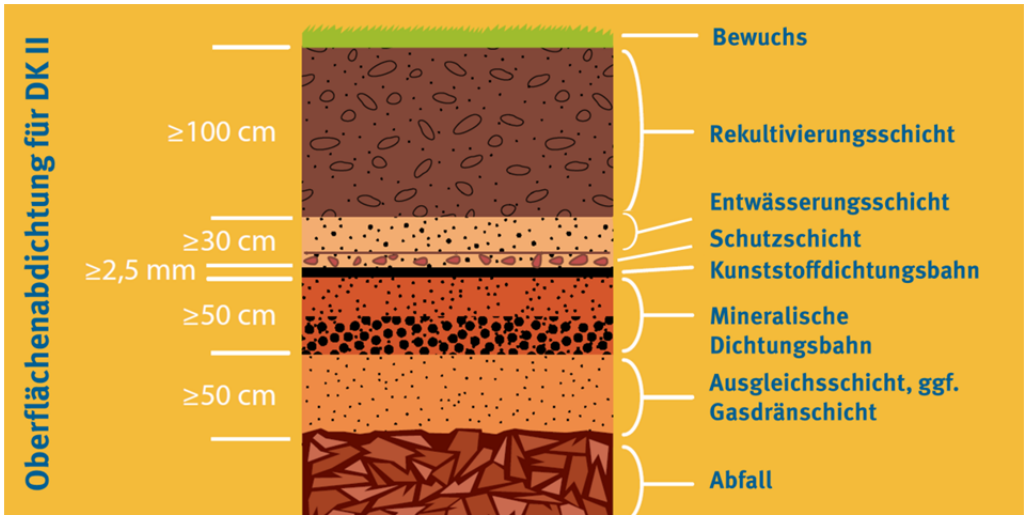
Abbildung 5: links: Drainagesystem / rechts: Pumpbrunnen für Sickerwasser



Aufbau der Oberflächenabdichtung

Abbildung 6 zeigt einen möglichen Aufbau einer Oberflächenabdichtung. Wenn ein Deponieabschnitt oder die gesamte Deponie gefüllt ist, muss die Deponieoberfläche in folgender Weise abgedeckt werden:

- 0,5 m Ausgleichsschicht,
- 0,3 m Schicht aus Kies o.ä. Material für die Gasdrainage,
- 0,5 m mineralische Schicht (oder vergleichbare Abdeckung) mit einem kf-Wert von ≤ $5*10^{-9}$ m/s, bedeckt von einer Kunststoffdichtungsbahn,
- 0,3 m Drainageschicht mit einem kf-Wert von ≤ $1*10^{-3}$ m/s,
- 1 m Rekultivierungsschicht aus Bodenmaterial.

FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG	Abbildung 6: Aufbau einer Oberflächenabdichtung (für Deponieklasse II gemäß deutscher Abfallablagerungsverordnung) 
ANWENDUNGS-BEREICH	Der Standort einer geordneten Siedlungsabfalldeponie sollte so ausgewählt werden, dass der Betrieb über mindestens 10, besser 15–20 Jahre möglich ist, um die Amortisierung der Investitionskosten für die Errichtung und die Schließung des Standortes (Zugangsstraßen, Drainagesystem, Umzäunung, Fahrzeugwaage, Sicherheits- und Nachsorgemaßnahmen u.a.) sicherzustellen. Die Größe des Standortes und der Einrichtungen muss an die lokalen Gegebenheiten, die Größe des Einzugsgebietes bzw. die Menge an anfallenden Siedlungsabfällen angepasst sein.
ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBAR-KEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN	Eine geordnete Siedlungsabfallabfalldeponie ist für die sichere und langfristige Ablagerung von nicht gefährlichen Abfallmaterialien vorzusehen. Eine derartige Einrichtung kann mit verschiedenen Anlagen kombiniert werden, die für die Vorbehandlung der abzulagernden Materialien geeignet sind.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ	
ENERGIEBILANZ	Input: - Energie, bspw. Dieselkraftstoff für Deponiebaumaschinen, Elektroenergie Output: - in ausgewählten Fällen Elektroenergie durch die Verwertung des gesammeltem Deponiegases, im Falle von Kraft-Wärme-Kopplung ist auch die Nutzung von Wärmeenergie möglich
CO_2-RELEVANZ	Aufgrund der auftretenden Deponiegasemissionen (Methan, CO_2, H_2S) tragen Deponien wesentlich zur Belastung mit klimaschädigenden Gasen bei. Die Deponierung unvorbehandelter Abfälle trägt wesentlich zum Treibhauseffekt bei, insbesondere, wenn die Deponien nicht über eine effiziente Deponiegaserfassung verfügen.
PERSONALBEDARF	Die Personalanforderungen hängen insbesondere von der Größe der Deponie ab. Für eine Deponie mit einem jährlichen Input von 500.000 Tonnen werden 12–14 Arbeitskräfte benötigt, davon 1 Anlagenleiter, 3 Fachkräfte für die Abfallannahme (Verwiegung) und Annahmekontrolle, 3 Maschinenführer sowie einige Hilfskräfte. Zum Betrieb einer Behandlungsanlage für das gesammelte Sickerwasser und eines Blockkraftwerkes zur Energieerzeugung aus dem Deponiegas ist weiteres Personal erforderlich, davon mind. 1 Anlagenleiter, 2 Fachkräfte für die Bedienung der Aggregate sowie einige Hilfskräfte. Weiteres Personal für Eingangskontrolle und Verwaltung kann ebenfalls notwendig sein.

BENÖTIGTE HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	- Abdeckungs- und Abdichtungsmaterialien wie beschrieben
FLÄCHENBEDARF	Der Platzbedarf hängt wesentlich von der geplanten Kapazität der Deponie ab. Die notwendige Ablagerungsfläche beträgt bei etwa 110,000 m³ jährlichem Input und einer Laufzeitdauer von etwa 20 Jahren ca. 200.000 m². Darüber hinaus sind erforderlich: - Frischwasseranschluss - Stromanschluss - Zufahrtsstraßen, optional auch Anbindung an Wasserwege u. Eisenbahn
NACHSORGEAUFWAND	Nachsorgemaßnahmen umfassen vor allem die Sicherung des Geländes, regelmäßige Inspektionen (in halbjährlichen bis jährlichen Intervallen) und die Überwachung der Grundwasserpegel und anderer Messstellen. Sie müssen so lange eine Gefahr vom Deponiestandort ausgehen kann aufrechterhalten werden. Die Überwachung sollte mind. für 20–30 Jahre nach Schließung der Deponie aufrechterhalten werden. Unter normalen Umständen sollten 80–100 Jahre nach der Schließung die Ausgaben für die Nachsorge in Abhängigkeit vom deponierten Material auf ein stabil niedriges Niveau sinken.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	Investitionskosten für Abfalldeponien variieren insbesondere in Abhängigkeit von der geplanten Verfüllmenge an Abfällen und dem jeweiligen Flächenbedarf, der sich zusätzlich nach der Deponieform richtet (Gruben-, Hang-, Tal- oder Haldendeponie). Für eine Beispieldeponie durchschnittlicher Größe wurden folgende Kosten geschätzt (Stand 2008): - Baukosten + Ausstattung inkl. Finanzierungskosten: ca. 12 Mio. Euro - Zusätzlich sind für die Errichtung des Abdeckungssystems 40–60 Euro/m² zu veranschlagen.
BETRIEBSKOSTEN	Die gesamten jährlichen Betriebskosten (Stand 2008) für eine Beispieldeponie durchschnittlicher Größe belaufen sich auf: - Betriebskosten: ca. 400.000 Euro - Reparatur und Wartung: ca. 1,2 Mio. Euro - Personal und Verwaltung: ca. 250.000 Euro
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- durch Ablagerungsgebühren und mögliche Deponiesteuern sowie die über die Deponiegasnutzung erzeugte Energie.
MASSESPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	Die folgenden Schätzungen können als Richtwerte für die Gesamtkosten gelten (Stand 2008):

Tabelle 2: Gesamtkosten abzulagernder Abfälle

Jährlicher Input abzulagernder Abfälle [m³/a]	50.000	250.000
Geschätzte Investitionsbeträge [in Mio. Euro] für:		
Standortsuche, Standortuntersuchung, Genehmigung	2,6	8
Bauplanung, Überwachung und Qualitätssicherung	77	133
Betriebsausstattung, Schließung und Rekultivierung	61	110
Überwachungseinrichtungen, Sickerwasser- und Deponiegassammlung und -behandlung	74	123

ANDERE RELEVANTE ASPEKTE

Während der Suche und Auswahl geeigneter Standorte sollten geeignete Platzreserven berücksichtigt werden, um im Falle einer weitergehenden Entwicklung des Standes der Technik zu einem späteren Zeitpunkt entsprechende Recyclinganlagen direkt neben der Deponie errichten zu können.

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

In Deutschland wurde eine große Anzahl an Deponien aufgrund des Ablagerungsverbotes für unvorbehandelte Siedlungsabfälle ab dem 01. Juni 2005 geschlossen. Nachfolgend sind einige Beispiele von derzeit noch für die Ablagerung von vorbehandelten Abfällen betriebenen Deponien aufgelistet:

- RAVON: www.ravon.de
- Abfallwirtschaftsgesellschaft des Kreises Warendorf mbH (Zentraldeponie Ennigerloh) www.awg-waf.de
- Deponie Pohlsche Heide: www.pohlsche-heide.de
- Zentraldeponie Cröbern Zweckverband Abfallwirtschaft Westsachsen) www.wev-sachsen.de

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

In Deutschland bieten eine Vielzahl von Firmen spezielle technische Komponenten, Bau- und Dienstleistungen für die Errichtung und den Betrieb von Siedlungsabfalldeponien an. Dazu zählen beispielsweise:

Hersteller von Kunststoffdichtungsbahnen:
- GSE Lining Technology GmbH www.gseworld.com
- Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG www.naue.com

Verlegung von Kunststoffdichtungsbahnen:
- G² G-quadrat Geokunststoffgesellschaft GmbH www.gquadrat.de
- NAUE Sealing GmbH & Co. KG www.nauesealing.com
- von Witzke GmbH & Co www.vonwitzke.de
- SIEBERT + KNIPSCHILD GmbH www.ibsiebert.de
- Hafemeister GeoPolymere GmbH www.hafemeister.de

Verlegung von mineralischen Abdichtungen:
- TD Umwelttechnik GmbH & Co. KG www.trisoplast.de
- Bickhardt Bau AG www.bickhardt-bau.de
- Kügler & Belouschek www.kuegler-textoris.de

Deponiegasverwertung:
- Haase Energietechnik AG www.bmf-haase.de
- LAMBDA Gesellschaft für Gastechnik mbH www.lambda.de
- Green Gas Germany GmbH www.greengas.net

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Eine Auflistung von Unternehmen die in der Bauausführung tätig sind (Deponiebaufirmen) und weitere relevante Informationen zum Deponiebetrieb werden bereitgestellt von:

- AK GWS Arbeitskreis Grundwasserschutz e.V. www.akgws.de
- Überwachungsgemeinschaft Bauen für den Umweltschutz BU www.bu-umwelt.de

DEPONIE FÜR GEFÄHRLICHE ABFÄLLE

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:	- umweltschonende Beseitigung und Ablagerung gefährlicher Abfälle

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen	X[6]	Speise- und Grünabfälle	X[7]
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	X
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke	X[8]	Altreifen	
Gefährliche Abfälle	X				
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	industrielle Abwässer und Schlämme, schadstoffhaltige Materialien			
Andere Abfallarten	X	gefährliche Materialien, schadstoffhaltige Aschen, Schlämme und Reststoffe aus anderen Behandlungsprozessen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:

- unter Umständen Stabilisierung der Abfälle bzw. Verpackung in Big Bags (siehe Datenblatt "Big Bag"), Fässern oder anderen geeigneten Behältern bei Nutzung von Untertagedeponien
- unter Umständen Durchfeuchtung von Schüttgütern zur staubfreien Anlieferung bzw. Verpackung staubender Güter in BigBags bei oberirdische Ablagerung.

Erfordernisse der Nachsorge:

Nachsorgemaßnahmen müssen so lange eine Gefahr vom Deponiestandort ausgehen kann, aufrechterhalten werden. Nachsorge umfasst vor allem die Sicherung des Geländes, regelmäßige Inspektionen und die Überwachung der Grundwasserpegel und anderer Messstellen.

Besondere Schutzerfordernisse:

Schutz gegen den Austritt von Schadstoffen in Gewässer, Boden und Luft, Schutz der Anlage gegen unautorisierten Zutritt und unerlaubte Ablagerung

Mögliche Finanzierung:

über Gebühren/Abgaben, die Finanzierung kann mit Hilfe einer speziellen Deponiesteuer unterstützt werden.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

Infrastrukturelle Gegebenheiten:

Bei der Errichtung der Anlagen ist darauf zu achten, dass diese

- einen hoher Platzbedarf mit speziellen geologischen und hydrogeologischen Anforderungen haben
- mit ausreichendem Abstand zur nächsten Wohnbebauung zu errichten sind
- des Anschlusses an Zufahrtswege wie Straßen oder Eisenbahn bedürfen.

Klimatische Gegebenheiten:

Einschränkungen durch klimatische Bedingungen bestehen nicht

---

[6] Nicht vollständig entleert bzw. noch gefüllt

[7] Potentiell infektiös und gefährlich

[8] eingekapselt

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Eine Deponie für gefährliche Abfälle ist ein speziell geplanter und gesicherter Standort für die Ablagerung von gefährlichen und potenziell gefährlichen Abfällen, welche nicht dahingehend behandelt werden können, dass sie ihr Gefährdungspotenzial bzw. Risiko für die Umwelt verlieren. Deponien für gefährliche Abfälle können sowohl als Zwischenlager als auch als Endlager konzipiert werden. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Gefährlichkeit der abgelagerten Materialien sowie der baulichen Gestaltung, welche insbesondere bau- und materialtechnische Komponenten umfasst, die darauf abzielen, die Möglichkeit der Freisetzung von gefährlichen Substanzen in die Umwelt zu minimieren.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

Anforderungen zum Standort:

Geeignete geologische und hydrogeologische Bedingungen, insbesondere
- nicht in Karstgebieten bzw. anderen Gebieten mit zerklüfteten Untergrund
- nicht innerhalb von Wasserschutzgebieten bzw. Einzugsgebieten für die Trinkwassergewinnung
- nicht in hochwassergefährdeten Gebieten
- nicht in Gebieten mit geologischen Störungen oder tektonischen Aktivitäten sowie in Bergbaugebieten.
- Untergrund mit geringer Durchlässigkeit (Durchlässigkeitsbeiwert kf $\leq 1*10^{-9}$ m/s) und einer Mächtigkeit von ≥ 5 Metern.

Gewährleistung einer Basisabdichtung (Kombination aus Abdichtung und Drainage)
Gewährleistung eines Sicherheitsabstands zu Siedlungsgebieten

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

Vermeidung von allgemeinen Gesundheitsrisiken und Umweltgefahren sowie Minimierung von Gefahren, welche von gefährlichen bzw. potenziell gefährlichen Materialien ausgehen können, durch eine langfristig kontrollierte Lagerung ohne Kontamination von Boden oder Grundwasserressourcen.

BESONDERE VORTEILE

- Sichere Ablagerung von gefährlichen bzw. potenziell gefährlichen Materialien
- Vermeidung von schädlichen Emissionen durch spezielle Schutzmaßnahmen wie Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung und Sammlung von Abwässern sowie Gasfassung
- Langfristige Sicherheit durch Nachsorge und spezielle Sicherheitsmaßnahmen
- ökonomische Vorteile gegenüber anderen, kostspieligeren Behandlungsverfahren

SPEZIF. NACHTEILE

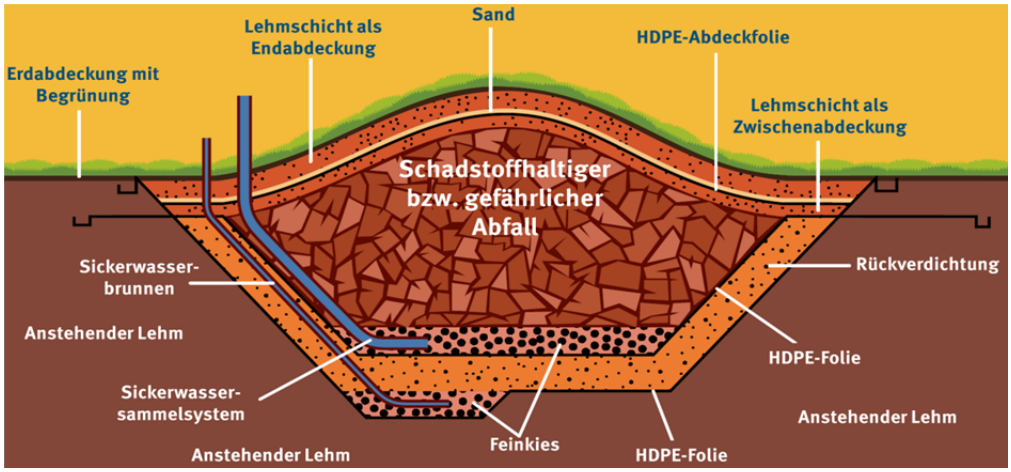
- Notwendigkeit einer intensiven und langfristigen Kontrolle und Nachsorge

ANWENDUNGSDETAILS

TECHNISCHE UMSETZUNG

<u>Genereller Aufbau einer Deponie für gefährliche Abfälle (oberirdisch)</u>

Abbildung 7: Grundsätzlicher Aufbau einer Deponie für gefährliche Abfälle

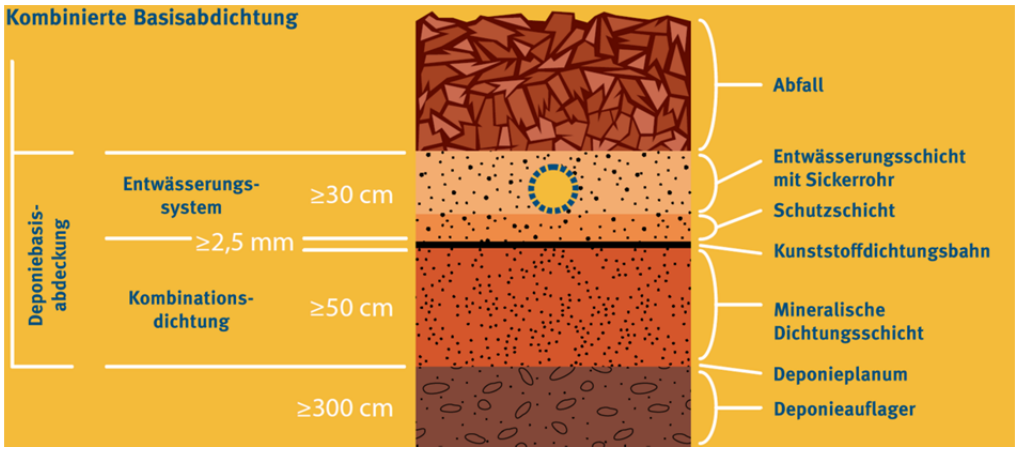


FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG

Aufbau einer kombinierten Basisabdichtung

Abbildung 3 zeigt die grundlegenden Elemente einer kombinierten Deponiebasisabdichtung, die als Sickerwasserbarriere gegenüber dem darunter befindlichen Boden und Grundwasser während der Verfüllung und der Nachsorgephase funktioniert.

Abbildung 8: Querschnitt einer Basisabdichtung (gemäß deutscher Abfallablagerungsverordnung)



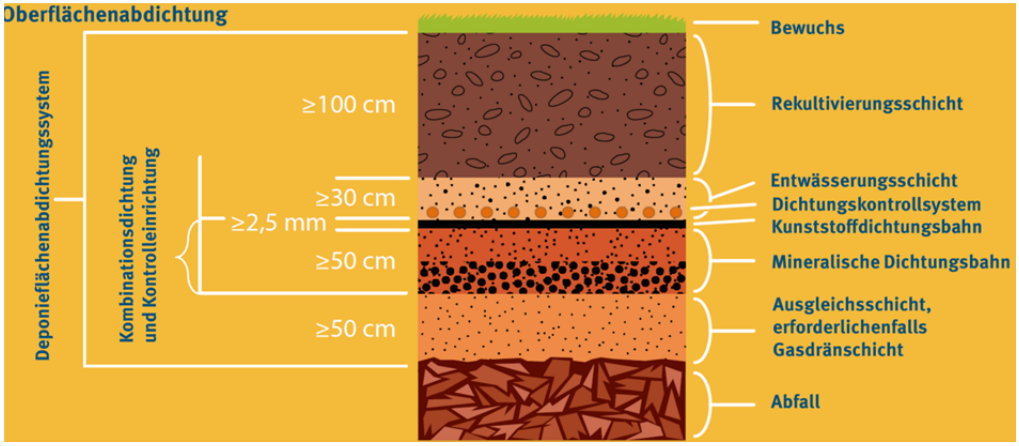
Die Verdichtung des Deponieauflagers sollte eine Proctordichte von 95 % aufweisen. Die Basisabdichtung befindet sich auf der Deponiebasisfläche und sollte aus folgenden Komponenten bestehen:

- 50 cm mineralische Dichtung (kf-Wert ≤ $5*10^{-10}$ m/s)
- 2,5 mm Kunststoffdichtungsbahn
- 30 cm Drainageschicht (einschließlich einer Schutzschicht aus Sand o.ä. Material) aus Kies oder anderem Steingranulat mit einem kf-Wert von ≤$1*10^{-3}$ m/s
- kontrollier- und spülbare Drainagerohre werden innerhalb der Drainageschicht eingebracht (siehe Datenblatt "Deponie für nicht gefährliche Abfälle“)

Aufbau einer Oberflächenabdichtung

Abbildung 4 zeigt einen möglichen Aufbau einer Oberflächenabdichtung, die dem Schutz vor Infiltration in den Deponiekörper, vor Witterungseinflüssen (z.B. Wind- und Wassererosion) und vor dem unkontrollierten Austritt von gasförmigen Emissionen aus der Deponie dient.

Abbildung 9: Aufbau einer Oberflächenabdichtung (gemäß deutscher Abfallablagerungsverordnung)



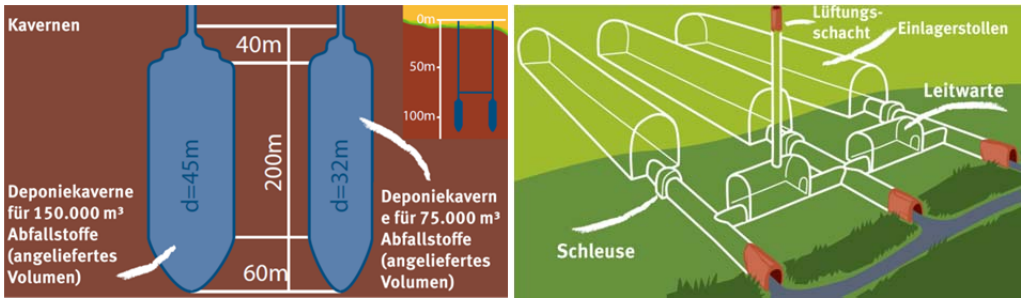
Wenn ein Deponieabschnitt oder die gesamte Deponie gefüllt ist, muss die Deponieoberfläche in folgender Weise abgedeckt werden:

- 0,5 m Ausgleichsschicht, falls nötig mit integrierter Gasdrainage (bestehend aus Kies)
- 0,5 m mineralische Abdeckung (oder ähnliches) mit einem Durchlässigkeitsbeiwert k ≤ $5*10^{-10}$ m/s
- 2,5 mm Kunststoffbahn und Dichtungskontrollsystem
- 0,3 m Drainageschicht mit einem Durchlässigkeitsbeiwert k ≥ $1*10^{-3}$ m/s
- 1 m Rekultivierungsschicht aus Bodenmaterial

Bauliche Ausführung – Kavernen, Tunnelkavernen ~~Abbildung~~ 6 illustriert den Aufbau von Untertagedeponien für die unterirdische Ablagerung von gefährlichen Abfällen in Kavernen. Kavernen (meist Salzkavernen) sind künstlich geschaffene Hohlräume (bspw. ehemalige Salzbergwerke), die für die Lagerung fester Abfälle genutzt werden können.

Untertagedeponien sind speziell gestaltet, um Abfallmaterialien aufzunehmen die potenzielle Risiken für die Umwelt (im Besonderen Wasser und Luft) besitzen, selbst dann wenn sie unter kontrollierten Bedingungen oberirdisch gelagert werden würden und deren anderweitige Behandlung zu kostenintensiv ist.

Abbildung 10: links: Kavernen / rechts: Tunnelkaverne



Die dazugehörigen überirdischen Anlagen bestehen aus drei grundlegenden Einrichtungen:
- Eingangsbereich mit Flächen für ankommende LKW, Fahrzeugwaage, Verwaltung und Labor für die Probenahme und Aufbewahrung von Rückstellproben,
- Arbeitsbereich mit Einrichtungen zum Öffnen, Umladung bzw. Entleerung sowie Reinigung der Transportcontainer,
- Lagerbereich mit Flächen für die Zwischenlagerung von Abfällen, die auf getrennten Wegen abgelagert, behandelt oder verbrannt werden sollen.

ANWENDUNGSBEREICH

Der Standort einer Sonderabfalldeponie sollte so ausgewählt werden, dass der Betrieb über mindestens 10, besser 15–20 Jahre möglich ist, um die Amortisierung der Investitionskosten für die Errichtung und die Schließung des Standortes (Zugangsstraßen, Drainagesystem, Umzäunung, Fahrzeugwaage, Sicherheits- und Nachsorgemaßnahmen u.a.) sicherzustellen. Die Größe des Standortes und der Einrichtungen muss an die lokalen Gegebenheiten, die Größe des Einzugsgebietes bzw. die Menge an anfallenden Sonderabfällen und die Art ihrer Ablagerung (oberirdisch/untertage) angepasst sein.

ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN

Eine Deponie für gefährliche Abfälle ist für die sichere und langfristige Ablagerung von Abfallmaterialien vorzusehen, die gefährlich oder potenziell gefährlich für die Umwelt sind. Eine derartige Einrichtung kann mit verschiedenen Anlagen kombiniert werden, die für die Vorbehandlung der abzulagernden Materialien geeignet sind.

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ

ENERGIEBILANZ

Input:
- Energie, bspw. Dieselkraftstoff für Deponiebaumaschinen, Elektroenergie

Output:
- nur in ausgewählten Fällen Elektroenergie durch die Verwertung des gesammeltem Deponiegases, im Falle von Kraft-Wärme-Kopplung ist auch die Nutzung von Wärmeenergie möglich

CO_2-RELEVANZ

Aufgrund der auftretenden Deponiegasemissionen (Methan, CO_2, H_2S) tragen Deponien wesentlich zur Belastung mit klimaschädigenden Gasen bei. Die Deponierung unvorbehandelter Abfälle trägt wesentlich zum Treibhauseffekt bei, insbesondere, wenn die Deponien nicht über eine effiziente Deponiegaserfassung verfügen.

PERSONALBEDARF	Die Personalanforderungen hängen insbesondere von der Deponiegestaltung ab, welche für jeden Anwendungsfall spezifisch ist. Der geschätzte Personalbedarf für eine Beispieldeponie mit einer Jahreseinbaumenge von 110.000 m³ beträgt 5–6 Fachkräfte.
HILFSMITTEL/ ZUSATZSTOFFE	- Abdeckungs- und Abdichtungsmaterialien wie beschrieben
FLÄCHENBEDARF	Der Platzbedarf hängt wesentlich von der geplanten Kapazität der Deponie ab. Die notwendige Ablagerungsfläche beträgt bei etwa 110,000 m³ jährlichem Input und einer Laufzeitdauer von etwa 20 Jahren ca. 200.000 m². Darüber hinaus sind erforderlich: - Frischwasseranschluss - Stromanschluss - Zufahrtsstraßen, optional auch Anbindung an Wasserwege u. Eisenbahn
NACHSORGE-AUFWAND	Die Nachsorge umfasst vor allem die Sicherung des Geländes, regelmäßige Inspektionen und die Überwachung der Grundwasserpegel und anderer Messstellen. Nachsorgemaßnahmen müssen so lange eine Gefahr vom Deponiestandort ausgehen kann, aufrechterhalten werden. Unter normalen Umständen sollten 80–100 Jahre nach der Schließung die Ausgaben für die Nachsorge in Abhängigkeit vom deponierten Material auf ein stabil niedriges Niveau sinken.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONS-KOSTEN	Die Investitionskosten für eine Deponie für gefährliche Abfälle hängen maßgeblich vom geplanten Verfüllvolumen, der geplanten Laufzeit und von der aktuellen Konjunktur ab. Orientierend können folgende ungefähren Investitionskosten genannt werden: - Errichtung Basisabdichtung: bis über 35 Mio. Euro (Bsp. Deponie Flotzgrün) - Gesamte Abdichtung einschl. Oberfläche: bis über 48 Mio. Euro (Bsp. Deponien Nord, Weißer Weg)
BETRIEBSKOSTEN	Die gesamten jährlichen Betriebskosten (Stand 2008) einer Deponie durchschnittlicher Größe können geschätzt werden auf: - Betriebskosten: ca. 400.000 Euro - Reparatur und Wartung: ca. 1,2 Mio. Euro - Personal und Verwaltung: ca. 250.000 Euro
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	- durch Ablagerungsgebühren und mögliche Deponiesteuern sowie die über die Deponiegasnutzung erzeugte Energie.
MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	Die folgenden Schätzungen können als Richtwerte für die Gesamtkosten (Stand 2008) gelten:

Tabelle 3: Gesamtkosten abzulagernder Abfälle

Jährlicher Input abzulagernden Abfällen [m³/a]	50.000	250.000
Geschätzte Investitionsbeträge [in Mio. Euro] für:		
Standortsuche, Standortuntersuchung, Genehmigung	2,6	8
Bauplanung, Überwachung und Qualitätssicherung	77	133
Betriebsausstattung, Schließung und Rekultivierung	61	110
Überwachungseinrichtungen, Sickerwasser- und Deponiegassammlung und -behandlung	74	123

SONSTIGE DETAILS

MARKTÜBERSICHT

REFERENZ-ANWENDUNGEN

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Die meisten Länder Europas verfügen über Sonderabfalldeponien, auch in Deutschland werden mehrere Anlagen dieser Art betrieben, z.B.

Oberirdische Ablagerung:
- HIM GmbH www.him.de
- GSB - Sonderabfall-Entsorgung Bayern GmbH www.gsb-mbh.de
- GBS Gesellschaft zur Beseitigung von Sonderabfällen mbH www.sad-rondeshagen.de

Untertagedeponien:
- K+S Entsorgung GmbH www.ks-entsorgung.com
- GSES GmbH www.gses.de
- Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG www.grube-teutschenthal.de

ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

In Deutschland bietet eine Vielzahl von Firmen spezielle technische Komponenten, Bau- und Dienstleistungen für die Errichtung und den Betrieb von Deponien an. Dazu zählen beispielsweise:

Hersteller von Kunststoffdichtungsbahnen:
- GSE Lining Technology GmbH www.gseworld.com
- Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG www.naue.com

Hersteller von Dichtungskontrollsystemen
- PROGEO Monitoring GmbH www.progeo.com
- SENSOR Dichtungs - Kontroll - Systeme GmbH www.sensor-dks.com

Verlegung von Kunststoffdichtungsbahnen:
- G² G-quadrat Geokunststoffgesellschaft GmbH www.gquadrat.de
- NAUE Sealing GmbH & Co. KG www.nauesealing.com
- von Witzke GmbH & Co www.vonwitzke.de
- SIEBERT + KNIPSCHILD GmbH www.ibsiebert.de

Verlegung von mineralischen Abdichtungen:
- TD Umwelttechnik GmbH & Co. KG www.trisoplast.de
- Bickhardt Bau AG www.bickhardt-bau.de
- Kügler & Belouschek www.kuegler-textoris.de

Deponiegasverwertung:
- Haase Energietechnik AG www.bmf-haase.de
- LAMBDA Gesellschaft für Gastechnik mbH www.lambda.de
- Green Gas Germany GmbH www.greengas.net

ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE

Eine Auflistung von Unternehmen die in der Bauausführung tätig sind (Deponiebaufirmen) und weitere relevante Informationen zum Deponiebetrieb werden bereitgestellt von:

- AK GWS Arbeitskreis Grundwasserschutz e.V. www.akgws.de
- Überwachungsgemeinschaft Bauen für den Umweltschutz BU www.bu-umwelt.de

Umgang und Verwertung spezieller Abfallströme

Wesentlicher Bestandteil des Weges zu einem nachhaltigen Abfallwirtschafsmodell ist das Monitoring und die Förderung des Managements von Stoffströmen in den verschiedenen Bereichen der Abfallerzeugung.

Neben den Abfällen die alltäglich in Haushaltungen, öffentlichen Einrichtungen und kleinen Gewerbeeinheiten entstehen, fallen sowohl in diesen Bereichen als auch besonders im Zusammenhang mit Produktions- und Geschäftsaktivitäten beachtliche Mengen an Abfallstoffen bestehend aus abgenutzten oder nicht benötigten Materialien und Produkten an. Um ein Recycling zu ermöglichen und/oder den besonderen Eigenschaften, dem unregelmäßigem Anfall oder den speziellen Erfordernissen hinsichtlich eines sicheren Umganges mit diesen Stoffen Rechnung zu tragen, ist eine getrennte Erfassung und Behandlung meist unumgänglich. Im Allgemeinen sind folgende Ansammlungen von Abfällen besonders zu beachten:

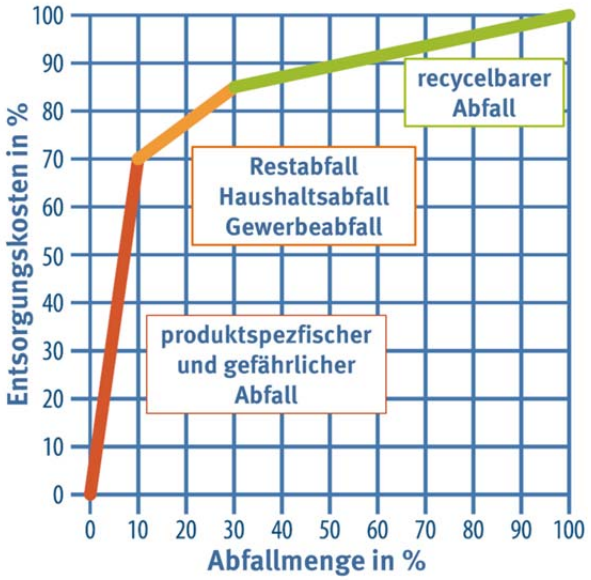
- *Hausmüllähnliche Abfälle* können wie Restabfälle aus dem Haushaltsbereich gesammelt, behandelt und verwertet werden.
- *Schadstoffhaltige oder potenziell gefährliche Abfälle*, sind Abfallstoffe die einem strikterem Kontrollregime unterzogen werden müssen und auf die, aufgrund ihres potenziellen Risikos für die Umwelt, spezielle Vorgaben zur Anwendung kommen (z.B. Basler Konvention über die Verbringung dieser Stoffe). Die Unterteilung in gefährliche und nicht gefährliche Abfälle basiert auf einem speziellen Klassifizierungs- und Kennzeichnungssystem gefährlicher Stoffe und Ausgangsmaterialien, womit sichergestellt ist, dass über den gesamten Lebensweg eines Produktes hinweg nach denselben Prinzipien der Einstufung verfahren wird.

  Die Eigenschaften, die einen Stoff als gefährlich qualifizieren, sind üblicherweise in Regularien festgehalten, die durch spezielle Listen untersetzt werden (wie z.B. das Europäische Abfallverzeichnis). Um das tatsächliche Gefahrenpotenzial von chemischen Abfallstoffen einschätzen und einen dementsprechenden sicheren Umgang gewährleisten zu können, sollten auch die Aktivitäten und Ergebnisse des "Internationalen Programmes für chemische Sicherheit" (International Program on Chemical Safety) und die in der EU unter dem Begriff REACH eingeführte Chemikalienpolitik allgemeine Beachtung finden.

  Ein Abfallstrom der ähnliche Aufmerksamkeit und Vorgehensweisen wie der der schadstoffbelasteten Abfälle benötigt ist der des infektiösen bzw. medizinischen Abfalls sowie der des Klärschlamms aus der Abwasserbehandlung. Bei schadstoffhaltigem und medizinischem Abfall handelt es sich vom Grundsatz her um Stoffe, die kritische Mengen an gefährlichen Substanzen enthalten und dadurch nicht für eine Verwertung in Frage kommen. Sie müssen getrennt von anderen Abfällen erfasst und so entsorgt werden, dass keine möglichen Gefahren für die Umgebung entstehen können. Eine Sammlung und Behandlung zusammen mit Haushaltsabfällen ist unter allen Umständen zu vermeiden. Bei Klärschlämmen besteht sowohl ein hohes Nutzungspotenzial als auch die Notwendigkeit besonderer Vorsorge und Behandlung aufgrund einer hohen Bandbreite potenziell enthaltener kritischer Bestandteile.
- *Abfall (produkt-oder produktions-) spezifischer Art*, sind Abfälle des produzierenden Gewerbes oder produktspezifische Abfallströme hervorgebracht durch industrielle oder geschäftliche Prozesse. Da diese Abfälle zumeist relativ rein anfallen bestehen hierfür gute Recyclingaussichten, vorausgesetzt es bleibt dabei, dass sie nach ihrer Entstehung auch weiterhin getrennt von anderen Abfallstoffen gehalten werden. Spezielle Regularien und eine geeignete Bepreisung von Primärressourcen und -rohstoffen im Vergleich zu Recyclingmaterial sollen einerseits zur Vermeidung solcher Abfälle jedoch wenigstens zu ihrer Minimierung bzw. bestmöglichen Verwertung beitragen.

Die Vermeidung, Reduzierung und – wenn immer möglich – Verwertung des Abfalls aus industriellen bzw. gewerblichen Aktivitäten ist eine Grundsatzforderung an eine geregelte Abfallwirtschaft und darüber hinausgehend zunehmend von ökologischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Unter dem Einfluss sich verringernder Primärressourcen sowie steigender Preise für Rohstoffe, Energie und Umweltleistungen sind Abfälle zu einem relevanten Kostenfaktor geworden, dessen Einfluss sich bei gutem Umgang mit den entstehenden Abfallströmen recht schnell positiv in der Betriebsbilanz niederschlagen kann.

Abbildung 1: Allgemeines Kostenverhältnis bei der Entsorgung, der vor allem bei industriellen und gewerblichen Aktivitäten entstehenden, verschiedenartigen Abfälle



Die Umweltpolitik wird zunehmend von der Notwendigkeit bestimmt, auch auf die Prozesse der Produktion Einfluss zu nehmen und zwar dergestalt, dass der ökologische Fußabdruck den Produkte während ihrer Herstellung, Nutzung und Entsorgung als Abfall hinterlassen, so gering wie möglich ausfällt.

Für ein nachhaltigkeitsorientiertes Modell industriellen Abfallmanagements bedarf es daher des Ansatzes zum produktionsintegrierten Umweltschutz (Cleaner Production) mit der Nutzung abfallarmer Technologien und eines betriebsinternen wie auch übergeordneten Stoffstrommanagements. Dazu gehören alle Maßnahmen, die dafür sorgen, dass ein Produkt mit möglichst geringem Material- und Energieaufwand produziert wird, die Rückgewinnung von Produktionsresten und der Einsatz von Sekundärrohstoffen verbessert, Stoffströme geschlossen und Schadstoffe vermieden bzw. durch andere Substanzen ersetzt werden. Das Erreichen dieser Zielstellung schließt sogar die Veränderung des Produktes selbst mit ein. Beispiele geeigneter Aktivitäten in dieser Richtung sind:

- Abfallrückgewinnung, -weiterverarbeitung und Wiedereinsatz werden als Teil der Produktion bzw. Betriebsabläufe verstanden und umgesetzt (bspw. durch Wiederaufbereitung von verbrauchten Kühl-, Schmier- und Lösemitteln sowie anderen Betriebsstoffen),
- Recycling wird als branchenübergreifende Lösung verstanden und praktiziert (bspw. zur Umsetzung einer Altölaufbereitung),
- Rohstoff-, material- und energiesparende Technologien werden genutzt und gefördert (bspw. die Runderneuerung von Altreifen).

Zur Nutzung und geordneten Entsorgung von Abfällen die bei Produktions- und gewerblichen Vorgängen entstehen, sind verschiedene Ansätze möglich. Für eine Vorgehensweise die häufig auch als Selbstentsorgungslösung oder Eigenverwertung bezeichnet wird, ist es erforderlich, dass die Unternehmen bzw. Abfallerzeuger ihre eigenen Abfallentsorgungsanlagen errichten und so betreiben, dass die anfallenden Abfälle in der bestmöglichen Form innerhalb der eigenen Betriebsabläufe und unter Einhaltung der generellen Umweltvorschriften wieder zum Einsatz (recycelt oder verwertet) kommen. Dieses Vorgehen empfiehlt sich besonders für Branchen die einen hohen Anfall an produktionsspezifischen Abfallstoffen haben und diese ohne großen Zusatzaufwand wieder dem Produktionsprozess zuführen können. Beispielbranchen hierfür sind das metall- und holzverarbeitende Gewerbe oder die papierwarenerzeugende Industrie. Gerade bei letzterer bietet es sich an, dass Reststoffe unmittelbar in den Produktionsprozess rücküberführt oder zur Sicherung des betrieblichen Energiebedarfs in eigenen Kraftwerksanlagen genutzt werden.

Eine alternative Option bildet die Fremdentsorgung welche reguläre Entsorgungsanbieter als Dienstleistung anbieten und damit die Zuführung der Abfälle zu einer geregelten Behandlung und Verwertung sicherstellen (siehe Datenblätter „Sammlung und Transport“ und „Aufbereitung und Behandlung“). Ein besonderes Problem stellen gefährliche Abfälle dar, da hierfür bis auf die Möglichkeiten der Verbrennung (siehe Datenblätter “Rostfeuerung“ und „Wirbelschichtverbrennung“) außer der Ablagerung auf speziellen Deponien (siehe Datenblatt „Deponie für gefährliche Abfälle“) kaum andere Verwertungsoptionen in größerem Maßstab zur Verfügung stehen.

Auch aus dem vorgenannten Grund muss ein wirksames Stoffstrommanagement vordringliches Augenmerk auf die Materialströme legen, welche entweder durch potenziell enthaltene Risiken, durch ihren starken Mengenzuwachs oder durch eine außer-ordentlich gute Recyclingfähigkeit eine besonders hohe Umweltwirksamkeit aufweisen. Diese sind als Abfallströme von höchster Relevanz zu betrachten für die eine Steuerung

durch spezielle Maßnahmen und Regelungen sinnvoll sein kann. Es sollte dann Ziel dieser Maßnahmen sein, dass ein besonderes Augenmerk auf die verstärkte Verwertung bzw. die Reduzierung von Umweltrisiken und Anwendung umweltschädlicher Entsorgungspraktiken gelegt wird.

Beispiele tatsächlich existierender oder potenziell möglicher Abfallströme für die sowohl Haushalte, das Gewerbe und industrielle Aktivitäten die Quellen bilden, sind Bestandteil der Darstellungen in dieser Dokumentation. Sie werden in Bezug auf umweltschonende Praktiken im Umgang, geeignete Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten und Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung ihres Anfalls einer näheren Betrachtung unterzogen. Ein Ausgangspunkt für die Wahl dieser Stoffströme bildet unter anderem die Tatsache, dass auf der Ebene der EU, für einige Abfallströme spezielle Richtlinien und Regelungswerke existieren.

Hinweis: Detaillierte Beschreibungen zu den im Text angesprochenen Sachverhalten können auch an anderer Stelle und in weiteren speziellen Dokumenten dieser Informationssammlung eingesehen werden.

Tabelle 1: Übersicht der auch in separaten Informationsabschnitten und Datenblättern behandelten Abfallströme

Datenblätter zu Abfallströmen
Bau- und Abbruchabfälle
Altöl
Altfahrzeuge
Altreifen
Altbatterien und -akkumulatoren
Elektrische und elektronische Altgeräte
Altlampen
Medizinische Abfälle
Altfarben und -lacke
Altteppiche
Klärschlamm aus kommunaler Abwasserbehandlung

Umwelt Bundesamt

BAU- UND ABBRUCHABFÄLLE

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS

- Bau- und Abbruchabfälle sind in der Regel der aufkommensstärkste Abfallstrom. Der Vermeidung und Kreislaufführung kommt entsprechend eine bedeutende Rolle zu.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Bau und Abbruch von Gebäuden sind zwar gegensätzliche Vorgänge, die jeweils entstehenden Abfälle aber grundsätzlich vergleichbar. Aus diesem Grund ist das Vorgehen sowohl bei der Entsorgung als auch der Behandlung zumeist nicht unterschiedlich, obwohl beim Neubauprozess die Abfälle oft sortenreiner anfallen.

Abfälle die bei Bau- bzw. Abbruchaktivitäten, z.B. an Gebäuden oder im Straßenbau entstehen, können eine hohe Vielfalt an Materialien umfassen. Das Spektrum an Materialien unterliegt dabei örtlichen Einflüssen, die sich aus traditionellen Unterschieden in der Art des Bauens, dem Baustil und den lokal vorkommenden Baustoffen ergeben.

Typisch für bauvorbereitende Handlungen und Hoch- und Tiefbauaktivitäten sind größere Mengen an Aushubmaterial wie Boden, mineralische Schichten und Steine in Verbindung mit geringeren Mengen an Baustoffresten und anderen Materialien.

Abbruchabfälle sind hingegen Gemische aus Boden, Sand, Natursteinen, Betonstücken, Keramik (wie Ziegel und Fliesen), behandelten und unbehandelten Hölzern, Metallteilen, Asphalt, Dachdeckermaterialien sowie Trockenbaubestandteilen. Hinzu kommen die auch im Haushaltsabfall üblichen Kunststoffe, Glas, Papier und Textilien. Auch Installationselemente aus dem Elektrobereich wie z.B. Kabel, Schaltelemente und Geräte sowie Isolationsmaterialien und Rohrleitungen gehören mit dazu.

Bau- und Abbruchabfälle sind in der Regel sowohl sperrig als auch von hohem Gewicht.

WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Abfälle aus Bau- und Abbruchaktivitäten bilden üblicherweise den aufkommensstärksten Abfallstrom und sind mengenmäßig auch in Siedlungsabfällen oft in bedeutsamen Umfang enthalten. Die innerhalb eines Gebietes erzeugten Mengen können jedoch aufgrund der unsteten Baukonjunktur von Jahr zu Jahr stark schwanken. Es gilt hier in besonderem Maße die Prinzipien der Abfallhierarchie umzusetzen. Die oberste Priorität hat dabei die Vermeidung gefolgt von der Vorbereitung zur Wiederverwendung und dem Recycling.

Abfallvermeidung im Baubereich

Wie effektiv Abfälle bei Bau- bzw. Abbruchaktivitäten vermieden oder vermindert werden, wird bereits in der Planungsphase, das heißt durch die Wahl der Bauweise und -durchführung sowie der Baustoffe und der Baustellenorganisation festgelegt. Nur Materialien die in den Bauprozess eingebracht wurden und schon bei der Verarbeitung als Reste verbleiben oder aber sich später nicht mehr ausbauen und unmittelbar nachnutzen lassen, werden tatsächlich zu Abfällen.

Zum Beispiel kann die Anwendung einer Segmentbauweise unter Einsatz vorgefertigter und leicht nachnutzbarer Bauteilkomponenten entscheidend dazu beitragen, die Menge an Bau- und Abbruchabfälle zu verringern und hohe Wiederverwertungsquoten zu erreichen. Auch die intelligente Baustellenplanung, bei der nur die wirklich benötigten Materialmengen in den richtigen Abmessungen und Zuschnitten auf die Baustelle gelangen, ist ein wichtiges Instrument. Ebenfalls erforderlich ist die richtige und geschützte Lagerung des Materials bis zum Einsatzzeitpunkt.

Damit eine abfallarme Bauausführung gelingt, beispielsweise durch die Wiederverwendung von Schalmaterial oder durch die Erfassung noch am Ort direkt wieder einsetzbarer Materialien, muss einer abfallarmen Arbeitsweise auch vom Bauplaner/Bauherr Priorität eingeräumt werden. Von diesen müssen Bautechniken und Materialeinsatz so gewählt werden, dass die Bauziele auf dem effizientesten Weg erreicht werden.

	Dazu gehört auch eine gute Koordination verschiedener Serviceleistungen (u.a. abgestimmter Einbau von verschiedenen Medien und Versorgungs-/Entsorgungsleitungen), die hilft, wiederholte Bauaktivitäten mit entsprechenden Abfallentstehungen zu vermeiden Die Ansätze des selektiven Rückbaus und der "geschlossenen" Baustelle sind zwei Möglichkeiten, damit möglichst wenige Bau- und Abbruchabfälle entsorgt und verwertet werden müssen. Eine möglichst umfassende Verwertung der Bau- und Abbruchabfälle setzt voraus, dass sie von Beginn an getrennt erfasst und getrennt gehalten werden. Die Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen hat folgende Vorteile: - Verringerung des Bedarfs an Primärrohstoffen und die mit ihrer Gewinnung verbundenen Umweltauswirkungen, - Verringerung des Bedarfs an Deponieraum, - Bei Wiedereinsatz vor Ort werden Transporte und damit Kosten und Umweltauswirkungen vermieden, - Die erzeugten Sekundärrohstoffe können Erlöse erzielen *Folgende Herausforderungen sind bei der Verwertung zu beachten:* - zusätzliche Arbeitskosten und zusätzlicher technischer Aufwand für die getrennte Erfassung und Aufbereitung müssen gedeckt werden, - eine gleichbleibende Qualität des Recyclingmaterials ist zu gewährleisten, - die Komplexität der Bauaktivitäten erfordern erhöhte Managementaufwendungen, - Umweltwirkungen durch Lärm, Verschmutzungen und Transporte im Zusammenhang mit der Aufbereitung sind einzudämmen
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN	Falls Bau- und Abbruchabfälle nicht getrennt erfasst und gehalten werden, ist es schwierig, Wertstoffe zurückzugewinnen. Dies wird im ungünstigsten Falle durch kontaminierte Abfälle weiter erschwert wie z.B. ölverschmutzte Böden, imprägnierte Hölzer, Teerbestandteile oder gipshaltige Materialien. Derartige Bau- und Abbruchabfälle sind in der Vergangenheit nahezu ausschließlich deponiert worden. Inzwischen verlangt die Rechtslage in Europa, nicht inerte, organische Bestandteile, wie bspw. Altholz und Kunststoffe vor der Deponierung verstärkt zu separieren (vgl. Deponierichtlinie 99/31/EC). Außerdem lassen sich bestimmte, sauber getrennte Fraktionen aus Bau- und Abbruchabfällen inzwischen gut vermarkten. ***Rückbau*** Durch einen selektiven Rückbau können die Aussichten auf Wiederverwendung bzw. Weiterverwertung von Bauabfällen deutlich erhöht und die Aufbereitungsnotwendigkeit stark reduziert werden. Diese Vorgehensweise ist für ein hochwertiges Recycling und eine weitreichende Verwertung deshalb von besonderer Bedeutung. Sie vermeidet Zerstörungen und die Vermischung verschiedener Abfälle weitestgehend und verhindert die Übertragung möglicher Kontaminationen auf den Rest der Abfälle. Mit Schad- oder Störstoffen (wie Gips) kontaminierte Materialien, wiederverwendbare Bauteile wie z. B. architektonisch wertvolle Fassaden- oder Innenelemente, Treppen, Geländer, Türen, Kacheln, Parkette o. ä. als auch hochwertige Materialien (z.B. Kupferrohre) müssen aus- oder rückgebaut werden. Beim weiteren Abbruch kann darauf geachtet werden, dass z.B. Ziegel, Beton- und Steinelemente nicht zerstört und somit nach einer Grobreinigung wieder eingesetzt werden können. In der Regel führt dieser zusätzliche Aufwand erst einmal zu einer Verringerung des Abbruchtempos und erhöht Planungs-, Arbeits- und Koordinationsaufwand. Dem gegenüber stehen jedoch erhebliche Einsparungen bei der Bauabfallentsorgung sowie durch die nicht notwendigen Transporte und Beschaffungen von Neumaterial. Durch diese Einsparungen können die Mehraufwendungen kompensiert werden.

Tabelle 1: Prozessablauf des kontrollierten Rückbaus von Gebäudekonstruktionen

Prozessschritt		insb. adressierte Bausubstanz	Ziel des Prozessschritts
Schritt 1:	Beseitigung von schadstoffbelastetem Material und von Störstoffen	z.B. Bauteile mit Anteilen von Asbest, PCB, PCP/Lindan, Teer und Kontaminationen, wie Wärmedämmstoffe mit HBCDD, oder Störstoffen wie Gips/Sulfat (in Estrichen und Werkstoffplatten),	Getrennte Erfassung, Behandlung und sichere Entsorgung
Schritt 2:	Zerstörungsfreier Ausbau von direkt wiederverwendbaren Bauteilen, Entleerung und Ausbau von Versorgungseinrichtungen	z.B. Bauteile von antikem oder architektonischem Wert, Treppen, Lampen, Geländer, Säulen, Rohrleitungen etc.	Säuberung, Reparatur oder Aufarbeitung, Lagerung und Wiedereinsatz
Schritt 3:	Ausbau von Bauteilen die nach Aufbereitung eine Verwendung finden könne	z.B. Fenster, Dacheindeckungen, Parkette, Verkleidungen, Türen	Aufarbeitung, Lagerung und Wiedereinsatz
Schritt 4:	Entnahme/Abbau und getrennte Erfassung aller verwertbaren Baumaterialien	z.B. Metall- und Holzteile soweit ohne tragende Funktion, Glas	Trennung, Aufbereitung und Zuführung zum Recycling
Schritt 5:	Entnahme / Abbau und getrennte Erfassung aller nicht verwertbaren Baumaterialien	z.B. behandelte Hölzer, Isoliermaterial, Trockenbauwände, Schäume	Trennung und geordneter Behandlung und Beseitigung
Schritt 6:	Abbruch der restlichen Bausubstanz einschl. Bodenplatte und Gründung	Alle verbleibenden Stoffe vor allem gemauerte Teile und Betonkonstruktionen	Trennung, Aufbereitung und weitest gehende Verwertung

Um die Wiederverwendung bzw. Weiterverwertung sicherzustellen ist die Getrennthaltung der verschiedenen Materialien bei Erfassung, Lagerung und Transport enorm wichtig. Hierfür bedarf es einer Nutzung geeigneter Containersysteme (siehe Datenblätter „Abrollcontainer“ und „Absetzcontainer“), sowie deren Gestellung in ausreichender Zahl und zur richtigen Zeit.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

Die Wiedereinsatz- und Verwertungsmöglichkeiten für Bau- und Abbruchabfälle und daraus gewonnene Materialien sind vielfältig. Bei guter und gesicherter Qualität (siehe bei Normen bzw. Gütesicherung) können Gesteinskörnungen aus Betonbruch, und in geringerem Umfang auch aus Mauerwerksbruch, für die Herstellung von Betonen für den Hochbau verwendet werden. Ansonsten kommen Je Beschaffenheit als Einsatzbereiche insbesondere der Landschaftsbau, Unterbau und Tragschichtherstellung im Straßen- und Wegebau, Geländeverfüll- und -ausgleichsmaßnahmen und der Bau von Sicht- und Lärmschutzanlagen in Frage.

Auch beim Deponiebau sind entsprechend aufbereitete Baureststoffe als Materialien in signifikantem Umfang nachgefragt. Einsatzbereiche hierbei sind der Bau der Fahrwege im Deponiebereich, die Begrenzungen der einzelnen Deponieabschnitte, die Verbauung, Herstellung von Drainageschichten und andere geotechnische Bau- und Abdeckmaßnahmen. Näher auf diese Maßnahmen eingegangen werden in den Datenblätter zu den verschiedenen Ablagerungsmöglichkeiten (siehe Datenblätter „Ablagerung“).

Bauherren und -planer müssen sich beim Einsatz von Recycling-Baustoffen auf die Einhaltung europäischer Standards und Normen verlassen können, denn sie haften für die Arbeits- und Standsicherheit der Bauwerke. Die europäische Norm EN 206-1, zusammen mit der EN 12620 beschreibt wie Betone mit rezyklierten Gesteinskörnungen herzustellen und zu verwenden sind.

Vertrauen und Verlässlichkeit zwischen allen Baubeteiligten schaffen darüber hinaus nationale Gütesicherungssysteme – wie in Deutschland die RAL – Gütesicherung für Recycling-Baustoffe. Neben dem Vertrauen auf der Abnehmerseite geben solche Systeme Aufbereitungsunternehmen eine Handhabe, mit schwankendem Aufkommen und schwankenden Qualitäten der Bau- und Abbruchabfälle umzugehen, d.h. mit Materialien unterschiedlicher Herkunft, verschiedenen Alters, verschiedenartiger Zusammensetzung und potenziell vorhandenen Kontaminationen oder Verunreinigungen. Bei Bodenmaterial können dies, neben

sichtbaren Belastungen durch Öl oder Teer, auch unsichtbare Schwermetallgehalte sein; bei Hölzern z.B. auch nicht sichtbare Behandlungen mit chemischen Holzschutzmitteln und Flammhemmern.

Tabelle 2: Optionen zur Nutzung verschiedener Fraktionen aus Bau- und Abbruchabfällen

Material		Optionen der Verwertung
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle		Nach Vorbehandlung belastungsarme Ablagerung
Getrennt gesammelte Bau- und Abbruch-abfälle	Steine/Kies	Ausgangsbasis für neue Strukturmaterialien und Verfüllstoffe, Verwendung für Straßentragschicht
	Beton	Ausgangsbasis für Strukturmaterialien und Verfüllstoffe Verwendung für Straßentragschicht und beim Betonbau
	Altholz	Herstellung von Span- u. Faserplatten, Mulch- und Kompostsub-straten, Einsatz als Brennstoff
	Metalle	Wiederverwendung in der Metallproduktion
	Andere Materialien	Glas: Wiederverwendung zur Glaserzeugung Kunststoff: zur Erzeugung von Kunststoffrezyklaten, als Brenn-stoff Gipswerkstoffplatten: zur Herstellung von neuen Gipswerkstoff-platten/Gipskartonfaserplatten
	Asphalt	Einsatz bei Herstellung von Straßenbett, neuer Asphaltdecken und als Reparaturasphalt

In der Ausschreibung für die beim Bauen einzusetzenden Materialien müssen die technischen Anforderungen so formuliert werden, dass –unter Einhaltung der gängigen Normen– recycelte Baustoffe nicht diskriminiert werden. Hier kann auf Ausschreibungsempfehlungen der Kompetenzstelle für Nachhaltige Beschaffung des Bundes (KNB) zurückgegriffen werden.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN

Die angestrebte Verwertung kann zusätzliche Technik für Aufbereitung und Säuberung erforderlich machen. Diese Behandlung von Bau- und Abbruchabfällen kann sowohl am Ort des Anfalls oder in zentralen, stationären Anlagen erfolgen.

Vor-Ort Aufbereitung

Die Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen am Anfallort trägt am wirksamsten dazu bei, dass diese Materialien erneut zum Einsatz gelangen und damit die Verwertungsquote weiter erhöht werden kann. Speziell trifft das für solche Materialien zu, für die direkt am Gewinnungsort oder in der näheren Umgebung eine Verwendungsmöglichkeit besteht. Anfallender Betonbruch wird idealerweise unmittelbar vor Ort zerkleinert und klassiert um an gleicher Stelle oder in direkter Nähe sofort als Zuschlag für bestimmte Betonarten oder als Schüttung für den Unterbau von Straßen und Wegen eingesetzt zu werden. Ein solcher Wiedereinsatz von Mineralgemischen, Sand und Kies verringert den Bedarf an Primärrohstoffen an anderer Stelle, wodurch Eingriffe in die Natur und weitere Umweltbelastungen vermindert werden.

Vereinzelt ist es möglich, eine Bau- bzw. Abbruchmaßnahme auch als sogenannte “geschlossene” Baustelle zu führen. Dabei wird bei der Planung der Anspruch erhoben, dass alle erzeugten Abfälle direkt wieder vor Ort Verwendung finden und dazu im besten Falle auch keinerlei Materialien zur Aufbereitung zu anderen Anlagen transportiert werden müssen. Dieser Ansatz bietet sich bei Abbruchmaßnahmen mit anschließendem Neubau an.

Die vor-Ort Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen bedarf zusätzlicher Flächen zur Platzierung mobiler Technik wie z.B. Brecheraggregate und Siebanlagen sowie zur Zwischenlagerung der erzeugten Recyclingbaustoffe. Dies kann den Einsatz einer vor-Ort Aufbereitung einschränken. Außerdem entstehen bei der Aufbereitung zusätzliche Lärm- und Schadstoffemissionen. Die gleichzeitige Verringerung von Transporten durch eine Kreislaufführung der Materialien vor Ort kann diese jedoch teilweise kompensieren.

Zur Schließung aller Stoffkreisläufe ist es notwendig, dass alle entstehenden Abfälle bekannt sind und sie keine Schadstoffkontaminationen aufweisen. Im Vorfeld müssen daher selbstverständlich gefährliche Bestandteile wie bspw. asbesthaltige Materialien, Bleirohre, usw. entfernt werden.

Abbildung 1: Mobile Aufbereitungsanlagen für Bauschutt (Bildquellen oben & unten: Jochen Zellner, Landkreis Neustadt/Aisch-Bad Windsheim , www.abfallbild.de)

Zentrale Aufbereitung

Stationäre Anlagen haben einen höheren Durchsatz als mobile Anlagen und können Materialien unterschiedlicher Herkunft gleichzeitig verarbeiten. Damit sind sie in der Lage, die Versorgung mit Recyclingbaustoffen einfacher in verlässlicher Qualität zu gewährleisten. Stationäre Aufbereitungsanlagen können technisch umfassender ausgestattet werden als mobile Anlagen. Dadurch können Recyclingmaterialien in größerer Breite und mit speziellen Spezifikationen erzeugt werden. Außerdem lassen sich Lagermöglichkeiten in erweitertem Umfang einrichten. All dies sind Faktoren, die die Verwertungsmöglichkeiten für Bau- und Abbruchabfälle verbessern.

Nach Erreichen der Anlage sind Bau- und Abbruchabfälle zuerst zu sichten, um für den Aufbereitungsprozess schädlichen Komponenten (wie z.B. sperrige Metallteile, grobe Anhaftungen von Störstoffen) möglichst zu entfernen. Danach erfolgen in der Regel eine erste Zerkleinerung und eine automatische Metallabscheidung. Durch Windsichter lassen sich leichte Bestandteile wie z.B. Papier und Kunststoffanteile abtrennen. Verschiedene Siebstufen und weitere Zerkleinerungen sorgen dann dafür, dass aus dem verbleibenden mineralischen Material eine breite Vielfalt an grob- und feinstrukturierten Schüttgut erzeugt werden kann.

Verwertung des aufbereiteten Materials und der Reste

Die Abfälle, die bei Tiefbaumaßnahmen zur Erschließung von Baugrund anfallen, typischerweise Erden, Steine und Unterboden, machen den größten Anteil an Bau- und Abbruchabfällen aus (etwa 45%). Bei Gebäudeabbrüchen entstehen zum überwiegenden Teil mineralische Materialien und in geringeren Mengen Holz und andere Fraktionen, vor allem Metalle, Glas und Kunststoffe. Diese Materialien sind insbesondere für folgende Verwertungen geeignet:

Erden, Steine und Unterboden können von anderen Materialien per Sieb getrennt werden (bei kontaminierten Böden per Bodenwaschanlage) und direkt vor Ort wiederverwendet werden (Verfüllung und Profilierung des Baustandortes). Falls es sich um eine Straßenerneuerungsmaßnahme handelt, können bituminöse Materialien und Asphaltanteile enthalten sein. Sollten diese bei der gewählten Verwendungsart stören, müssen sie abgetrennt werden.

Asphalt lässt sich unmittelbar vor Ort aufbereiten und wiederverwenden. Dadurch lassen sich gleichzeitig Entsorgungsaufwendungen und Kosten zur Herstellung und Beschaffung neuwertiger Baumaterialien minimieren. Bei der Baumaßnahme zurückgewonnener Asphalt kann zum einen mit Neuasphalt vermischt und dann zur Herstellung von Straßendecken oder als Reparaturasphalt verwendet werden. Noch häufiger wird Recyclingasphalt allerdings zur Herstellung von Straßenunterschichten, Straßenbanketten oder zur Deponieauskleidung bzw. Deponieabdeckung verwendet. Hierbei wird der Recyclingasphalt vorab zerkleinert.

Betonbruch wird hauptsächlich zur Gründung von Straßen eingesetzt. Besonders hochwertig, weil zukunftsfähig und vielseitiger, ist der Einsatz gütegesicherter Gesteinskörnungen aus Betonbruch als Zuschlag für Betone (z.B. für den Hochbau). Betonbruch kann zudem auch für eine Vielzahl anderer Verwendungen eingesetzt werden, dazu gehören unterschiedliche Gründungen, Trag- und Mittelschichten im Straßenbau.

Altholz sowohl in behandelter als auch in naturbelassener Form fällt in relativ großen Mengen beim Abbruch an, insbesondere bei Gebäuden älterer Bauart. Einen erheblichen Anteil dieser Holzabfälle sind Türen, Fensterrahmen, Verkleidungen und zurückgelassene Möbelteile. Holzabfälle aus der Baugrunderschließung und unbehandelte Hölzer sind für eine direkte Nutzung geeignet. Zerkleinert ist ein Einsatz zur Herstellung von Span- und Faserplatten ebenso möglich wie die Verwendung bei der Kompostierung um Humus- und Mulchsubstrate zu erzeugen (siehe Datenblatt „Kompostierung“). Ein hoher Anteil der Abbruch- und Bauhölzer kann jedoch durch Anstriche und/oder chemische Behandlung und Schutzmaßnahmen belastet sein, so dass in diesem Falle die Verwertung in thermischen Prozessen eine der umweltverträglichsten Optionen darstellt. (siehe Datenblätter Verbrennung).

Alle **sonstigen Materialien** mit signifikanten Anteilen an den Bau- und Abbruchabfällen, wie z.B. Glas, Kunststoffe, Metalle und Papier weisen ähnliche Qualität und Eigenschaften auf wie bei deren Vorkommen im Hausmüll und Gewerbeabfall. Eine getrennte Erfassung, notfalls auch eine spätere Abtrennung, ermöglicht eine Aufbereitung- und Behandlung wie sie in den Datenblättern zur Aufbereitung beschrieben sind (siehe Datenblätter „Aufbereitung“). Es gilt jedoch zu beachten, dass Kunststoffe, Papier und Pappen aus dem Bauabfall häufig nicht die Qualitäten aufweisen, die für ein hochwertiges und wirtschaftlich tragbares Recycling notwendig sind. Aus diesem Grunde ist die Erzeugung einer heizwertreichen Fraktion aus diesen Komponenten oder ein direkter Einsatz in industriellen Mitverbrennungsprozessen (siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“) meist zu bevorzugen.

Der Umgang mit Dämmmaterialien aus Polystyrol (EPS) hat aufgrund der Belastung mit persistenten organischen Schadstoffen (POP) bzw. der besonders besorgniserregenden Substanz Hexabromcyclododecan (HBCDD) unter besonderer Vorsicht und an der dafür bestehenden Rechtslage orientiert zu erfolgen.

AUSWIRKUNGEN AUF ANDERE BEREICHE

Mit der Rückgewinnung von Materialien aus Bau- und Abbruchabfällen zur Weiterverwendung und Verwertung sind neben deutlichen ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen auch signifikante Beschäftigungseffekte erzielbar. Besonders der selektive Rückbau erfordert einen hohen manuellen Arbeitsanteil für Ausbauarbeiten, zur Säuberung und Wiederaufbereitung des geborgenen Materials und dessen Verkauf/Wiedereinsatz.

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

In Deutschland werden Anlagen zur Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen flächendeckend und in großer Zahl betrieben, zahlreiche Unternehmen arbeiten zudem mit mobilen Aggregaten. Unter anderem dadurch werden inzwischen über 90 % der entstehenden Bau- und Abbruchabfälle verwertet. Die benötigte Technik und Ausrüstungen werden von verschiedenen Firmen hergestellt und vertreiben. Dazu gehören u.a.:

Siebtechnik

- EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com
- Backers Maschinenbau GmbH, Twist www.backers.de
- Sutco Recycling Technik, Bergisch Gladbach www.sutco.de
- Sandvik Mining and Construction Crushing Technology GmbH Bergisch Gladbach www.miningandconstruction.sandvik.com/de

Brechertechnik

- EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com
- HAZEMAG & EPR GmbH, Dülmen www.hazemag.de
- Sandvik Mining and Construction Crushing Technology GmbH Bergisch Gladbach www.miningandconstruction.sandvik.com/de

Windsichter

- Integra Ingenieurbetriebsgesellschaft, Saerbeck www.integra-ibg.de

Umwelt Bundesamt

ALTFAHRZEUGE

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

Altfahrzeuge sind ein wertstoffhaltiger Produktstrom bei dem zudem hohe Wiederverwendungspotenziale (Ersatzteilgewinnung) aber auch Risiken durch gefährliche Bestandteile bestehen. Im Bereich der EU wurden für diesen Produktstrom Anforderungen an die Rücknahme und Behandlung in einer eigenständigen Direktive formuliert und Regelungen für die Wahrnehmung der Produzentenverantwortung getroffen.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Autos bestehen aus verschiedenen Konstruktionsteilen, die aus vielen unterschiedlichen Materialien hergestellt sind. Ein durchschnittlicher PKW besteht aus den folgenden Materialkomponenten und Betriebsmitteln:

Tabelle 3: Orientierungswerte für Materialzusammensetzung und enthaltene Betriebsmittel von Altfahrzeugen

MATERIALZUSAMMENSETZUNG		ENTHALTENE BETRIEBSMITTEL	
Material	Menge	Art des Betriebsmittel	Menge
Stahl	400 kg	Kraftstoff	5–10 Liter
Kunststoffe	125 kg	Kühlerflüssigkeit	7 Liter
Motor	100 kg	Motoröl	4 Liter
Isolier- und Betriebsabfall	50 kg	Kältemittel	1–4 Liter
Übrige Gummi-Teile	35 kg	Getriebeöl	2 Liter
Elektromotoren	10 kg	Stoßdämpferöl	1 Liter
PUR-Schaum	10 kg	Schmierfett	1 Liter
Sicherheitsglas	6 kg	Bremsflüssigkeit	0,7 Liter
Verbundglas	4 kg	Differentialöl	0,5 Liter
Verkabelung	4 kg	Servolenkungsöl	k. A.
Reifen	5 Stück		

RECHTSGRUNDLAGEN BZW. REFERENZDOKUMENTE MIT GELTUNG FÜR EU

Den Regelungsrahmen für die sichere Entsorgung von Altfahrzeugen in Europa bildet die Richtlinie 2000/53/EC vom 18.09.2000 über Altautos. Diese wird vertieft durch die Entscheidung der Kommission 2005/293/EG zur Festlegung der Einzelheiten für die Kontrolle der Einhaltung der Zielvorgaben für die Wiederverwendung/Verwertung und die Wiederverwendung/Recycling gemäß der Richtlinie 2000/53/EC. Die dokumentierten Mengen der Altfahrzeugverwertung sind der Europäischen Kommission alle 3 Jahre (Artikel 9, Altfahrzeugrichtlinie) über einen Fragebogen gemäß der Kommissionsentscheidung 2001/753/EG zu übermitteln. Zusätzlich wird über die Kommissionsentscheidung 2003/138/EG eine Kennzeichnungsnorm für Bauteile und Werkstoffe festgelegt.

WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Für den Abfallstrom gilt das Gebot, durch eine getrennte Erfassung der Altfahrzeuge und Entfernung sowie gefahrlose Beseitigung gefährlicher Stoffe, die Voraussetzungen für eine größtmögliche Verwertung zu schaffen und diese dann zu realisieren. Anforderungen, die zu beachten sind, beinhalten vor allem:

- *eine Vorbehandlung der Altfahrzeuge zur Beseitigung von Schadstoffen:*
  - o Entfernen von Batterien und Flüssiggastanks
  - o Entfernen oder Neutralisierung potentiell explosionsfähiger Bauteile (z.B. Airbags)
  - o Entfernen sowie getrennte Sammlung und Lagerung von Kraftstoff, Motoröl, Kraftübertragungsflüssigkeit, Getriebeöl, Hydrauliköl, Kühlflüssigkeit, Frostschutzmittel, Bremsflüssigkeit und Flüssigkeiten aus Klimaanlagen sowie anderen in den Altfahrzeugen enthaltenen Flüssigkeiten, es sei denn, sie sind für die Wiederverwendung der betreffenden Teile erforderlich
  - o soweit durchführbar, Entfernung aller Bauteile, die nachweislich Quecksilber enthalten

	- *Behandlungsmaßnahmen zur Verbesserung der Recyclingmöglichkeiten*: o Ausbau von Katalysatoren o Ausbau von kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltigen Metallbauteilen, wenn die entsprechenden Metalle nicht beim Shreddern getrennt werden o Abbau und Entnahme von Reifen und großen Kunststoffbauteilen (Stoßfänger, Armaturenbrett, Flüssigkeitsbehälter usw.), wenn die entsprechenden Materialien beim Shreddern nicht in einer Weise getrennt werden, die ihr tatsächliches Recycling als Rohstoff ermöglicht o Entnahme von Glas Zielvorgaben zur Wiederverwendung und Verwertung von Materialien und Bauteilen aus Altfahrzeugen befördern das Altautorecycling und sind bspw. in Europa durch die Altfahrzeug-Richtlinie festgelegt. Ab dem Jahr 2015 sollen die Wiederverwendung und Verwertung mindestens 95 Prozent des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts betragen und die Quoten für die Wiederverwendung und das Recycling werden mit 85 Prozent des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts festgelegt. Einen Beitrag zur Abfallvermeidung als oberster Priorität stellen die Reparatur von Fahrzeugen sowie die Gewinnung von Fahrzeugkomponenten und Ersatzteilen aus Altfahrzeugen für die Wiederverwendung dar.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN	Eine Rückgabe von Altfahrzeugen durch die Letzthalter sollte bei akkreditierten Annahme- bzw. Rücknahmestellen oder direkt bei Demontagebetrieben erfolgen. Eine Akkreditierung dieser Betriebe über erbrachte Voraussetzungen für eine Annahme bzw. eine umweltgerechte Demontage und Behandlung sichern einen ordnungsgemäßen Umgang, Verbleib bzw. eine adäquate Verwertung der Altfahrzeuge. Annahme- bzw. Rücknahmestellen führen keine Demontagetätigkeiten aus sondern nehmen Altfahrzeuge an, dokumentieren die Annahme und den weiteren Verbleib und stellen sicher, dass die Altfahrzeuge nicht direkt übereinander geschichtet bzw. nicht auf der Seite oder dem Dach lagernd bereitgestellt werden. Dies verhindert einen Austritt von gefährlichen Inhaltsstoffen (u.a. Kraftstoffe, Öle) bzw. das Auslösen von pyrotechnischen Komponenten (z.B. Airbags). Darüber hinaus ist eine Beschädigung von potentiell wiederverwendbarer Ersatzteilen als auch demontierbaren verwertbaren Bestandteilen (u.a. Fensterglas) auszuschließen. In einigen Ländern, wie z.B. Deutschland, besteht eine Rücknahmepflicht für Altfahrzeuge durch die Fahrzeughersteller. Diese sind verpflichtet, das Altfahrzeug zurückzunehmen und an einen akkreditierten Demontagebetrieb weiterzuleiten bzw. dessen Verwertung/Weitergabe nachzuweisen. Fahrzeughersteller können akkreditierte Rücknahmestellen mit der Rücknahme des Altfahrzeugs vom Letzthalter beauftragen. Im Falle einer illegalen Ablagerung von Altfahrzeugen sind bei erfolgloser Zurückverfolgung der Letzthalter Kommunen für die Weitergabe dieser Altfahrzeuge in akkreditierte Annahmestellen bzw. Demontagebetriebe zuständig.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND STRATEGIEN	Altfahrzeuge müssen für das Recycling zerlegt und die Materialien aus denen sie bestehen, einer weiteren Behandlung zugeführt werden. Für die dazu erforderliche Demontage von Altfahrzeugen lässt sich folgendes Grundschema aufstellen: 1. Annahme des Altautos und Eingangskontrolle sowie Ausstellung eines Verwertungsnachweises für den Letztbesitzer 2. Zwischenlagerung auf geeignetem Platz und in geeigneter Stellung 3. Trockenlegung (Entnahme von Batterien, Airbags, Kraftstoff, Öl, Kältemittel) 4. Demontage von Komponenten zu Wiederverwertung (Entnahme von Motor, Getriebe, Lichtmaschine usw.) 5. Demontage von Komponenten zur Verwertung (Entnahme von Kunststoffteilen, Glas, Katalysator usw.) 6. Zerkleinerung der Altkarosse im Shredder (Trennung in Eisenschrott und Nichteisen-Metallschrott zum Recycling und Sonstiges, was nicht verwertet werden kann)

Nach der Altfahrzeugannahme im Demontagebetrieb erfolgt der Ausbau der Batterie, im Falle eines Gasantriebs die Entnahme des Gastanks und der pyrotechnischen Komponenten. Insbesondere der Ausbau von Personenrückhaltesystemen (Airbags, Gurtstraffer) unterliegt besonderen Anforderungen, da für die Funktionalität Pyrotechnik verwendet wird, die ein Auslösen bzw. das Unschädlichmachen des Treibsatzes notwendig machen. Eine spezielle Weiterbildung zum Umgang mit Pyrotechnik für das Personal ist dazu erforderlich.

In einem weiteren Schritt werden im Rahmen der Trockenlegung die Betriebsflüssigkeiten entnommen. Dazu zählen Motor-, Getriebe-, Differentialgetriebe- und Servolenkungsöl, Stoßdämpferöl, die Bremsflüssigkeit, Scheibenwaschwasser, Kühlflüssigkeit und Kältemittel (Klimaanlage). Die Betriebsflüssigkeiten werden abgelassen, gesammelt, zeitweise in säurebeständigen Containern gelagert und anschließend auf umweltschonende Weise entsorgt (siehe Datenblatt „Altöl“). Insbesondere Kältemittel stammend aus Klimaanlagen sind unter Verwendung von speziellen Klimaservicegeräten abzulassen, da bis 2011 als Kältemittel vorrangig R134a (1,1,1,2-Tetrafluorethan) eingesetzt wurde, welches ein hohes Treibhauspotential (GWP-Wert von 1430) besitzt.

Nach Entnahme der Betriebsflüssigkeiten, erfolgt die Demontage von wiederverwertbaren Ersatzteilen (z.B. Lichtmaschine) und recycelbaren Komponenten (z.B. Glas, Kunststoffe). Mittels Demontage sollten mindestens folgende Bestandteile aus der Karosse entfernt werden:

- Latentwärmespeicher
- Stoßdämpfer, wenn nicht trockengelegt
- asbesthaltige Bauteile
- quecksilberhaltige Bauteile (soweit durchführbar)
- kraftfahrzeugfremde Stoffe, wie beispielsweise Haushaltsabfälle
- Katalysatoren,
- Aluminiumfelgen
- Front-, Heck- und Seitenscheiben sowie Glasdächer
- Reifen und Auswuchtgewichte
- große Kunststoffbauteile
- kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltige Metallbauteile

Die Demontagetiefe steht dabei in Abhängigkeit des Alters und des Zustands (z.B. Unfallwagen) des Altfahrzeugs und der sich daraus ergebenden Wirtschaftlichkeit.

Abbildung 2: Organisationsschema einer Altfahrzeug-Demontageanlage

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND STRATEGIEN -Fortsetzung-	Nach einer ordnungsgemäßen Trockenlegung und Demontage schließt sich eine Zerkleinerung der Restkarosse durch Shredder an. Die entstehenden Fraktionen (u. a. Eisen-, Nichteisenmetalle, Schredderleichtfraktion, Schredderschwerfraktion) werden folgend einer weiteren Verwertung zugeführt. Materialien für die weder ein Markt besteht noch wirtschaftlich bzw. aus Umweltsicht zumutbar eine stoffliche Verwertung durchgeführt werden kann, sind auf anderen Wegen sicher zu entsorgen. Eine vorrangige Rolle spielt hierbei die Nutzung thermischer Verwertungs- bzw. Behandlungsverfahren (siehe Datenblätter „Verbrennung"). Eine Deponierung der entnommenen Abfälle ohne weitere Behandlung sollte generell aus Ressourcen- und Umweltschutzaspekten vermieden werden, in Deutschland ist sie verboten. Anlagen zur Demontage und Verwertung von Altfahrzeugen sollten spezielle Umweltauflagen erfüllen und müssen daher zum Gegenstand einer Genehmigungspflicht gemacht werden, da die Lagerung und Trockenlegung von Altfahrzeugen bei unsachgemäßer Ausführung eine Verunreinigung des Bodens und der Gewässer nach sich zieht. Zusätzlich sollten Altfahrzeug-Demontagebetriebe in der Pflicht stehen, eine Mengendokumentation über den Bestand und Verbleib der Materialien und Abfälle und eine Bilanzierung über die wiederverwendeten, verwerteten und beseitigten Bestandteile zu führen, sodass eine nachweislich ordnungsgemäße Verwertung zurückzuverfolgen ist.
VERFÜGBARE RECYCLING-MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN	Der Gewinnung und Vermarktung von Ersatzteilen ist im Rahmen der Altautodemontage eine besondere Bedeutung beizumessen, da hieraus ein maßgeblicher Anteil der Erlöse zur Finanzierung des Recyclings erzielt werden kann. Als Abnehmer der gewonnen Teile kommen sowohl private wie gewerbliche Kunden in Frage. Einen signifikanten und zunehmend wachsenden Anteil an den in der Altautodemontage generierten Materialien bilden Kunststoffe. Große Kunststoffteile, wie bspw. die Armaturenverkleidung sollte demontiert und einer hochwertigen stofflichen Verwertung zugeführt werden. Dies steht in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der am Markt vorhandenen Nachfrage nach Kunststoffrezyklaten. Die trockengelegten und demontierten Restkarossen gelangen in die weitere mechanische Verarbeitung. In Schredderanlagen, die ausgestattet sind mit entweder Zerdiratoren, Mühlen, Schreddern oder Kondiratoren, werden die Restkarossen zerkleinert und in weiteren Trennschritten (u.a. mit Hilfe von Metallabscheidern, Schwimm-Sink-Anlagen, Windsichtern) grundsätzlich in die Fraktionen - Eisenmetalle (Schredderschrott-Produkt), - Nichteisenmetalle, - Schredderschwerfraktion (SSF) und - Schredderleichtfraktion (SLF) getrennt. Die Eisenmetalle und Nichteisenmetalle können wieder der Produktion zugeführt werden und ermöglichen die Substitution von Primärrohstoffen. Die produzierte Schredderschwerfraktion und Schredderleichtfraktion können anschließend in sogenannten Post-Schredder-Anlagen einer weiteren mechanischen Aufbereitung zugeführt werden, um noch enthaltene Wertstoffe zu generieren. Die weitere Aufbereitung der Schredderfraktionen kann trotz geringerer Gehalte an Wertstoffen ggf. hohe Erlöse durch hohe spezifische Metallpreise erzielen. Insbesondere der Trend in der Automobilbranche hin zur Miniaturisierung von Elektronikbauteilen (bspw. feinste Datenkabel oder kleine Elektromotoren) und die zunehmende Anreicherung von hochwertigen Metallen speziell in der Schredderleichtfraktion aufgrund geringerer Eigengewichte (erhöhte Flugfähigkeit) begünstigen eine weitere mechanische Aufbereitung[1]. Die Schredderleicht- und Schwerfraktion sind zusätzlich charakterisiert durch einen hohen Heizwert (u.a. durch Kunststoffanteile, Gummi), so dass für diese Fraktionen die Möglichkeit der Verwertung in thermischen Prozessen besteht (siehe Datenblatt "Industrielle Mitverbrennung").

[1] EUWID Recycling und Entsorgung, Remine: Neue TSR-Tochter sortiert Wertstoffe aus SLF, Ausgabe 46.2014, S. 8, Gernsbach, 2014

	Für Fahrzeugreifen bestehen ebenfalls verschiedene Möglichkeiten des Recyclings bzw. der Verwertung (siehe Datenblatt "Altreifen").
REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Zum Stand 2015 werden in Deutschland 51 Schredderanlagen und rund 1.300 Altfahrzeug-Demontagebetriebe betrieben. Im Bereich der Post-Schredder-Technologien erfolgen Forschungsvorhaben u.a. auch im Auftrag der Mobilindustrie, die eine erhöhte Wertstoffrückgewinnung aus den Schredderfraktionen (SLF, SSF) erzielen sollen. Betreiber, die Post-Schredder-Technologien bereits einsetzen, sind u. a.: - TSR Recycling www.tsr.eu - Scholz Recycling GmbH/ SRW metalfloat GmbH Espenhain www.scholz-recycling.de - ISR Itzehoer Schrott und Recycling GmbH & Co. KG www.isr-itzehoe.de
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
Informationen über durch Sachverständige geprüfte und anerkannte Demontagebetriebe, Schredderanlagen und sonstige Anlagen zur weiteren Behandlung von Altfahrzeugen werden über die „Gemeinsame Stelle Altfahrzeuge“ (GESA) zentral für die gesamte Bundesrepublik erfasst und der Öffentlichkeit sowie Vollzugsbehörden zur Verfügung gestellt. - Gemeinsame Stelle Altfahrzeuge www.altfahrzeugstelle.de	

Umwelt Bundesamt

ALTREIFEN

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

- Produkte bzw. Abfallbestandteile, die aufgrund ihres Volumens, teilweise gefährlicher Inhaltstoffe und anderer Eigenschaften (z.B. Brandverhalten) als umweltkritisch anzusehen und für eine getrennte Erfassung und Behandlung vorzusehen sind, auch um die hohe Verwertbarkeit auszunutzen.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Reifen bestehen aus einem Grundkörper (Karkasse) und der Lauffläche. Die Karkasse besteht in der Regel aus gummiummantelten Textilseilen, die vorwiegend aus Rayon und Nylon sind, dem Gürtel und der Wulst, die aus Drähten besteht und besonders bei LKW-Reifen stark ausgeprägt ist.

Über die chemische Zusammensetzung der Reifenmischungen können keine konkreten Angaben gemacht werden, weil diese bei den vielen Herstellern unterschiedlich sind und nicht preisgegeben werden. Als Richtwerte können aber folgende Angaben gelten:

Tabelle 4: Zusammensetzung von Altreifen

Stoff		Nach BUWAL[2] in Gew.%	Nach LfU[3] in Gew.%			
			PKW	LLkw[4]	Lkw	Durchschnitt
Kohlenwasserstoffpolymere	Naturkautschuk	47,0	21	19	31	24
	Synthesekautschuk		24	23	14	21
Ruß		21,5	28[5]	26[1]	21[1]	26[1]
Stahl		16,5	12	18	24	16
Gewebe		5,5	4	4	1	3
Zinkoxid		1,0	11	10	9	10
Schwefel		1,0				
Sonstige		7,5				

Tabelle 5: Chemische Zusammensetzung von Altreifen

Element/Verbindung	BUWAL[1]	Vest[5]	Element /Verbindung	BUWAL[1]	Vest[6]
Kohlenstoff (Carbon)	Ca. 70 %	70–75 %	Stearinsäure	0,3 %	3,5–5%
Eisen (Iron)	16 %	13–15 %	Halogene	0,1 %	
Wasserstoff (Hydrogen)	7 %	6–7 %	Kupferverbindungen	200 mg/kg	
Sauerstoff	4 %	3,5–5 %	Chrom	90 mg7kg	
Schwefel (Sulphur)	1 %	1,3–1,7 %	Nickel	80 mg/kg	
Zinkoxid (Zinkoxide)	1%	1,2–2,0 %	Blei	50 mg/kg	
Stickoxid	0,5 %	3,5–5 %	Cadmium	10 mg/kg	

Der Anfall an Altreifen in der erweiterten EU liegt bei ca. 3.2 Mio. Mg/a bzw. einer Reifeneinheit pro Jahr und Person in industrialisierten Ländern.

---

[2] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Vollzugshilfe für die Lagerung, Behandlung und Verwertung von Altreifen (Altpneus) –Merkblatt Altreifen, zugänglich über BiCon AG: Altreifen Entsorgung – Was ist ökologisch sinnvoll? http://www.bicon-ag.com/gutachten-uvp/VCS_Altreifen_BiCon_2003.pdf , zuletzt zugegriffen am 26.08.2015

[3] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: a.a.O., S. 8.Entsorgung von Altreifen in Baden-Württemberg, 03/2002, http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11081/entsorgung_altreifen.pdf?command=downloadContent&filename=entsorgung_altreifen.pdf , zuletzt zugegriffen am 26.08.2015

[4] LLkw - Leichtlastkraftwagen

[5] Ruß und aktive Füllstoffe

[6] Vest, H.: Recycling of Used Car Tyres, Technical Information W13e, www.gate-international.org/documents/techbriefs/webdocs/pdfs/w13e_2000.pdf, abgerufen am 26.08.2015

RECHTS-GRUNDLAGEN BZW. REFERENZ-DOKUMENTE MIT GELTUNG FÜR EU	Als Teil von zurückgenommenen Altfahrzeugen fallen Altreifen in Europa unter die Regelungen der Richtlinie 2000/53/EC über Altfahrzeuge und sind damit auch in die darin festgelegten Vorgaben und Zielen für die Erfassung, das Recycling und die Weiterverwertung einbezogen. Vom Altfahrzeug getrennt gesammelte Altreifen fallen unter die Abfallrahmenrichtlinie. Ferner gelten für Altreifen ein Deponierungsverbot sowie weitere Einschränkungen bei der Verwertung auf Grundlage der Deponierichtlinie 1999/31/EC. Für die Runderneuerung von Altreifen für eine Wiederverwendung bestehen rechtliche Regelungen der UN/ECE (Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen) jeweils für - PkW-Reifen: UN/ECE Regelung Nr. 108 - LkW-Reifen: UN/ECE Regelung Nr. 109
WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUND-LAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM	Altreifen wird als Abfall eine besondere Aufmerksamkeit zuteil. Ausschlaggebend sind dabei in der EU verschiedene Regularien au denen eine Notwendigkeit zur gesonderten Erfassung, Behandlung und eine Reihe von speziellen Entsorgungsanforderungen erwachsen. Altreifen werden dabei als ein separater Abfallstrom betrachtet und es sind Festlegungen getroffen, wonach die Deponierung von ganzen sowie zerteilten Altreifen untersagt ist. Es ergeben sich jedoch Möglichkeiten zur Weiterverwendung z.B. als Sicherheitsbarrieren. Die Deponierung von Altreifen ist generell keine geeignete Entsorgungsmöglichkeit. Neben Deponierungsverboten in zahlreichen Ländern, darunter der EU, besteht ein hohes Risiko zur Umweltverschmutzung durch den Ausbruch von Feuer. Außerdem würden sowohl die stofflichen Komponenten als auch der Energiegehalt ungenutzt bleiben.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS -WEGE UND -STRATEGIEN	Die Erfassung der Altreifen erfolgt am effektivsten an den sogenannten Anfallstellen. Die meisten Altreifen fallen bei Reifen- und Autohändlern, Kraftfahrzeugwerkstätten, Abschleppdiensten, Tankstellen, Unternehmen mit einem großen Fuhrpark (z.B. öffentliche Verkehrsbetriebe) oder bei Reifenlieferanten an. Die Rücknahme kann dort durch ein Rücknahmesystem auf freiwilliger Basis bzw. auf Grundlage von Regelungen zur Produzentenverantwortung erfolgen. Um möglichst viele Altreifen zu erfassen, bedarf es außerdem spezieller Erfassungsangebote für sperrige Gegenstände aus Haushaltungen und in Form öffentlicher Annahmestellen oder Recyclingstationen. Die Altreifen sind dann von zugelassenen Entsorgern zu übernehmen und als erstes zu sortieren. Dabei gilt es drei Gruppen von Altreifen zu beachten: - Profilreifen Reifen in gebrauchsfähigen Zustand, die keine wesentlichen Beschädigungen aufweisen und noch eine ausreichende Mindestprofiltiefe (in EU wenigstens 1,6 mm) haben. Sie können wieder im Straßenverkehr eingesetzt werden. - Karkassen Reifen die nicht älter als 6 Jahre sind und deren Karkasse und insbesondere deren Seitenwände unbeschädigt sind und sich somit für eine Runderneuerung eignen. - Schrottreifen Altreifen, die sich weder für eine Wiederverwertung noch für eine Erneuerung eignen.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN	Wieder- und Weiterverwendung Wiederverwendet werden nur Profilreifen. Hierfür besteht überdies eine hohe Nachfrage aus Ländern mit niedrigeren Einsatzanforderungen und -vorgaben. Die Möglichkeiten der Weiterverwendung sind sehr vielfältig. - in der Landwirtschaft: als Beschwerung von Mietenabdeckungen - in Hafenanlagen: als Aufprallschutz - im Landschaftsbau: als Erosionsschutz für Erdwälle und Abhänge Bei allen diesen Möglichkeiten, werden die lange Lebensdauer und die gute Elastizität der Reifen ausgenutzt.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

-Fortsetzung-

Runderneuerung

Runderneuert werden können Reifen mit unbeschädigten Karkassen. Die Anforderungen und Vorschriften zur Runderneuerung von PkW sowie LkW- Reifen sind in den UN/ECE Regelungen 108 du 109 festgehalten. Diese bestimmen spezielle Mess- und Prüfverfahren, die sicherstellen, dass die Runderneuerung nur mit vollkommen intakten Reifen erfolgt. Bei einwandfreien Karkassen wird die Lauffläche abgeschält und eine neue Lauffläche aufgebracht. Hierfür gibt es zwei Verfahren:

- Heißrunderneuerungsverfahren
- Kaltrunderneuerungsverfahren

Bei der Runderneuerung werden für Pkw-Reifen etwas zwei bis drei Kilogramm und bei Lkw-Reifen 16 bis 20 Kilogramm neue Gummimasse für das Profil benötigt. Der Energiebedarf liegt etwa bei 30 Prozent desjenigen zur Reifenneuproduktion.

Stoffliche Verwertung

Neben der Runderneuerung ist die Verwertung von Gummigranulaten und Gummimehl möglich. Die notwendigen Prozessschritte sind:

Granulierung

Als erstes werden die Reifen vor der Zerkleinerung entwulstet. Dies ist besonders bei Lkw-Reifen wichtig, weil diese dicke Stahlwulste haben (bis zu 25 mm), welche bei nachfolgenden Geräten zu hohem Verschleiß führen würden. Die hierzu speziell entwickelte “Debeader“-Technik zieht hydraulisch gleichzeitig beide Wulste heraus und entfernt die Seitenflächen.

Vorzerkleinerung

Anschließend werden die entwulsteten Reifenteile auf eine Korngröße von ca. 50-150 mm vorzerkleinert. Dafür werden fast ausschließlich langsam laufende Zweiwellen-Shredder eingesetzt. Um die gewünschte Korngröße zu erreichen, werden die Reifenschnipsel gesiebt und das Überkorn zurückgeführt. Hierfür werden Trommel-, Scheiben- oder Rüttelsiebe eingesetzt. Für die anschließende Vermahlung gibt es zwei Verfahren.

Warmvermahlung

Dieses Verfahren wird als warmes oder ambientes Verfahren bezeichnet, weil das Material bei Umgebungstemperatur zerkleinert wird. Die Mühlen werden nur gekühlt, um die Reibungstemperatur abzuleiten. Mit diesem Verfahren können Korngrößen bin zu 800 Mikrometer erreicht werden.

Abbildung 3: Beispiel einer Prozessanordnung zur Warmvermahlung von Altreifen

Kaltvermahlung

Bei der Kaltvermahlung werden die vorzerkleinerten Reifenschnipsel mittels flüssigen Stickstoffs auf ca. minus 100°C gekühlt. Die gemahlenen Partikel haben eine glatte Oberfläche, so dass in Mischungen eine schwächere mechanische Bindung als bei der Warmvermahlung zu erreichen ist. Außerdem können deutlich geringere Partikelgrößen erreicht werden, was das Einsatzspektrum der Gummigranulate/-mehle deutlich erhöht.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

-FORTSETZUNG-

Abbildung 4: Beispiel einer Prozessanordnung zur Kaltvermahlung von Altreifen

Bei beiden Verfahren werden Mühlen eingesetzt, bei denen sich um Sonderkonstruktionen handelt, die speziell für Gummigranulat entwickelt wurden.

Die so gewonnenen Granulate und Mehle können unter anderem bei der Produktion von Neureifen eingesetzt werde. Aus sicherheitstechnischen Gründen gibt es Einschränkungen bei der Einsatzmenge (in Deutschland maximal 1,5 Gew.-%). Größere Mengen können in Produkten verwendet werden, an die keine besonderen physikalischen und chemischen Anforderungen bestehen (Fußbodenbeläge, Teppichrücken, Sportplatzböden, Fahrbahnschwellen).

Entvulkanisierung/Depolymerisation

Als weiterer Schritt nach der Vermahlung können die Gummipartikel entvulkanisiert werden. Die bevorzugte Methode ist die mechanische Entvulkanisierung. Bei diesem Verfahren wird der Altgummi intensiv mechanisch bearbeitet, mit dem Ziel, in erster Linie die Schwefelverbindungen zu durchtrennen.

Ein Depolymerisationsverfahren ist das FORMEX-Verfahren. Bedingt durch die Prozessführung wird die Generierung von Schadstoffen weitestgehend vermieden. Der entstehende FORMEX-Ruß (FORMEX CARBON BLACK®) kann in der Gummiproduktion wieder eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren werden die Altreifen in einem Schredder vorzerkleinert. Über ein Schleusensystem wird das Schreddergut dem Reaktor zu dosiert. Durch eine spezielle Prozessgestaltung und Anlagenkonfiguration ist der Ausschluss von Luftsauerstoff im Reaktionsraum gesichert. Die Depolymerisation läuft in einem flüssigen Zinnbad bei einer Temperatur unterhalb 500°C ab. Durch die niedrige Temperatur können konstante Verweilzeiten des Feststoffes in der Reaktionszone gesichert werden. Dabei entstehen Gase, die in Gasspeichern und Öle, die in Tanks gesammelt werden. Die festen Produkte werden in der Feststoffaufbereitung weiterverarbeitet. Die Stahlcordanteile werden in einem Magnetabscheider abgetrennt. In einem Taumelsieb werden die Textilbestandteile abgesiebt. Das Ruß-Feststoff-gemisch wird in einer Strahlmühle auf eine Korngröße kleiner 40 µm zerkleinert. Bei diesem Verfahren sind 99 % der Recyclingprodukte wiederverwendbar.

Anwendung des Granulats

Gummigranulat kann neben der Wiederverwendung in der Reifenproduktion auch im Garten-, Landschafts- und Straßenbau eingesetzt werden. Gummiasphalt zeichnet sich durch eine höhere Griffigkeit, Haltbarkeit und Lärmabsorbierung aus. Hierbei wird Gummigranulat normalen Asphaltmischungen in bestimmter Menge beigemischt. Um der Bodenverdichtung entgegen zu wirken, kann Gummigranulat auch Bodensubstraten (mit einem Anteil von ca. 10–15 %) beigemischt werden. Diese Methode wird inzwischen bei Fußball- und Golfplätzen sowie öffentlichen Parks angewendet. Hierbei besteht auch keinerlei Gefahr durch Emissionen aus dem Gummigranulat.

Aus Gummigranulat oder feinem Gummimehl werden auch diverse Gummimatten für die Hoch- und Tiefbau (Schall- und Schwingungsisolierung), für das Transportwesen (Ladungssicherung), für den Gleisbau (Schwingungsreduktion) oder für Sportanlagen (Sportböden) hergestellt. Des Weiteren kann das Granulat auch sehr gut als Ölbindemittel verwendet werden. Es ist sowohl im Straßenverkehr als auch auf Gewässern einsetzbar. Die Vorteile liegen in der Schwimmfähigkeit, einer ausschließlichen Bindung von Öl und nicht von Wasser und der einfach durchzuführenden Verbrennung des gebrauchten Granulats.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE VERWERTUNGS-WEGE UND STRATEGIEN	Thermische Verwertung Altreifen haben einen Heizwert (Hu) von 26 bis 32 MJ pro Tonne. Damit eigenen sie sich sehr gut als Ersatzbrennstoff. Sie können in Zementwerken, Papiermühlen und Kraftwerken eingesetzt werden (Siehe auch "Industrielle Mitverbrennung"). Sowohl in Europa, als auch in vielen außereuropäischen Ländern ist die thermische Verwertung derzeit eine der wichtigsten Entsorgungsmethoden für Altreifen. Grundsätzlich ist es möglich, Altreifen in Zementwerken für alle drei Feuerungsstufen (Calcinator-, Sekundär- und Primärfeuerung) einzusetzen. In großem Umfang werden Altreifen jedoch nur bei der Sekundärfeuerung verwendet. Hier können sie unzerkleinert eingesetzt werden und geben zusätzlich zum Energiewert auch einen Rohstoff ab. Damit erfolgt bei dieser Anwendungsmethode sowohl eine thermische als auch eine stoffliche Verwertung. Den Stahl in den Reifen ergänzt der Eisengehalt des Rohmaterials und Zink und Schwefel oxidieren und werden im Zement gebunden. Eine Zugabe von Altreifen bei Kohlenheizkraftwerken ist auch möglich, wegen der nötigen Vorzerkleinerung ist dies aber ein kostenaufwendiger und damit häufig unrentabler Vorgang.
REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	In Deutschland werden mehrere Anlagen zur Aufbereitung zum Recycling von Altreifen und zur Runderneuerung betrieben, Anwendungen der oben bezeichneten Art und von Gummigranulaten in diversen Herstellungsprozessen sind verbreitet. *Anlagenhersteller:* ANDRITZ MeWa, Gechingen www.andritz.com/index/locations *Gummigranulationsproduktion:* Genan GmbH, Oranienburg www.genan.de / www.genan.eu *Mattenherstellung:* Kraiburg Holding GmbH & Co. KG www.kraiburg.de Mehrere Hersteller- und Anbieterfirmen der benötigten Technik und Ausrüstungen sind im Markt aktiv. Dazu gehören u.a.: *Zerkleinerungstechnik:* HERBOLD, Meckesheim www.herbold.com EuRec Technology GmbH, Merkers www.eurec-technology.com *FORMEX-Verfahren:* Berliner-Oberspree Sondermaschinenbau BOS GmbH, Berlin www.bos-berlin.de

ALTÖL

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

- Altöle sind auf Grund ihrer gefährlichen Wirkung für Boden und Wasser getrennt zu sammeln und einer Verwertung zuzuführen

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Die ungefähre Zusammensetzung von Altöl zeigt folgende Tabelle[7]:

Tabelle 6: Zusammensetzung von Altöl

Bestandteile Altöl	Anteil
Basisöl	60–70 Prozent
Gasöl	10–15 Prozent
Additive[2]	7–15 Prozent
Wasser	0–10 Prozent[1]
Oxidationsprodukte[3]	4–8 Prozent
Geringe Heizfraktion	1–6 Prozent
feste Fremdkörperbestandteile[4]	1–3 Prozent
Brightstock	0–5 Prozent

1 – gelegentlich über 50 Prozent
2 – einschließlich der Abbauprodukte
3 – entgegengesetzte, teilweise aromatische Bestandteile von Oxidationsprozessen
4 – Staubpartikel, Ruß, harzige Substanzen mit einem Durchmesser von weniger als 2 mm

Von Bedeutung ist insbesondere die Konzentration an Schwermetallen im Altöl da Metalle und ihre Verbindungen bei der Aufbereitung von Altöl für den Einsatz als Schmieröl, Rohmaterial in der chemischen Industrie oder Kraftstoffergänzung eliminiert werden müssen. Während der Verbrennung von Altölen reichern sich Metalle und ihre Verbindungen als Staub in der Abgasreinigung an. In Zementklinkerbrennprozessen finden sich einige Schwermetalle eher in der Klinkermatrix wieder als im Abgasstrom. Die Konzentration von Schwermetallen im Altöl hat eine große Spannbreite, welche, unter anderem von der Bezugsquelle, der im Einsatz befindlichen Automobiltechnologie und von Fahrgewohnheiten abhängt und auch in Abhängigkeit vom angewandten Analyseverfahren unterschiedlich ausfällt.

RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU

Zur Gewährleistung eines sicheren Umgangs mit Altöl gilt für den Rechtsraum der Europäischen Union die Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EU. EU mit dem Ziel einer bestmöglichen Verwertung unter gegebenen Rahmenbedingungen

WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Die Altölbewirtschaftung sollte im Einklang mit der Prioritätenfolge der Abfallhierarchie (Vermeiden, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung, Beseitigung) erfolgen, wobei der Optionen der Vorzug zu gegeben ist, die die geringsten schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt bewirkt (Abfallrahmenrichtlinie, (44)) Besteht die Möglichkeit zur Aufbereitung bzw. Verarbeitung nicht, muss zwischen den Entsorgungsmethoden Verbrennung und Ablagerung entschieden werden. Dabei ist die getrennte Sammlung von Altölen, bei technischer Durchführbarkeit, maßgebend für eine adäquate Bewirtschaftung und die Vermeidung von Umweltschäden aufgrund unsachgemäßer Beseitigung (Abfallrahmenrichtlinie, (44)).

Im Sinne der sicheren Entsorgung verbieten sich insbesondere:

- jedweder Abfluss des Altöls in Binnen-Oberflächengewässer, Grundwasser, Hoheitsgewässer und Entwässerungssysteme,

[7] Tabelle aus: Möller, U. J.: Altölentsorgung durch Verwertung und Beseitigung, Band 253, expert verlag, ISBN 3-8169-2250-3, Renningen 2004

	- jede Entsorgung und/oder schädlicher Abfluss in den Boden und jede unkontrollierte Ablagerung von Rückständen aus der Verarbeitung des Altöls, - jede Verarbeitung, die eine unkontrollierte und hohe Luftverschmutzung verursacht. Dazu ist zu empfehlen, dass: - jedes Unternehmen, welches Altöl sammelt, der Registrierung und der nationalen Aufsicht unterliegt, möglichst durch ein Genehmigungssystem; - jedes Unternehmen, welches Altöl beseitigt eine Genehmigung aufweisen kann. Altöl ist nicht mit polychlorierten Biphenylen und polychlorierten Terphenylen (PCBs und PCTs) oder mit toxischen und gefährlichen Abfällen zu vermischen. Jedes Öl, welches PCBs, PCTs, toxische oder gefährliche Produkte enthält muss ohne Ausnahme entsorgt werden.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS - WEGE UND - STRATEGIEN	Zur Sammlung und Rückgewinnung von Altölen haben sich Rücknahmesysteme als wirksamer und meistgenutzter Weg erwiesen. Die Rücknahme des Altöls von Einzelkonsumenten kann meist effizienter über Verkaufseinrichtungen, Autowerkstätten oder Tankstellen, die Öl verkaufen, realisiert werden. Vereinzelt haben sich in Ländern auch spezielle Sammeleinrichtungen für Altöl in Form öffentlich aufgestellter Erfassungsbehälter etabliert. Bei kommerziellen Nutzern sind Abholvereinbarungen mit Recyclingunternehmen üblich. Innerhalb Europas muss zum Transport von Altöl das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR, 2008/68/EG) beachtet werden.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND STRATEGIEN	Altöl kann auf dem Wege einer stofflichen oder thermischen Verwertung genutzt werden. Bei der thermischen Verwertung kann Altöl als Ersatzbrennstoff u. a. in Zementöfen, Schmelzöfen oder anderen Verbrennungsöfen zur Erzeugung von Dampf und elektrischer Energie genutzt werden (siehe Datenblatt "Industrielle Mitverbrennung"). Ebenfalls möglich ist die Entsorgung in einer Wirbelschichtverbrennung. (siehe Datenblatt "Wirbelschichtverbrennung"). Bevor Altöl als Brennstoff verwendet werden kann, muss es einer Grundbehandlung unterzogen werden um Wasser und Feststoffe zu entfernen. Die stoffliche Verwertung ist auf verschiedenen Wegen möglich. Sie werden im Folgenden kurz beschrieben. - Wiederverwendung: Es existieren zwei Methoden, um zu sauberen Industrie-Schmiermitteln zu gelangen bevor diese wieder zum Einsatz gebracht werden können. *Waschen:* Dabei handelt es sich um ein Kreislaufsystem besonders für hydraulisches Altöl und Trenn- bzw. Schneideöl. Die Bereinigung von Feststoffen durch Filtrierung, eine Entwässerung und neue Zugabe von Additiven erlaubt die erneute Nutzung dieses Öls zu seinem Originalzweck. *Rückgewinnung:* Hierbei geht es um einen Recyclingprozess, der sich besonders für hydraulisches Altöl eignet. Das Öl wird einfach zentrifugiert und/oder gefiltert und dann z.B. als Formtrennöl oder Basisöl für die Produktion von Sägekettenöl genutzt. - Regeneration mittels Zweitraffination: Mittels dieses Verfahrens wird aus Altöl ein zweifach raffiniertes Basisöl hergestellt. Es handelt sich um einen Prozess der teurer und komplexer ist als andere, jedoch wird dabei ein qualitativ hochwertiges Öl erzeugt. Dafür geeignete Technologien sind z.B.: - Säure/Ton-Prozess - Destillation/chemische Behandlung oder Lösungs-Absaugprozess - Propan-Entasphaltierungsprozess - Dünnschicht-Verdampfung und Wasserbehandlungsprozess - Thermischer Entasphaltierungsprozess - Dünnschicht-Verdampfung und Schmiermittel-Raffinerie-Recycling-Prozess

Grundsätzlich wird das gebrauchte Öl zuerst von seinen Schadstoffen (Schmutz, Wasser, Kraftstoff und Additive) durch Vakuum-Destillation befreit. Dann wird es wasserbehandelt um die restlichen Chemikalien zu entfernen. Zum Schluss wird das zweifach raffinierte Basisöl mit frischen Additiven verbunden, um das Schmiermittel fertig zu stellen. Die Hauptprozessschritte, die bei allen Technologien verwendet werden, sind:

- *Entwässerung und Enttanken*: Abscheidung des Wassers sowie niedermolekularer organischer Komponenten wie Methan, Propan und Kraftstoffspuren (Naphtha, etc.) durch Nutzung des Gravitationseffekts in Abscheidern, Absetzbecken oder Plattenabscheidern; es können aber auch Zentrifugen oder Destillation genutzt werden. Dieser Vorbehandlungsprozess ist nicht zu vergleichen mit anderen Ölbehandlungssystemen, weil man weder ein Endprodukt erhält noch das Endziel der Behandlung erreicht.
- *Entasphaltierung:* Entfernen von Asphaltrückständen (Schwermetalle, Polymere, Additive, andere Abbauprodukte) durch Destillation und Addition von Säuren
- *Fraktionierung:* Dies umfasst eine Trennung der Basisöle durch Nutzung ihrer verschiedenen Siedetemperaturen zur Produktion von 2 oder 3 Schnitten (Destillationsfraktion)
- *Finishing:* Endreinigung der verschiedenen Schnitte um die spezifischen Produkteigenschaften zu erreichen. Der Vorgang umfasst auch die Entfernung der polyzyklischen aromatischen Hydrocarbonate im Zuge eines massiven Hydro-Finishing (mit hoher Temperatur u. hohem Druck) oder mittels löslicher Extraktion (mit niedriger Temperatur u. niedrigem Druck).

Gebrauchtes Öl kann unendlich oft zweitraffiniert werden und unterliegt dabei den gleichen stringenten Standards bezüglich Qualität, Leistungsmerkmalen u.a. wie fabrikneues Öl. Allerdings verlangen qualitativ hochwertige Produkte eine hohe Dichte und stabile Qualität, die durch Hydrierung mit hohem Druck genutzt wird. Die Regeneration produziert Abfallströme, welche im Fall der leichteren Komponenten eine Nutzung als Mitteldestillatkomponenten erlauben. Die schwereren Ströme beinhalten Additive und kohleartige Verbindungen, die wiederum als Mischkomponenten in der Bitumenindustrie genutzt werden können, wo sie mit Aufbauprodukten wie z.B. Straßenbelag verbunden werden können.

Thermisches Cracken

Thermisches Cracken nutzt Wärme zum Aufbrechen von langkettigen Kohlenwasserstoffmolekülen in kürzere, um leichtere Flüssig-Kraftstoffe zu erhalten. Auf diesem Weg werden die längeren, schwerflüssigen Moleküle mit weniger wertvollen Kohlenwasserstoffen in leichtflüssige und wertvollere Flüssigkraftstoffe umgewandelt.

Zum Cracken von Altöl existieren verschiedene Technologien, um das Öl zu leichtem Heizöl, Mitteldestillatkomponenten, schwerem Heizöl und Komponenten, Spezialbenzin und Schmierstoffen zu verarbeiten. Nach der Abscheidung des Wassers werden viele der Schwermetallkomponenten als Ölschlamm oder über eine Säurebehandlung vor dem Cracken entfernt. Das vorbehandelte Altöl wird bei 420°C und einem niedrigen Druck (ohne Katalysator) thermisch gecrackt. In Abhängigkeit von der Intensität des Crackens entstehen schwerere oder leichtere Komponenten, die zur Mischung mit Diesel (Diesel-Erweiterung) geeignet sind. Der typische Ertrag für thermisches Cracken liegt bei 71 %. Dies resultiert aus den Prozessanteilen von 95 % Entwässerung, 90 % thermisches Cracken, 83 % Destillation und 99,5 % Reinigung / Stabilisation.

Den größten Nachteil bildet die hohe Energieintensität des Prozesses, der zudem eine komplizierte und kostenintensive Technik voraussetzt.

BESONDERE EINFLUSSGRÖßEN AUF DIE ANWENDBARKEIT

Für die Prioritäten bei der Altöl-Verwertung sind vor allem solche Faktoren wie die lokale Ressourcenverfügbarkeit/Rohstoffknappheit, die Technologie- bzw. Anlagenverfügbarkeit, das generelle Preisniveau und die eine Verwertung unterstützenden finanziellen Mechanismen (Abgaben auf die Ölentsorgung, Subvention von Ölregeneraten u. ä.) maßgebend.

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Anerkannte Firmen und Dienstleister im Bereich der Altölverwertung und hierfür erforderlicher Technologien in Deutschland sind u. a.: - BAUFELD-OEL GmbH, München www.baufeld.de - SÜDÖL Mineralöl-Raffinerie GmbH, Eislingen www.suedoel.de - AVISTA OIL AG, Uetze www.avista-oil.com - Starke & Sohn GmbH, Niebüll www.starkeundsohn.de - PURABLUBE GmbH, Zeitz www.puraglobe.com Weitere Informationen über die Altölverwertung, nutzbare Technologien und in diesem Bereich wirkende Firmen und Dienstleister sind erhältlich beim - Bundesverband Altöl e.V. (BVA) www.bva-altoelrecycling.de

ALTBATTERIEN UND AKKUMULATOREN

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

Produkte bzw. Abfallbestandteile, die durch gefährliche Inhaltstoffe besonders umweltkritisch und somit für eine getrennte Erfassung und Behandlung vorzusehen sind. Im Bereich der EU wurden für diesen Abfallstrom spezifische Anforderungen an die Sammlung, Behandlung und das Recycling in einer eigenständigen Direktive formuliert und Regelungen für die Wahrnehmung der Produzentenverantwortung getroffen

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Batterien werden in Primärbatterien (einmalige Verwendung) und Sekundärbatterien (mehrmalige Verwendung durch Aufladung) unterschieden, wobei zahlreiche elektrochemische Funktionsweisen am Markt etabliert sind. Tabelle 7 zeigt derzeitig übliche Batteriearten, deren Zusammensetzung und Charakteristika.

Tabelle 7: Zusammensetzung und Charakteristika von verschiedenen Batterietypen[8]

Batterietyp	Chemisches System	Hauptinhaltsstoffe	Kapazität (mAh)	Nennspannung	Lebensdauer
Batterie (Primärbatterien)	Alkali-Mangan (AlMn)	Braunstein Eisen Zink	~ 2.800	1,5 V	1 Zyklus
	Zink-Kohle (ZnC)	Braunstein Eisen Zink	~ 1.200	1,5 V	1 Zyklus
	Lithium (Li)	Eisen Braunstein Nickel Lithium	~ 3.000	1,5 V	1 Zyklus
Akkus (Sekundärbatterien)	Lithium-Ionen-Akku (u. a. mit Li-NMC, Li- NCA, Li-LFP als Kathodenmaterial)	Graphit Kobalt Nickel Mangan Lithium	~ 2.400	3,6 V	Bis zu 1000 Zyklen
	Nickel-Metallhydrid-Akku (NiMH)	Nickel Eisen Seltene Erden	~ 2.200	1,2 V	Bis zu 1000 Zyklen
	LSD-Nickel-Metallhydrid-Akku (LSD-NiMH)	Nickel Eisen Seltene Erden	~ 2.000	1,2 V	Bis zu 1000 Zyklen
	Nickel-Cadmium-Akku* (NiCd)	Eisen Cadmium Nickel	~ 600	1,2 V	Bis zu 1.500 Zyklen
	Wiederaufladbare Alkali-Mangan Batterie (RAM)	Zink Mangan	~ 1.800	1,5 V	min. 25 Zyklen

Batterien, welche Quecksilber enthalten, nehmen auf dem Markt einen immer geringeren Anteil ein, da sich seit 2015 ein Inverkehrbringen von jeglichen Batterietypen mit mehr als 0,0005 Gewichtprozent an Quecksilber verbietet. Trotzdem sind sie noch im Einsatz/Umlauf und werden auch in kommenden Jahren ein Bestandteil der Entsorgung bleiben. In Deutschland wurden in den vergangenen Jahren etwa 1,5 Tonnen Quecksilber jährlich aus Knopfzellen und Batteriegemischen zurückgewonnen.

Empfehlungen sprechen für die Nutzung von Lithium-Ionen Akkumulatoren als effizientere Variante der Energieversorgung im Bereich der Batterien und Akkumulatoren.

[8] Petrikowski, Kohlmeyer, Jung, Steingrübner, Leuthold: Ratgeber - Batterien und Akkus, Umweltbundesamt (Hrsg.), 2012

RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EUROPA	Die Rahmenbedingungen für die sichere Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren werden durch die Richtlinie 2006/66/EG vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren vorgegeben. Diese Richtlinie ersetzt die frühere Richtlinie 91/157/EWG zum gleichen Gegenstand.
WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM	Best Practice bei dieser Abfallart bedeutet, wie auch in der oben genannten Richtlinie festgelegt, das Einhalten bestimmter Bedingungen beim Inverkehrbringen von Batterien und Akkumulatoren wie auch im Umgang mit Altbatterien und Altakkumulatoren. Inverkehrbringen: Durch ein Verbot, Batterien und Akkumulatoren in Verkehr zu bringen die mehr als 0,0005 Gewichtsprozent Quecksilber bzw. mehr als 0,002 Gewichtsprozent Cadmium enthalten, wird eine Grundlage geschaffen, die Menge dieser Substanzen im Markt und damit auch im Abfall schrittweise zu verringern (Ausgenommen vom Cadmiumverbot sind Akkumulatoren, welche für die Verwendung in ausgewählten Systemen/Geräten vorgesehen sind. Das beinhaltet Not- und Alarmsysteme einschließlich Notbeleuchtung, medizinische Ausrüstung oder schnurlose Elektrowerkzeuge). Umgang mit Altbatterien und Altakkumulatoren: Um eine hohes Recyclingniveau sicherzustellen, sind erforderliche Maßnahmen zu ergreifen, um die Batterien und Akkumulatoren getrennt zu sammeln. Für die Sammlung von Geräte-Altbatterien erweist sich die Einrichtung geeigneter Rücknahmesysteme als wirksamste Maßnahme. Die Hersteller von Gerätebatterien sind bspw. in Deutschland gesetzlich verpflichtet, ihre Rücknahmepflicht auf ein Rücknahmesystem von Geräte-Altbatterien zu übertragen: Dies kann entweder durch Beteiligung an einem gemeinsamen, nicht gewinnorientierten, flächendeckend tätigen Rücknahmesystem oder einem eigens durch einen oder mehrere Hersteller eingerichteten Rücknahmesystem (herstellereigenes Rücknahmesystem) geschehen. Hersteller von Fahrzeug- und Industriebatterien müssen hingegen ihren Vertreibern und den Behandlungseinrichtungen eine zumutbare und kostenfreie Möglichkeit der Rückgabe von Altbatterien anbieten. Die Übertragung dieser Pflichten auf bestehende Rücknahmesysteme wäre ebenso möglich wie die Gründung und das Betreiben eigener Rücknahmesysteme (von einem oder mehreren Herstellern mit der Sammlung und Verwertung der Altbatterien beauftragte Dritte). Zur Sicherung dieser Pflichten ist ein zentrales Melderegister zu empfehlen, dass alle am Markt tätigen Hersteller von Batterien verwaltet, veröffentlicht und dadurch Transparenz schafft. Die Hersteller hinterlegen in diesem Register u.a. die Marken, die in Verkehr gebracht werden, sowie Angaben zur Ausgestaltung ihrer Rücknahmepflichten. Um die Mitwirkung der Endnutzer zu fördern, sollten für diese Akteure keine Kosten entstehen. Für den anschließenden Transport (teilweise Gefahrgut), das Sortieren der Batteriegemische, sowie die Behandlung bzw. das Recycling von Altbatterien und Altakkumulatoren sind geeignete Prozesse/Systeme unter Nutzung der besten verfügbaren Technik zu etablieren. Es ist sicherzustellen, dass der Endnutzer von den Batterievertreibern hinreichend über Folgendes informiert werden: - die Bedeutung bestimmter Kennzeichnungen (Symbole) auf den Batterien, beispielsweise die Bedeutung kennzeichnungspflichtiger toxischer Stoffe, die in den Batterien und Akkumulatoren des Vertreibers enthalten sind, - die gesetzliche Verpflichtung der Endnutzer, Altbatterien und Altakkumulatoren an Sammelstellen zurückzugeben, um das Recycling zu ermöglichen sowie - die Möglichkeit der unentgeltlichen Rückgabe von Altbatterien und Altakkumulatoren in der Verkaufsstelle der Vertreiber. Eine Kennzeichnung aller Batterien und Akkumulatoren sowie Batteriesätze mit einem Symbol wie dem nachfolgend dargestellten, trägt dazu bei, dem Endnutzer die Notwendigkeit der getrennten Sammlung und der anschließenden Übergabe in ein sicheres Entsorgungssystem zur Kenntnis zu geben.

Abbildung 5: Symbol / Kennzeichnungspflicht zur Getrenntsammlung von Batterien und Akkumulatoren

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS - WEGE UND - STRATEGIEN

Rücknahme und spezielle Sammelsysteme sind effektive Wege für das gezielte Sammeln und die umfassende Erfassung von gebrauchten Batterien und Akkumulatoren. Die Rücknahme kann sehr effizient über die Geschäfte, welche Batterien verkaufen, über öffentliche Einrichtungen und Wertstoffhöfe der Kommunen oder über Abholvereinbarungen zwischen Recyclingfirmen und (gewerblichen) Nutzern gestaltet werden. Auch durch bestimmte (einrichtungs- bzw. stadtteilbezogene) Sammelkampagnen ist eine Sammlung praktikabel.

Es ist empfehlenswert, dass die mit der Rücknahme beauftragten Partner spezielle Behälter zur Sammlung nutzen. Dadurch sind eine Erleichterung der Sammlung und eine gleichzeitige getrennte und sichere Lagerung in den gegebenen Räumlichkeiten gewährleistet. Ferner wird die frühzeitige Beschädigung der Altbatterien vermieden, da die Behälter nur ausgetauscht und nicht umgefrachtet werden müssen. Beschädigte Batterien können zu Kurzschlüssen führen: Auf dem Weg von der Sammlung bis zur stofflichen Verwertung sind diese häufig die Ursache von Bränden.

Abbildung 6: Sammelbehälter für gebrauchte Lithiumbatterien (Bildquelle: Intecus GmbH)

Denkbar ist, dass neben den im Rahmen der Produktverantwortung verpflichteten Herstellern von Batterien (Produzenten, Importeure etc.) auch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger freiwillig an der Sammlung von Batterien mitwirken oder vom Gesetzgeber ebenfalls dazu verpflichtet werden.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS- WEGE UND STRATEGIEN

Da die Batterien nur selten nach ihren Inhaltstoffen getrennt gesammelt werden, müssen sie vor der Verwertung sortiert werden. Vor der Sortierung nach Typen werden die Batterien nach Größe klassiert, wobei Knopfzellen aussortiert werden. Für die weitere Sortierung gibt es zwei Verfahren:

- <u>Elektromagnetisches Verfahren</u>
  Als erstes erfolgt hier eine Sortierung nach magnetischen (ca. 85%) und nicht magnetischen (ca. 15%) Batterien. Die magnetischen Batterien passieren anschließend ein Magnetfeld, welches sich in Abhängigkeit vom elektrochemischen System (Inhaltstoffen) der Batterie verändert. Bis zu 6 Batterien pro Sekunde können mit diesem System sortiert werden. Die Sortenreinheit beträgt 98 %.

- Röntgen-Verfahren
  Die Batterien passieren einen Röntgensensor. Anhand der Graustufung des Röntgenbildes lässt sich das System der Batterie erkennen. Bis zu 20 Batterien pro Sekunde können mit diesem System identifiziert werden. Die Sortenreinheit beträgt mehr als 98 %.

Alternativ zu den beschriebenen automatisierten Sortierverfahren ist bei geringeren Anfallmengen auch eine händische Sortierung möglich. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen ist die händische Sortierung ebenfalls eine genaue Trennmethode.

Um eine Trennung zwischen quecksilberhaltigen und quecksilberfreien Batterien zu erreichen, kennzeichnen die Hersteller von Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien mit einem UV-Code, der mit einem UV-Sensor gelesen werden kann. Um das Recycling der Batterien auf hohem Niveau zu ermöglichen, sind die Sortierverfahren getrennt vom jeweiligen Recyclingprozess durchzuführen.

Für die anschließenden Recyclingverfahren sollten u. a. Mindestanforderungen an die Effizienz sowie einheitliche Berechnungswege festgelegt werden. Weiterhin ist sicherzustellen, dass alle identifizierbaren und gesammelten Altbatterien behandelt und recycelt werden. Zur Überwachung und Weiterentwicklung der Verfahren wurden bspw. in Deutschland für die Recyclingbetriebe Berichtspflichten gegenüber einer zentralen Behörde eingeführt.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

Für die einzelnen Batteriesysteme gibt es unterschiedliche metallurgische Verwertungsverfahren. Diese können in pyro- und hydrometallurgische Prozesse unterteilt werden, welche im Folgenden beispielhaft genauer dargestellt werden. Die hauptsächlichen Unterschiede der Prozesse können wie folgt charakterisiert werden:

Tabelle 8: Vor- und Nachteile pyrometallurgischer und hydrometallurgischer Prozesse

	pyrometallurgischer Prozess	hydrometallurgischer Prozess
Vorteile	• hohe Reaktionsgeschwindigkeit • hohe Effizienz • hohe Durchsatzrate • geeignet für komplexe Verbindungen • unempfindlich bei Änderung des Inputmaterials	• sehr verschiedene Reaktionen (hohe Reinheit des Outputs) • gut kontrollierbar bei einem Input gleicher Zusammensetzung • wenig Probleme mit Emissionen
Nachteile	• wenige Einzelreaktionen (geringere Reinheit des Outputs) • Prozessschritte müssen zu verschiedenen Zeiten wieder-holt werden • hohes Geräusch- u. Emissionspotential	• geringere Geschwindigkeit der Reaktionen • geringere Effizienz und Durchsatz • empfindlich gegenüber der Änderung der Zusammensetzung des Inputs • Prozessrückstände sind hinsichtlich der Ablagerung/Entsorgung problematisch

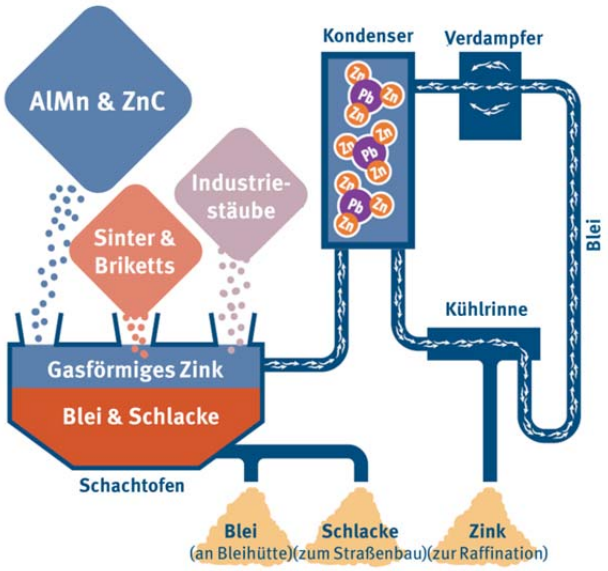
Zink-Kohle und Alkali-Mangan – Batterien

a) *Wälzofen* – das Wälzrohrverfahren ist ein hüttenmännischer Prozess in dem die zinkhaltigen Batterien (mit Sand und Koks) in einen sich drehenden Ofen gegeben werden. Das Zink oxidiert und verflüchtigt sich (bei 1300°C). Nach der Abkühlung werden die Oxide (Wälzoxid) gesammelt und an die Primärzinkhütten weitergegeben. Die restliche Schlacke findet im Straßenbau ihren Gebrauch.

Abbildung 7: Prozessschema für ein Wälzofenverfahren zur Batterieverwertung

b) *Imperial-Smelting-Verfahren* – in diesem Verfahren kann metallisches Zink gewonnen werden. Auch hier wird das Zink verdampft und in einen Kondensator geleitet, wo es mit fein versprühtem Blei abgekühlt wird. Das Zink bleibt am Blei haften. Anschließend werden beide Metalle abgekühlt und getrennt. Das Blei wird in den Kondensator zurückgeleitet, das Zink liegt in reiner Form vor und kann weiter verarbeitet werden.

Abbildung 8: Prozessschema für ein Imperial-Smelting-Verfahren zur Batterieverwertung



c) *Weitere Verfahren* – zum Material-Recycling von Alkali-Mangan-Batterien sowie Zink-Kohle-Batterien sind

- Elektrostahlofen, welcher Stahl produziert
- Elektrostahlofen, welcher Ferromangan produziert,
- Blasstahlofen, welcher Ferromangan produziert
- Drehrohrofen

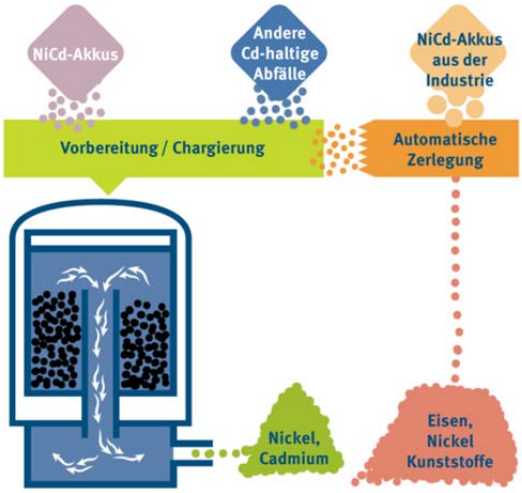
Wie in den vorherigen Prozessen wird auch hier das Zink verdampft und so aus der Mischung gewonnen. Die letztgenannten Verfahren sind jedoch weniger gebräuchlich.

- Dismantlingprozess: Alkali-Mangan-Batterien der Größe C und D werden mechanisch geöffnet um einen Rückbauprozess zu durchlaufen. Es entstehen Zinkoxid, Eisen und Manganoxid

Nickel-Cadmium-Batterien

Verbrauchte Nickel-Cadmium Akkumulatoren werden auch thermisch verwertet. Das Cadmium wird unter Vakuum oder in einer Inertatmosphäre abdestilliert. Das verbleibende Stahl-Nickel-Gemisch wird zur Stahlerzeugung weitergegeben. Die bereits in Europa für dieses Verfahren vorhandenen Kapazitäten sind aufgrund der rückläufigen Mengen solcher Batterien für ganz Europa ausreichend.

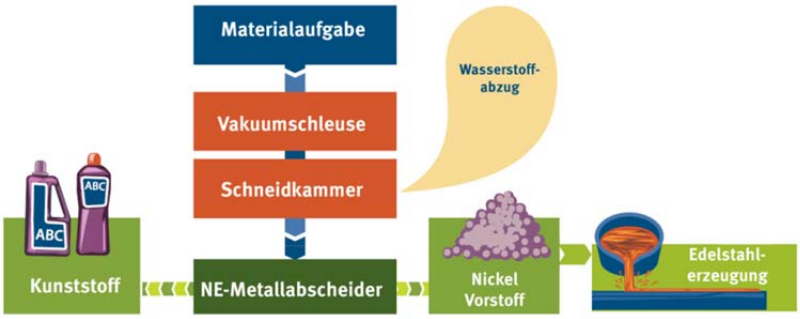
Abbildung 9: Prozessschema zum Verfahrensansatz für das Recycling von NiCd Batterien



Nickel-Metallhydrid-Batterien

Der Schwerpunkt des Recyclings dieser Batterieart liegt auf der Wiedergewinnung des Nickels. Wegen der möglichen Wasserstofffreisetzung bei der Zerkleinerung der NiMH-Batterien muss die Verarbeitung in überwachter Atmosphäre stattfinden. Nach Separation der enthaltenen Kunststoffe liegt ein hoch nickelhaltiges Produkt vor, das als wichtiger Legierungsbestandteil bei der Stahlproduktion weiterverwendet wird.

Abbildung 10: Prozessschema zum Recycling von NiMH Batterien auf Basis des NIREC-Prozesses



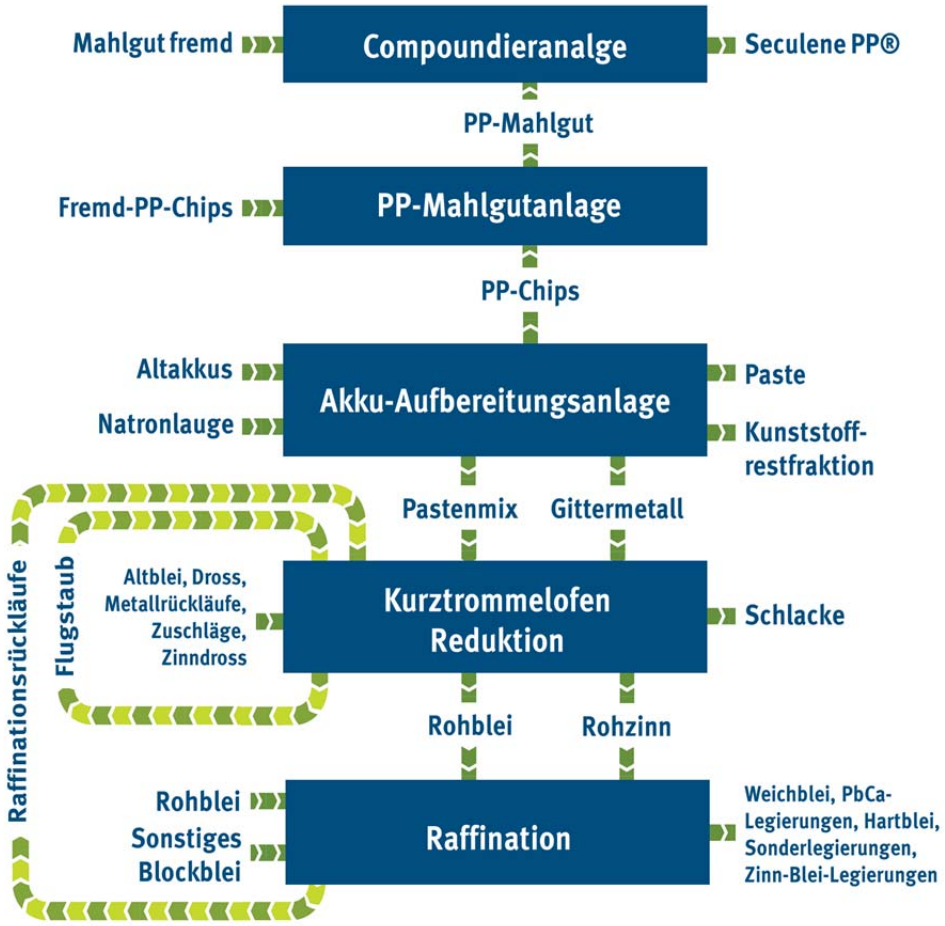
Bleibatterien

Blei kann auf zwei Arten aus Altakkumulatoren gewonnen werden. Zum einen können die Bleiakkumulatoren auseinander genommen und das Blei sowie die anderen Materialien (Blei, Kunststoff, Säure) separat gewonnen werden oder die Batterien werden nach Entnahme der Säure komplett und ohne weitere Behandlung dem Hochofen beigegeben. Im Hochofen werden sie mit einem Gemisch aus Kohle, Kalkstein und Eisen verhüttet. Das entstehende Produkt ist Rohblei.

Das Verfahren wird beim Batteriehersteller VARTA unter dem Namen (VARTA) Schachtofen-Verfahren eingesetzt. Ein weiteres Produkt des Schachtofen-Verfahrens ist das Abgas. Diese beinhaltete die gasförmigen Komponenten der Schmelze: außerdem Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, Staubpartikel mit hohem Bleigehalt sowie Reste aus der Verbrennung des Kunststoffs. Um das Abgas effektiv zu reinigen sind die organischen Bestandteile vollständig in einem ersten Schritt zu verbrennen. Die Gasbrenner erhitzen das Abgas mit einer Initialtemperatur von 200°C und erwärmen dies dann auf eine Temperatur von 1100°C. Somit können die letzten Rückstände organischer Bestandteile entfernt werden. Nach der Abkühlung durchläuft das Gas ein Filtersystem, welches nahezu 100 % der Staubbestandteile herausfiltert. Der gesammelte Staub enthält bis zu 65% Blei, welches als wertvolles Rohmaterial gilt. Nach der Nachbehandlung wird dieses wieder dem Schmelzprozess zugesetzt.

Am Standort Braubach führt die BSB Recycling GmbH ein Recycling von u. a. Blei-Säure-Akkumulatoren aus dem Fahrzeug- und Industriesektor durch und setzt dazu die Engitec-Technologie ein. Es erfolgt eine Rückgewinnung von Kunststoffgranulaten (Seculene PP®) sowie Weichblei, PbCa-Legierungen, Hartblei, Sonderlegierungen und Zinn-Blei-Legierungen (Abbildung 11).

Abbildung 11: Anlagenschema BSB Recycling GmbH Braubach (modifiziert nach BSB Recycling GmbH)

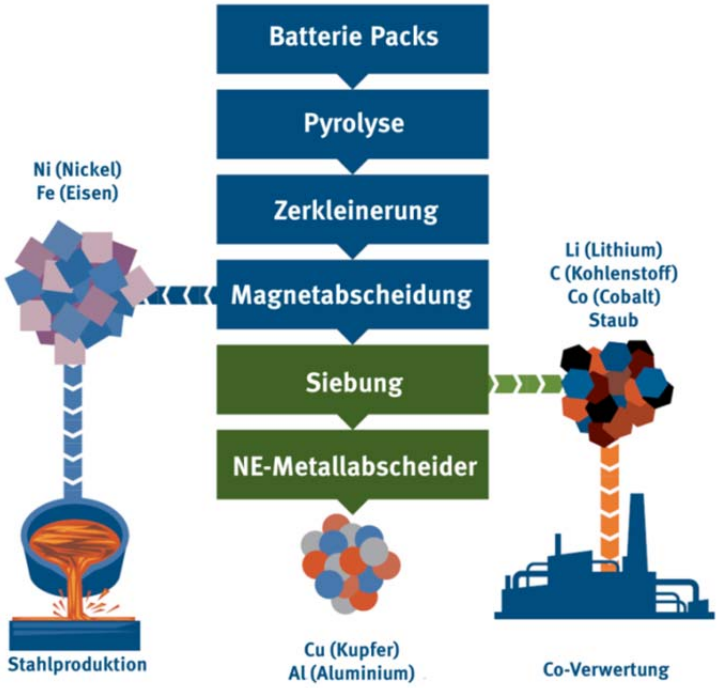


(http://www.berzelius.de/berzelius/bsb/schema.php)

Lithiumbatterien

Bei den Lithium-Primärsystemen ($LiMnO_2$) wird hauptsächlich darauf gesetzt, die Metalle Nickel, Eisen, und Mangan zu gewinnen. Das Recycling von wieder aufladbaren Lithiumsystemen (Li-Ion bzw. Li-Polymer) erfolgt vorwiegend unter der Maßgabe der Rückgewinnung von Kobalt, Eisen, Nickel und Kupfer.

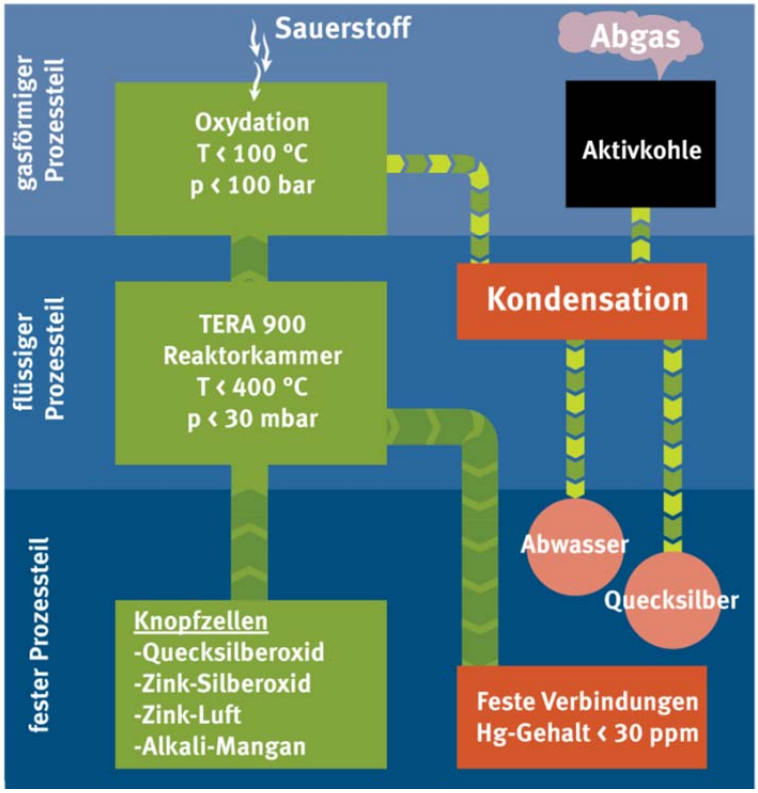
Abbildung 12: Verfahrensansatz für das Recycling von lithiumhaltigen Batterien



Quecksilberhaltige Batterien (Knopfzellen)

Quecksilber aus Altbatterien wird u.a. mit dem ALD-Verfahren gewonnen. Es basiert auf einer vakuothermischen Behandlung. In speziellen, hermetisch geschlossenen Anlagen wird im Chargenbetrieb das Quecksilber bei 350°C und 650°C verdampft. Es kondensiert anschließend bei niedrigeren Temperaturen und kann somit dem Wirtschaftskreislauf wieder zurückgeführt werden. Der quecksilberfreie Stahl wird verkauft.

Abbildung 13: Verfahrensansatz zum Recycling von quecksilberhaltigen Batterien



REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

In Deutschland findet die Erfassung von Altbatterien und -Akkus im Rahmen der Produktverantwortung statt. In 2014 wurden in Deutschland mehr als 170.000 Annahmestellen im Handel, Gewerbe und bei den Entsorgungsträgern mit Sammelbehältern und Transportkartons für Gerätealtbatterien von den Rücknahmesystemen von Geräte-Altbatterien ausgestattet.

Im Berichtsjahr 2014 waren in Deutschland die folgenden vier Rücknahmesysteme für Geräte-Altbatterien tätig:

- das Gemeinsame Rücknahmesystem für Geräte-Altbatterien (GRS Batterien - Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien) www.grs-batterien.de
- herstellereigenes Rücknahmesystem REBAT, www.rebat.de
- herstellereigenes Rücknahmesystem ERP Deutschland www.erp-recycling.de
- herstellereigenes Rücknahmesystem Öcorecell www.ifa-gmbh.com

Jedes der vier Rücknahmesysteme für Geräte-Altbatterien muss seit 2014 die Mindestsammelquote von 40 % und spätestens ab dem Berichtsjahr 2016 eine Sammelquote von 45 % erreichen und dauerhaft sicherstellen. Im Jahr 2014 nahmen die vier Rücknahmesysteme so viel Geräte-Altbatterien zurück wie in keinem Jahr zuvor. Die Masse der zurückgenommen Altbatterien erhöht sich seit 2010 ununterbrochen, in 2014 steigt die Masse gegenüber dem Vorjahr um 543 t bzw. auf 19.142 t. Die Sammelquote erhöhte sich von 43,1 % in 2013 auf 44,2 %.

Anlagen die das Recycling bzw. die Verwertung von gebrauchten Batterien und Altakkus durchführen sind in Deutschland in größerer Zahl vorhanden. Referenzanlagen für die zum Teil oben beschriebenen Verfahren sind z.B.:

Tabelle 9: Referenzanlagen

Anwendung	Drehrohrofen	Imperial-Smelting-Verfahren	Blasstahlofen
Anlagenstandort	Goslar	Duisburg	Duisburg
Input Batterien	5%	2–3 %	2–3 %
Produkte	Zinkoxid, Schlacke	Zink, Schlacke	Zinkstaub, Blei, Schlacke, Eisen

Weitere Dienstleister im Bereich Batterierecycling/-verwertung sind z.B.:

- Recycling von AlMn und ZnC-Batterien sowie NiMH-Batterien:
  Redux GmbH, Dietzenbach www.redux-gmbh.de
- Recycling von quecksilberhaltigen Knopfzellen:
  REMONDIS QR GmbH, Dorsten www.remondis-qr.de
- Recycling von NiCd-Batterien sowie Lithiumbatterien:
  Accurec GmbH, Mülheim/Ruhr www.accurec.de
- Recycling von Bleibatterien
  BSB Braubach der Berzelius Metall GmbH, Braubach www.berzelius.de
  HOPPECKE Metallhütte GmbH & Co. KG, Brilon www.hoppecke.de

ELEKTRO- UND ELEKTRONIKALTGERÄTE

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG) sind Produkte bzw. enthalten Abfallbestandteile, die durch gefährliche Inhaltstoffe besonders umweltkritisch sind aber auch ein hohes Wertstoffpotential besitzen und somit für eine getrennte Erfassung und Behandlung vorzusehen sind. Im Bereich der EU wurden für diesen Produktstrom Anforderungen an die getrennte Sammlung und Behandlung in einer eigenständigen Direktive formuliert und Regelungen für die Wahrnehmung der Produzentenverantwortung getroffen.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Unter dem Sammelbegriff Elektro- und Elektronikaltgeräte wird eine Vielzahl von Geräten, deren sich der Besitzer entledigt hat, zusammengefasst. Eine Klassifizierung erfolgt entsprechend der Europäischen Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte in 10 unterschiedliche Kategorien, wobei die Materialzusammensetzung je Gerätetyp schwankt.

1. Haushaltsgroßgeräte (HHGG)
2. Haushaltskleingeräte (HHKG)
3. IT- und Telekommunikationsgeräte (ICT)
4. Geräte der Unterhaltungselektronik und Photovoltaikmodule
5. Beleuchtungskörper
6. Elektrische und elektronische Werkzeuge
7. Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte
8. Medizinische Geräte
9. Überwachungs- und Kontrollinstrumente
10. Ausgabeautomaten

Tabelle 10 zeigt Orientierungswerte für die Zusammensetzung von Haushaltsgroßgeräten (u. a. Waschmaschinen, Backofen etc.), Haushaltskleingeräten (Toaster, Nähmaschine etc.) sowie Geräten der Informations- und Telekommunikation (Telefon, Faxgerät, Drucker etc.).

Tabelle 10: Zusammensetzung verschiedener elektronischer Obergruppen (nach EMPA 2009)

Material	Haushaltsgroßgeräte	Haushaltskleingeräte	Geräte Inform./Telekommun.
Eisen	43	29	36
Aluminium	14	9,3	5
Kupfer	12	17	4
Kunststoff	19	37	12
Glas	0,017	0,16	0,3
Gold	$6{,}7E^{-07}$	$6{,}1E^{-07}$	$2{,}4E^{-04}$
Silber	$7{,}7E^{-06}$	$7{,}0E^{-06}$	$1{,}2E^{-03}$
Palladium	$3{,}0E^{-07}$	$32{,}4E^{-07}$	$6{,}0E^{-05}$
Indium	0	0	$5{,}0E^{-04}$
Blei	1,6	0,57	0,29
Cadmium	0,014	$8{,}3E^{-03}$	0,018
Quecksilber	$3{,}8E^{-05}$	$1{,}9E^{-05}$	$7{,}0E^{-05}$
Kunststoff „bromiert“	0,29	0,75	18
Bleiglas	0	0	19
Sonstiges	10	6,9	5,7

RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU

Die derzeitige Rahmengesetzgebung für diese Abfallart bilden die novellierte Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE) vom 04. Juli 2012 und die ebenfalls überarbeitete Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten vom 03. Januar 2013 (RoHS). Zudem müssen die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union aller 2 Jahre einen Bericht entsprechend der Kommissionsentscheidung 2005/369/EG vorlegen, der über die im Mitgliedsstaat erzielten Sammel-, Verwertungs- und Recyclingquoten informiert.

WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Als ein wesentliches Element zum umweltgerechten Umgang mit Elektro- und Elektronikaltgeräten sollten, wie in den genannten Richtlinien festgelegt, die Nutzung verschiedener schadstoffhaltiger Substanzen in diesen Produkten eingeschränkt und Vorgaben für deren getrennte Sammlung und Behandlung gemacht werden. Zur Umsetzung einer Produktverantwortung sind dabei auch Mechanismen für die Rücknahme der gebrauchten Geräte über die Hersteller und Systeme zur Behandlung dieser Produkte zu veranlassen. Die Hersteller sind gesetzlich verpflichtet, die Getrenntsammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten auf den Inverkehr gebrachten Produkten mit dem in Abbildung 14 dargestellten Symbol zu kennzeichnen und die Inverkehr gebrachten Geräte nach der Gebrauchsphase wieder zurückzunehmen und einer adäquaten Verwertung zuzuführen. Die Rückgabemöglichkeiten sollen für den Endverbraucher kostenfrei sein. Wo, anders als in der EU, keine entsprechenden gesetzlichen Regelungen getroffen werden können, sollte zur Setzung eines Rückgabeanreizes und damit für eine wirksame Erfassung ähnlich verfahren werden.

Abbildung 14: Symbol / Kennzeichnungspflicht zur Getrenntsammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten

EU-Mitgliedsstaaten haben sicherzustellen, dass neue Elektro- und Elektronikgeräte seit dem 01. Juli 2006 kein Blei, Quecksilber, Cadmium, Chrom (VI) polybromiertes Biphenyl (PBB) bzw. polybromierte Diphenylether (PBDE) enthalten. Ausnahmen von der Verordnung z.B. für Leuchtstoffröhren, sind speziell im Anhang der Richtlinie 2011/65/EU definiert.

Unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Erfahrungen sind Zielvorgaben für die Sammlung, Verwertung und Wiederverwendung von EAG regelmäßig zu prüfen und gegebenenfalls neu festzulegen. Aktuell sollen Verwertungsquoten je nach Gerätekategorie von 75 bis 85 Prozent und Recyclingquoten von 55 bis 80 Prozent erreicht werden. Zudem zielt die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten auf eine gesetzlich festgelegte Erfassung von 45% der durchschnittlich in den drei Vorjahren auf den Markt gebrachten Elektro- und Elektronikgerätemengen ab. Ab 2019 erhöht sich diese Sammelquote auf 65%.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS - WEGE UND - STRATEGIEN

Als wirksame Wege zur getrennten Sammlung und Erfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten haben sich erwiesen:

- Rückgabemöglichkeit von Elektroaltgeräten bei Handelseinrichtungen durch gesetzliche Verpflichtung dieser (ggf. ab einer bestimmten Größe) oder per Rücknahmevereinbarungen des Handels auf freiwilliger Basis
- Nutzung von Erfassungsmechanismen aufbauend auf kommunalen Sammelstellen (z.B. Wertstoffannahmestellen, siehe Abbildung 15) und selektiven Sammlungen (Straßensammlung/Abrufsystem):

Abbildung 15: Selektive Sammlung von Altgeräten auf einem Wertstoffhof in Abrollcontainern (Bildquellen: INTECUS GmbH)

- An öffentlichen Stellen ist die Nutzung separater Container (z.B. Abrollcontainer) oder solcher mit einer speziellen Aufteilung in verschiedene Sektionen für die getrennte Erfassung unterschiedlicher Fraktionen (z.B. Kühlgeräte, Leuchtstoffröhren, Fernsehgeräte, Haushaltsgeräte, Informations- und Telekommunikationsgeräte, Multimedia- und Unterhaltungsgeräte) empfohlen (Abbildung 15). Alternativ werden die Geräte nach Fraktionen getrennt z.B. bei der Wertstoffannahmestelle erfasst und zur Weiterverwertung bereitgestellt.
- Besondere Anforderungen sind an die Sammlung von Altgeräten mit Lithium-Ionen-Batterien zu stellen, da diese durch Lagerung und Transporteinwirkungen eine Selbstentzündungs- und Brandgefahr bergen

Für die in Deutschland per Gesetz festgelegte Realisierung der Rücknahmeverpflichtungen müssen sich Hersteller von Elektro- und Elektronikgeräten bei der stiftung elektro-altgeräte register (ear) registrieren lassen. Für die Hersteller von Gebrauchsgütern (b2c) ist hierbei die Stellung einer Garantie unabdingbare Voraussetzung: www.stiftung-ear.de

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN

Reparatur- und Aufarbeitungsprogramme

Die Nutzung von Reparatur- und Aufarbeitungsmethoden sollte der bevorzugte Weg im Umgang mit Elektro- und Elektronikaltgeräten sein. Diese können in Abhängigkeit vom Zustand der erfassten Altgeräte in einem mehrstufigen Prozess zur Ausführung kommen. In Frage kommen dabei

- der Wiederverkauf von wiederverwendbaren Geräten nach Funktionsprüfung,
- die Aufarbeitung zur Weiternutzung, oder
- die vollständige Demontage einschließlich Rückgewinnung und Nutzung von brauchbaren Komponenten und Ersatzteilen.

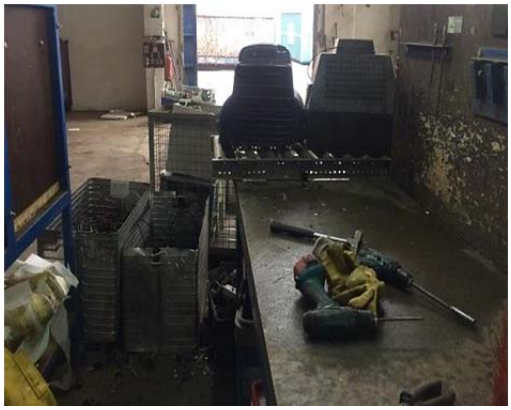
Ein erhebliches Gefahrenpotenzial beinhalten einfache Aufbereitungs- und Rückgewinnungstechniken die, wie häufig noch in weniger entwickelten Ländern zu beobachten, ohne die notwendigen Schutzvorkehrungen zur Anwendung gebracht werden (z.B. Abbrennen der PVC-Isolierungen von Kabeln im offenen Feuer, Auflösen von Leiterplatten in Säurebädern)!

Demontage

Die Demontage von Elektro- und Elektronikaltgeräten wird zur Abtrennung von gefährlichen Komponenten (z.B. polychloriertes Biphenyl, Kondensatoren, Quecksilber enthaltende Mess- und Kontrolltechnik) sowie den wiedergewinnbaren wertvollen Materialien, nutzbaren Komponenten und Metalle vom restlichen Material angewandt. Die Demontage erfolgt größtenteils manuell (Abbildung 16). Dabei werden üblicherweise die folgenden Fraktionen erzeugt:

- Eisen- und Nichteisenmetalle
- Kabel
- Kunststoffe
- Gummi
- Holz
- Bildschirmglas
- Metall-Kunststoff-Verbunde
- Leiterplatten und Platinen
- Batterien
- gefährliche Bestandteile

Abbildung 16: Manueller Zerlegeplatz für Monitore (links) und demontiertes Bildschirmglas (rechts) (Bildquelle links & rechts: INTECUS GmbH)



Der Grad der Abtrennung hängt von den vorhandenen Recyclingmöglichkeiten ab. Für einige Fraktionen können die in anderen Datenblättern erläuterten Verwertungs- und Beseitigungswege genutzt werden.

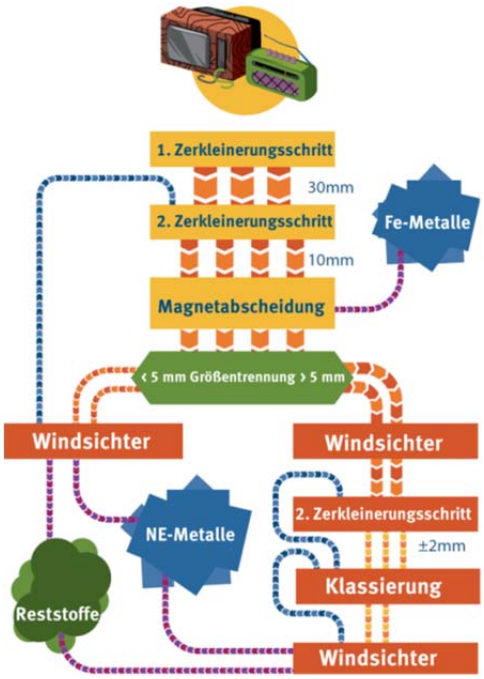
Aufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten

Die Aufbereitung beinhaltet mechanische und chemische Prozesse, welche eine weitere Verwertung von Materialien erlauben.

- *Mechanische Prozesse:*

Mechanische Prozesse werden vorzugsweise für die Trennung von Metall-Kunststoff Verbunden mit dem Ziel des Recyclings und der Materialverwertung durchgeführt.

Abbildung 17: Fließschema eines mechanischen Aufbereitungsprozesses



Die Nutzung verschiedener Verwertungsoptionen lässt sich durch die Kombination unterschiedlicher Verfahren erreichen, integriert in eine Prozesskette unter einem Dach (z.B. Recyclingzentrum) wird daraus eine modern und effizient gestaltete Aufbereitung.

Abbildung 18: Prozesskombination ihn einem Altgerätezerlegungsbetrieb

Bei einer solchen Variante kann der Zerlegungsbetrieb auf mehrere Arbeitsstationen verteilt werden die sich z.B. auf Fraktionen bzw. Arbeitsgänge wie Monitore, Computer, Großgeräte und Zerlegung mittels Schneidbrenntechnik oder Plasmabrenner spezialisieren.

Zusätzlich können auch komplex zusammengesetzte Elektro- und Elektronikaltgeräten bzw. Fraktionen daraus (z.B. Leiterplatten) effizient aufbereitet werden durch den Einsatz von speziell an die Elektroaltgeräteaufbereitung angepasste Zerkleinerungsaggregate sowie anschließende magnetische Trennung als auch Sichtungs- und Klassierprozesse (ballistische Sichtung, Windsichtung u. a.). Die Kombination der Verfahren ermöglicht es nahezu alle Arten von Elektro- und Elektronikaltgeräten zu behandeln und Wertstoffe mit hoher Effizienz und Reinheit rückzugewinnen.

Die Qualitäten der in modernen mechanischen Aufbereitungsanlagen erzeugten Stoffströme können wie folgt beschrieben werden:

Tabelle 11: Qualitäten von erzeugten Stoffströmen mechanischer Aufbereitungsanlagen

Erzeugte Stoffströme	Eisen [Ma.-%]	Nichteisen [Ma.-%]	Nichtmetall [Ma.-%]
Eisenmetalle	95–99	0,1–5	0,5–5
Nichteisenmetalle		>95	0,5
Kunststoffe und Staub	0–2	1–5	>95

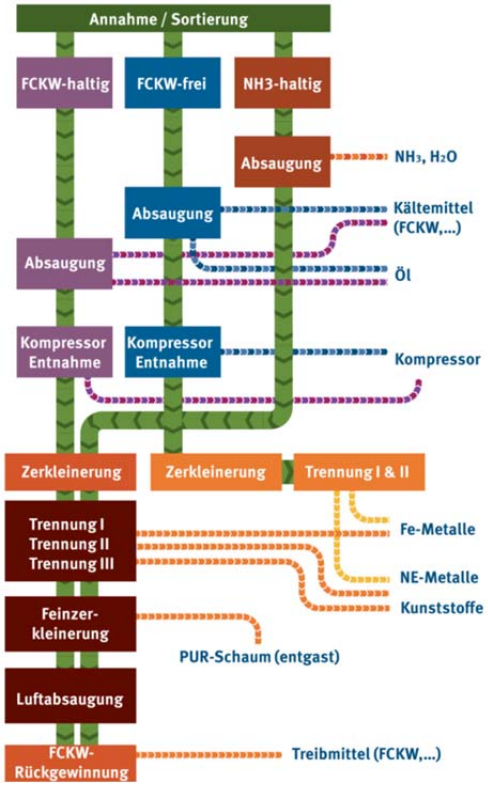
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

Im Folgenden werden für ausgewählte Produktgruppen verfügbare Recyclingmöglichkeiten bzw. -verfahren beschrieben.

Kühlgeräte

Bei der Aufbereitung der Kühlgeräte ist besonders auf die Rückgewinnung der enthaltenen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) bzw. bei neueren Geräten auf die kohlenwasserstoffgeschäumten Kühlmittel (VOC) zu achten. Das Recycling erfolgt in geschlossenen Anlagen, um ein Entweichen der Kühlmittel zu verhindern. Ein daraus resultierendes Prozessschema ist nachfolgend wiedergegeben:

Abbildung 19: Ablaufschema VOC-Anlage *(Schema modifiziert nach R-plus Recycling GmbH)*



Bildschirmgeräte

Monitore und Fernsehgeräte mit Kathodenstrahlröhren bestehen im Wesentlichen aus Glas, welches Bleioxide zum Schutz vor Strahlung enthält. Andere Schwermetalloxide, wie z.B. Cadmium, wurden manchmal in der Phosphorbeschichtung eingesetzt. Weil das Blei sich vom Glas lösen kann und Boden und Grundwasser belastet, ist eine Ablagerung auf Deponien aus Umweltsicht nicht erstrebenswert.

Die beste Alternative zur Behandlung von Bildschirmgläsern ist die Trennung der unterschiedlichen Arten von Glas (Schirm- und Konusglas, da diese unterschiedliche Qualitäten aufweisen), die Entfernung der Beschichtungen, Zerkleinerung Entfernung von Metallanhaftungen und der Wiedereinsatz in der Glasindustrie zur Herstellung neuer Bildschirme. Als Anforderung zum Wiedereinsatz des Glasbruchs müssen die Schirm- und Konusgläser in bestimmte Qualitäten sortiert werden, welche mit den Anforderungen der Glasindustrie übereinstimmen. Abgelehnt werden Gläser, welche schadstoffhaltige Materialen enthalten. Beschichtungen im Schirmglas enthalten oft Zinksulfide oder Blei und Cadmium. Ein Nass/Trockenvakuum mit einer hocheffizienten Staubabtrennung oder spezielle Filter werden bei der Entfernung der potenziell schadstoffhaltigen Beschichtungen eingesetzt. Zum Einsatz in den Glasfabriken müssen Eisen- und Nichteisenmetalle vom Glas entfernt sein. Dies erfolgt mit Hilfe von Überbandmagneten für die Eisenmetalle und einem vertikal eingesetzten Nichteisenabscheider an den zerkleinerten Glasscherben. Das erzeugte Produkt ist gereinigt und für den Schmelzprozess bereit.

Abbildung 20: Vereinfachtes Aufbereitungsschema für Bildschirmgeräte

Die aktuell marktgängigen Bildschirmgeräte (Flachbildschirme) funktionieren auf Basis einer Flüssigkristallanzeige (Liquid Crystal Display, LCD) bzw. aus vielen kleinen Gasentladungslampen oder Leuchtdioden zur Hintergrundbeleuchtung (Light Emitting Diode, LED). Die Aufbereitung der Flachbildschirme erfolgt beginnend mit einer manuellen Demontage zur Entnahme der Gasentladungslampen (siehe Datenblatt „Altlampen“), um Quecksilberemissionen durch die Zerstörung der Lampen zu vermeiden. Alternativ gibt es bereits kleinere Anlagen, in denen die Flachbildschirme unter Absaugung der Quecksilberemissionen geschreddert und über eine automatisierte Sortierung in die verschiedene Fraktionen getrennt werden.

Kunststoffteile

Eine wirksame Kunststoffrückgewinnung kann durch folgende Prozessschritte realisiert werden:

1. Zerkleinern großer Gehäuse in kleine Stücke und Reinigung (Entfernung von Verunreinigungen)

2. Trennung nach Kunststoffsorten. Dies kann durch einen 3-stufigen Dichtetrennprozess erfolgen (redundanter Hydrozyklonprozess, 2. redundanter Hydrozyklonprozess, Schwimm-Sink-Trennung) an den sich eine elektrostatische Trennung als abschließender Schritt anschließt.
3. Charakterisierung und Identifikation von Kunststoffteilen, Ermittlung von physikalischen Besonderheiten des separierten Kunststoffes

Nach der Durchführung aller Prozessstufen können 6 Output-Ströme erzeugt werden:
- Gemischte Polyethylene und Polypropylen
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
- schlagfestes Polystyrol (HIPS)
- Polycarbonate
- Polycarbonate ABS gemischt
- Andere Kunststoffe wie z.B. Nylon oder PVC

Das gemischte Polyethylen und Polypropylen kann ohne weitere Trennung oder Aufbereitung in den Markt gegeben werden. HIPS, ABS, Polycarbonate und Polycarbonate/ABS sind begehrte Wertstoffe und können anstelle von Rohmaterial genutzt werden.

Leiterplatten und komplexe Komponenten

Die metallhaltigen Ströme bei der Zerlegung elektronischer Altgeräte umfassen insbesondere Leiterplatten und komplexe Komponenten. Komplexe Komponenten sind z.B. Laufwerke, Gehäuse, Drucker, Tastaturen. Leiterplatten enthalten die wertvollsten Metalle jedoch werden auch die meisten toxischen Metalle in elektronischen Abfällen gefunden. Der Edelmetallgehalt in Leiterplatten ist 10 bis 100-fach größer als der einer gleichen Menge des entsprechenden Roherzes. Unterschiedliche Methoden und Ausrüstungen werden benötigt, um Leiterplatten und komplexe Komponenten zu recyceln.

Die meisten Praktiken zur Aufbereitung komplexer Komponenten starten mit der Demontage und nachfolgender Zerkleinerung und /oder Sortierschritten. Leiterplatten indes werden zur Wiedergewinnung von Edelmetallen und Kupfer vielfach noch komplett in Kupferschmelzen gegeben. Dabei können auch toxische Stoffe zerstört bzw. unschädlich gemacht werden. Allerdings ist das Beschicken der Kupferschmelzen mit ganzen Leiterplatten nicht effizient, weil ungefähr 70 Masse-% nichtmetallische Materialien sind.

Eine signifikante Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der Metallgewinnung kann durch eine Trennung der Metalle und Nichtmetalle durch verschiedene Prozesse erreicht werden, wobei auch die Reinheit der Materialien vor dem Einsatz in den Schmelzen verbessert wird. Techniken aus der Erzaufbereitung und mineralogischen Verarbeitungsindustrie können dazu genutzt werden. Diese Techniken beinhalten Schritte der Zerkleinerung, Siebung, Trennung und Anreicherung welche zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften führen und eine wirtschaftliche Rückgewinnung der verschiedenen Metalle ermöglichen.

Zur Wiedergewinnung verschiedenster Metalle werden Schmelzen mit differenzierten Behandlungsschritten (Raffinerieprozess) genutzt. Edelmetalle werden von anderen Metallen in der Schmelze getrennt, wobei sich letztere in der bleihaltigen Schlacke konzentrieren. Das Kupfer und die Edelmetalle werden im nächsten Schritt durch Auslaugung und elektrolytische Prozesse getrennt. In der anschließenden Edelmetallraffinerie werden reine Edelmetalle erzeugt. In parallelen Schritten werden Metalle, wie Nickel oder Blei gewonnen.

AUSWIRKUNGEN AUF ANDERE BEREICHE

Die Aufbereitung von Elektroaltgeräten birgt, insbesondere im Bereich der Reparatur, Zerlegung und Rückgewinnung von Ersatzteilen und wiederverkaufsfähigen Komponenten, hohe Beschäftigungspotenziale. Nach einfachem Anlernen können vor allem auch Menschen mit Behinderungen, weniger qualifizierte oder sozial benachteiligte Personen hierdurch eine Arbeitstätigkeit erfahren. Spezielle Werkstätten, integrative und karitative Einrichtungen können in diesem Bereich tätig werden.

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Wie in Europa so gibt es auch in Deutschland ein weites Netz an Zerlegungs- und Aufbereitungsbetrieben für Elektronikaltgeräte. Diese werden zum Teil von den Entsorgungsfirmen betrieben oder bilden eigenständige Unternehmen. Beispiele hierfür sind: - Berliner Stadtreinigungsbetriebe, Berlin www.bsr-online.de - REMONDIS Electrorecycling GmbH, Lünen www.remondis.de - ALBA Elektronics Recylcing GmbH, Eppingen www.alba.info/the-recycling-company.html - GWAB Recycling-Zentrum, Wetzlar www.gwab-recycling.de - Stena Recycling Sweden, Standort Wangerland www.stenatechnoworld.com/de/ Weitere Informationen für den Bereich des Elektro- und Elektronikgeräterecyclings und Auskünfte zu den hier tätigen Firmen die auch in großer Zahl von ihm vertreten werden, sind erhältlich beim: - ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, e.V. www.zvei.org - Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V. www.bde.de - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. www.bvse.de

ABFALL VON LEUCHTSTOFF-, ENTLADUNGS- UND ANDEREN LAMPEN

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

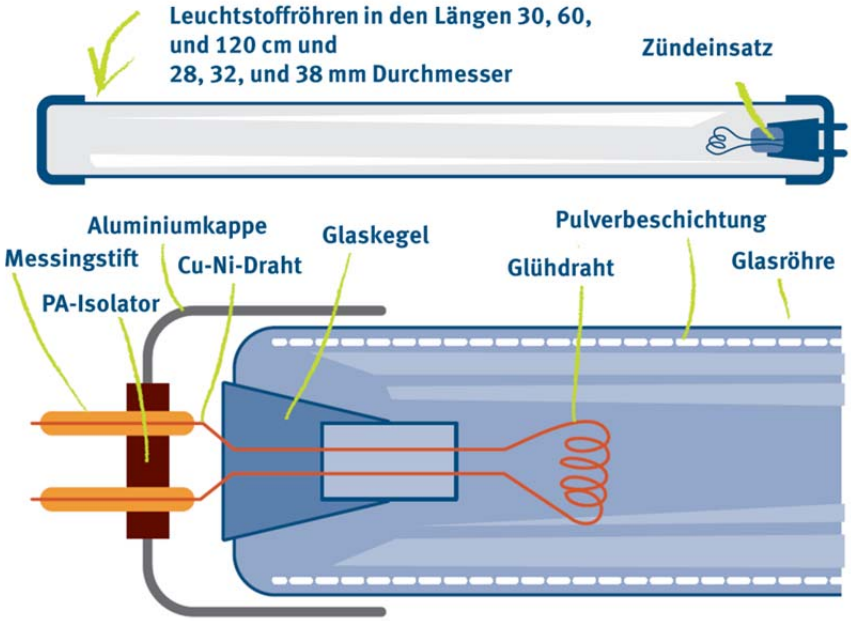
- Aufgrund gefährlicher Inhaltsstoffe (u. a. Quecksilber) sind besondere Anforderungen an die Sammlung und Behandlung von Lampen zu stellen.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Neben ihrer Glashülle und Metallteilen aus Stahl und Aluminium enthalten Leuchtstoff- und andere Entladungslampen 0,003–1,5 g Quecksilber, abhängig von der Lampenart und vom Hersteller.

Quecksilbergehalt in	Leuchtstofflampen:	0,003–0,015 g
	Natriumhochdrucklampen:	0,03 g
	Energiesparlampen:	0,0025 g
	Hochspannungs-/ Entladungslampen:	1,5 g

Abbildung 21: Aufbau und Zusammensetzung einer Niederspannungsleuchtstofflampe



Glühlampen und metallhaltige Lampen enthalten kein Quecksilber und zählen deshalb nicht zum gefährlichen Abfall. Energiesparlampen werden ohne elektronisches Vorschaltgerät oder als Lampe mit eingebautem Vorschaltgerät verkauft.

RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU

Zur Kategorie der Abfälle aus Elektro- und Elektronikaltgeräten gehörend sind gebrauchte Leuchtstoff-, Entladungs- und anderen Lampen in Europa erfasst durch die Richtlinie 2012/19/EU vom 04. Juli 2012 über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) und die Richtlinie 2011/65/EU vom 08. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS).

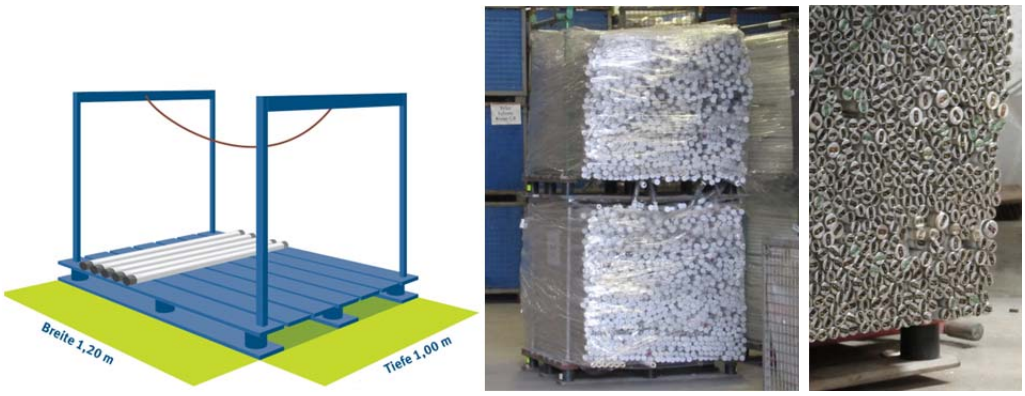
WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Aufgrund ihrer möglichen Gehalte an Quecksilber müssen Leuchtstoff- und andere Entladungslampen als gefährlicher Abfall betrachtet werden, welcher eine spezielle Behandlung und kontrollierte Entsorgung verlangt. Dies betrifft an erster Stelle den Schutz der Umwelt vor Kontamination durch diese Substanz während der Nutzung, Sammlung und Entsorgung dieser Lampentypen. Sie dürfen nicht zusammen mit anderem Müll oder in normalen Abfallsammelsystemen entsorgt werden. Einfache Glühlampen können indes über den Hausmüll entsorgt und zusammen mit diesem behandelt werden.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS - WEGE UND - STRATEGIEN

Leuchtstoff- und andere Entladungslampen haben einen Marktanteil von über 50 %. Die meisten Arten haben eine Röhrenform mit einer Länge von 120–150 cm. Die Sammlung sollte vorzugsweise in speziellen Sammelsystemen für Elektro- und Elektronikaltgeräte, im Abholsystem für gefährlichen Abfall oder durch öffentliche Wertstoffhöfe erfolgen. Bei größeren Anfallmengen dieser Lampen (z.B. in Fabriken, Büro u. Schulgebäuden, Abbruch und Rekonstruktionsarbeiten) sollte eine separate Sammlung in speziellen Behältern organisiert werden. Dafür sind Gitterboxpaletten oder spezielle Rungenwagen (siehe Abbildung 22) am besten geeignet.

Abbildung 22: Erfassungsvarianten an Großanfallstellen von Leuchtstoffröhren (Bildquellen: Intecus GmbH)



Für kleinere Lampen, wie Energiesparlampen, sind 200-Liter-Spannring-Deckelfässer oder kleine Gitterboxpaletten die beste Wahl.

Für den Transport dieses Abfalls sollten spezielle Behälter wie z.B. Metall- oder Kunststoffbehälter in verschiedenen Größen genutzt werden. Metallisches Quecksilber muss in Stahlflaschen transportiert werden.

Auf der Grundlage einer gesetzlichen Verpflichtung der Hersteller zur Rücknahme und Entsorgung von Gasentladungslampen kann eine flächendeckende Erfassung der entsprechenden Lampenarten (d.h. Leuchtstoffröhren und Energiesparlampen) organisiert werden. Als geeignet erweisen sich Gemeinschaftsunternehmen der Lampenhersteller, welche die Rücknahme ausgedienter Gasentladungslampen kostenoptimiert und umweltschonend über ein Netz freiwilliger Übergabestellen, Wertstoffhöfe oder durch direkte Abholung bei Großverbrauchern realisieren und deren Verwertung sicherstellen.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND STRATEGIEN

Das vordergründige Ziel jedes Behandlungsprozess ist es, die gefährlichen Komponenten verlässlich zu trennen, zu entfernen und erforderlichenfalls zu beseitigen ohne eine Beeinträchtigung oder Beschädigung der Umwelt zu verursachen. Darüber hinaus sollen marktfähige Materialien in den Produktionsprozess und Materialkreislauf zurückgeführt werden.
Eine Gewährleistung, dass beides auf umweltfreundliche Weise geschieht, bietet im Falle von stabförmigen Entladungslampen das sogenannte Kapp-Trenn®-Verfahren. Für dieses Verfahren ist eine Vorsortierung der Lampen nach Längen notwendig. Zurückgewonnenes Altglas und Metalle bilden die Hauptprodukte welche erneut der Produktion zugeführt werden können. Kontaminierte Substanzen und Materialien (üblicherweise weniger als 10 %) können nach einer ordnungsgemäßen Vorbereitung (z.B. verschließbare Container) sicher in unterirdischen Gruben abgelagert werden (siehe Datenblatt "Deponien für gefährliche Abfälle").

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

Durch die spezielle “Produktionsumkehr“-Technologie des Kapp-Trenn®-Verfahrens, basierend auf der selektiven Zerlegung der Lampen, können saubere Produkte entstehen, die für den geschlossenen Kreislauf im Produktionsprozess geeignet sind.

Kernvorgang der Kapp-Trenn®-Methode ist die Trennung der Endkappen der Lampe vom weniger quecksilber-kontaminierten Glasmittelteil z.B. durch Aufheizen der Enden mit einem Brenner und anschließenden Abbrechen durch eine kalte Luftdüse. Die offene Röhre wird durch Druckluft vom quecksilberhaltigen Leuchtpulver befreit.

Abbildung 23: Verfahrensablauf beim Kapp-Trenn® – Verfahren der Fa. LAREC® (www.larec.de)

Nach der Zerkleinerung kann das Glas von Glasherstellern wiederverwendet werden. Wenn es ausreichend rein ist, kann der Anteil Aluminium von den Lampenkappen als Ausgangsmaterial zur Aluminiumschmelze genutzt werden. Das Quecksilber wird durch die Wärme freigesetzt und kann recycelt werden. Im Idealfall können die Recyclingprozesse mit der Weiterverarbeitung und Rückgewinnung kombiniert werden. Leuchtpulver, welches in Verbindung mit Glaspulver vorkommt, wird teilweise gelagert, teilweise an Hersteller zur Rückgewinnung der Seltenen Erden gegeben. Das Kapp-Trenn-Verfahren des Unternehmens LAREC® läuft automatisch und kann mehr als 6.000 Lampen pro Stunde verarbeiten.

Parallel zu stationären Recyclinganlagen werden auch mobile Konzepte praktiziert. Ein Beispiel ist das Konzept der Firma Herborn. Die in Boxen gesammelten stabförmigen Entladungslampen werden dem mobilen System zugeführt. In einem trockenen Verfahren (Kappen-Trenn-Verfahren "system herborn") werden die Metallkappen mechanisch vom Glaskörper getrennt, das Lampenglas gebrochen und das quecksilberhaltige Leuchtstoffpulver abgesaugt. Die verunreinigte Abluft wird über Filteranlagen geführt und durch einen Aktivkohlefilter gereinigt. Die Anlage wird im Unterdruckbetrieb betrieben um Emissionen zu vermeiden. Die Bestandteile der Lampe werden zu einer thermischen Behandlung weitergeführt. In einem weiteren Behandlungsschritt werden die Endkappen von anhaftendem Fremdmaterial gereinigt.

Hauptprodukt der vorgenannten Verfahren ist Altglas mit einer bestimmten Qualität, welches zur Produktion neuer Leuchtstoff- oder anderen Entladungslampen eingesetzt werden kann. Die abgetrennten Metallteile (Aluminium, Stahl) werden als Rohmaterial der Produktion wieder zugeführt. Bleihaltige Gläser können direkt zur Recycling-Blei-Erzeugung genutzt werden. Ebenso kann das Quecksilber für industrielle Zwecke wiederverwendet werden. Der Anteil kontaminierter Reststoffe liegt bei weniger als 10 %, beim LAREC®-Verfahren sogar üblicherweise bei nicht mehr als 3 %.

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER	In Deutschland ansässige Verfahrensbetreiber und Dienstleister für den Bereich des Lampenrecyclings und der Rücknahme sind z.B.: - LIGHTCYCLE Retourlogistik und Service GmbH, München www.lightcycle.de - LAREC Lampen-Recycling GmbH, Brand-Erbisdorf www.larec.de - HERBORN GmbH, Ginsheim-Gustavsburg www.system-herborn.de

Umwelt Bundesamt

KRANKENHAUSSPEZIFISCHE ABFÄLLE

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

- Medizinische Abfälle und Krankenhausabfälle beinhalten neben verschiedenen Materialkomponenten auch infektiöse Abfälle. Letztere bilden rund 3 Prozent des Abfallaufkommens in Krankenhäusern und sonstigen Gesundheitseinrichtungen. Sie gelten aufgrund ihres Infektionsrisikos als gefährliche Abfälle und müssen speziell behandelt werden.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Grundlage der Klassifizierung krankenhausspezifischer Abfälle ist das Europäische Abfallverzeichnis. Die Definitionen der einzelnen Abfallströme kann der Vollzugshilfe (Mitteilung 18) zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) entnommen werden (www.laga-online.de/servlet/is/23874/). Eine vergleichbare Differenzierung existiert auch bei der WHO.

Krankenhausabfälle werden je nach Art, Beschaffenheit, Zusammensetzung und Menge nachfolgenden Kategorien zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt in erster Linie herkunftsbezogen. Als gefährlich eingestufte Abfälle (nach Europäischem Abfallverzeichnis) sind mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet.

Tabelle 12: Krankenhausabfälle klassifiziert nach Europäischen Abfallkatalog

Bezeichnung	Schlüsselnummer nach Europ. Klassifizierung
Spritzen und scharfe Gegenstände (außer18 01 03*) auch „sharps“ genannt	18 01 01
Körperteile und Organe, einschließlich Blutbeutel und Blutkonserven	18 01 02
Abfälle an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht besondere Anforderungen gestellt werden	18 01 03*
Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden (z. B. Wund- und Gipsverbände, Wäsche, Einwegkleidung, Windeln)	18 01 04
Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten	18 01 06*
Chemikalien mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 06 fallen	18 01 07
Zytotoxische und zytostatische Arzneimittel	18 01 08*
Arzneimittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 08 fallen	18 01 09
Amalgamabfälle aus der Zahnmedizin	18 01 10*

Zusätzlich zu diesen für das Gesundheitswesen typischen Abfällen fallen noch weitere Abfälle an. Die Mengen und die Anfallwahrscheinlichkeit dieser Abfälle sind stark von der Art der Gesundheitseinrichtung sowie deren Größe abhängig.

In Krankenhäusern fallen neben ca. 30 % krankenhausspezifischen Abfällen aus dem Pflege- und Behandlungsbereich überwiegend hausmüllähnliche Abfälle an (ca. 60 %). Etwa 10 % sind gefährliche Abfälle und beinhalten zu 3 % infektiöse und 7 % schadstoffhaltige Abfälle.

RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU

In Europa bilden für den ordnungsgemäßen Umgang und die sichere Entsorgung krankenhausspezifischer Abfälle die Bestimmungen des Abfall-, Infektionsschutz-, Arbeitsschutz-, Chemikalien- und Gefahrgutrechts die Grundlagen.

Für den Referenzrahmen zur Anwendung der Bestimmungen auf die einzelnen Abfallbestandteile sorgt die Entscheidung der Kommission 2001/119/EG vom 22. Januar 2001 zur Regelung über ein Abfallverzeichnis gemäß der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle und Entscheidung 94/904/EG des Rates über ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle im Sinne der Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Stoffe.

WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Für das prioritäre Ziel der Abfallvermeidung in Krankenhäusern gilt es, Maßnahmen wie die Mehrfachverwendungen medizinischer Geräte und Hilfsmittel und Managementsysteme zum abfallarmen Einkauf sowie zur effizienten Lagerhaltung/Bestandsüberwachung zu etablieren.

An die Sammlung bzw. Erfassung, den Transport sowie die Verwertung/ Entsorgung krankenhausspezifischer Abfälle werden erhöhte Anforderung hinsichtlich der Sicherheit und Hygiene gestellt, die insbesondere auch der besonderen Gefährlichkeit eines Teils der Abfälle gerecht werden. Auf diese Anforderungen wird in den nachfolgenden Erläuterungen näher eingegangen. Den Schwerpunkt dabei bildet die konsequente Umsetzung der Abfalltrennung, insbesondere ein sortenreines Erfassen von Einwegspritzen, die getrennte Erfassung von Zytostatika-Abfällen, die Trennung des infektiösen Abfalls vom restlichen Abfall, sichere Verwahrung und Transporte sowie eine abfallspezifische Entsorgung.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS - WEGE UND -STRATEGIEN

18 01 01 – Spritzen und scharfe Gegenstände (außer18 01 03*) auch „sharps“ genannt

- Nutzung von stich- und bruchfesten Einweggefäßen für die Sammlung
- diese müssen fest verschließbar sein
- Eine stoffliche Verwertung, die ein Öffnen der Sammelbehältnisse voraussetzt, ist auch nach einer Desinfektion unzulässig

Abbildung 24: Sammelbehälter für infektiöse Einmalmaterialien, Spritzen etc. (Bildquelle: sudok1/Fotolia.com)

18 01 02 – Körperteile und Organe, einschließlich Blutbeutel und Blutkonserven

- getrennte Erfassung vor Ort in geeigneten sicher verschließbaren Behältnissen
- Umfüllen oder Sortieren der Abfälle ist nicht zulässig
- Die Lagerung hat so zu erfolgen, dass eine Gasbildung vermieden wird (Lagerungstemperatur ‹15°C bei einer Lagerung von längstens 1 Woche; bei Lagerungstemperatur ‹8°C kann die Lagerzeit verlängert werden)
- Tiefgefrorene Abfälle können bis zu 6 Monaten gelagert werden.

18 01 03* – besondere Anforderungen an Abfälle aus infektionspräventiver Sicht

- Die Abfälle sind unmittelbar am Ort des Anfalls in reißfesten, feuchtigkeitsbeständigen und dichten Behältnissen zu sammeln (z.B. bauartgeprüfte Gefahrgutbehältnisse) und ohne umfüllen und sortieren in geeigneten Behältnissen zu zentralen Sammelstelle zu befördern. Diese Behältnisse sind mit dem „Biohazard“-Symbol zu kennzeichnen.
- Anforderungen an die Abfallbehältnisse nach TRBA 250 müssen erfüllt sein
- Die Lagerung hat so zu erfolgen, dass eine Gasbildung in den Sammelbehältnissen vermieden wird

Abbildung 25: Kennzeichnungssymbol „Biohazard“

18 01 04 – keine besondere Anforderungen an Abfälle aus infektionspräventiver Sicht

- Die Abfälle sind unmittelbar am Ort des Anfalls in reißfesten feuchtigkeitsbeständigen und dichten Behältnissen zu sammeln. Sie dürfen nicht umgefüllt und sortiert werden.

18 01 06* – Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten

- Eine getrennte Sammlung der Einzelfraktionen ist zu bevorzugen
- Bei größeren Einzelmengen können Abfälle auch spezieller geregelten Abfallströmen zugeordnet werden (z. B. Säuren; Laugen)

18 01 07 – Chemikalien mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 06 fallen

- Bestimmte Chemikalienabfälle welche in großen Mengen ohne gefährliche Inhaltsstoffe anfallen können spezieller geregelten Abfallströmen zugeordnet werden und sind getrennt nach Einzelfraktionen zu sammeln
- Die Sammlung und Lagerung hat in für den Transport geeigneten Behältnissen zu erfolgen
- Die Lagerräume sind ausreichend zu belüften

18 01 08* – Zytotoxische und zytostatische Arzneimittel

- Hier sind alle Abfälle zuzuordnen, die bei der Zubereitung und Anwendung von krebserzeugenden, erbgutverändernden oder reproduktionstoxischen Arzneimitteln anfallen. Weiterhin sind getrennt zu entsorgende Abfallmengen vorrangig bei der Anwendung von Zytostatika und Virusstatika zu erwarten.
- Die Sammlung hat in bauartgeprüften, stich- und bruchfesten Einwegbehältnissen zu geschehen.
- Die Abfälle dürfen nicht umgefüllt, sortiert oder vorbehandelt werden.

18 01 09 – Arzneimittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 08 fallen

- Die Erfassung der Abfälle muss getrennt erfolgen
- Es hat eine zugriffssichere Sammlung zu erfolgen, um missbräuchliche Verwendung auszuschließen

18 01 10* – Amalgamabfälle aus der Zahnmedizin

- Diese Abfälle sind gesondert zu sammeln und regelmäßig zu entsorgen

VERFÜGBARE RECYCLING-MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN

Für die hausmüllähnlichen Abfallströme aus medizinischen Einrichtungen stehen die aus dem Bereich der Siedlungs- und Gewerbeabfälle bekannten materialspezifisch verfügbaren Recycling- und Verwertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Prominentes Beispiel ist das Recycling diverser Kunststofffraktionen z.B. aus Infusionsflaschen, ungebrauchten Kanülen und Einwegspritzen. Es können auch aus kontaminierten, krankenhausspezifischen Abfällen nach erfolgter Desinfektion mit Anlagen, die der DIN 58949 entsprechen, bzw. durch Nutzung von Zerkleinerungs-Desinfektionsanlagen thermisch verwertbare Fraktionen erzeugt werden. Eine Sortierung oder stoffliche Verwertung von nichtgefährlichen krankenhausspezifischen Abfällen ist nur möglich, wenn die spezifischen Anforderungen des Arbeitsschutzes beachtet werden. Bestimmte Chemikalienabfälle können stofflich recycelt werden. Ebenfalls zum Zwecke des stofflichen Recyclings zurückgenommen werden können Amalgamabfälle aus der Zahnmedizin.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND STRATEGIEN	
	18 01 01 – Spritzen und scharfe Gegenstände (außer18 01 03*) auch „sharps“ genannt - Der Abfall darf nicht sortiert werden, eine stoffliche Verwertung, die das Öffnen des Behälters voraussetzt ist unzulässig - verfahrenstechnisch ist sicherzustellen dass beim Umgang mit diesen Abfällen allen Gesundheitsrisiken Rechnung getragen wird - eine gemeinsame Entsorgung mit Abfällen der Gruppe 18 01 04 ist möglich, solange gewisse Schutzmaßnahmen beachtet werden - die Entsorgung über Abfallverbrennungsanlagen ist zu bevorzugen ***18 01 02 – Körperteile und Organe, einschließlich Blutbeutel und Blutkonserven*** - Die Abfälle sind ohne vorheriges Verdichten oder Zerkleinern in den für die Sammlung verwendeten Gefäßen in einer zugelassenen Anlage zu verbrennen - Einzelne mit Blut oder flüssigen Blutprodukten gefüllte Behältnisse können in dafür vorgesehene Ausgüsse entleert werden wenn dieses der kommunalen Abwassersatzung entspricht - Eine Verwertung einzelner Blutbestandteile in der Pharmaindustrie ist möglich ***18 01 03* – besondere Anforderungen an Abfälle aus infektionspräventiver Sicht*** - Die Abfälle sind ohne vorheriges Verdichten oder Zerkleinern in den für die Sammlung verwendeten Gefäßen in einer zugelassenen Anlage zu verbrennen - Eine Verwertung ist nicht zulässig - Abfälle dürfen in Anlagen, die baulich und funktionell den Anforderungen der DIN 58949 entsprechen und deren Wirksamkeit belegt ist (siehe "Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren, Ziffer 3.4") desinfiziert werden und zusammen mit Abfall AS 18 01 04 gemeinsam entsorgt werden. ***18 01 04 – keine besondere Anforderungen an Abfälle aus infektionspräventiver Sicht*** - Abfälle dieser Art sind getrennt von Siedlungsabfällen zu halten und in zugelassenen Anlagen zu beseitigen - Eine Sortierung oder stoffliche Verwertung ist unter hygienischen Gesichtspunkten zu untersagen - Behältnisse mit größeren Mengen an Körperflüssigkeiten können unter Beachtung von hygienischen und infektionspräventiven Gesichtspunkten in die Kanalisation entleert werden. ***18 01 06* – Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten*** - Die gefährlichen Abfälle sind einer dafür zulässigen Entsorgung zuzuführen (Abfallverbrennungsanlage, chemisch-physikalische Behandlungsanlage). - Die Entsorgung erfolgt vorzugsweise unter Angabe der speziellen Abfallschlüsselnummer für die entsprechende Chemikalie ***18 01 07 – Chemikalien mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 06 fallen*** - Die Abfälle sind in Abhängigkeit von Abfallzusammensetzung einer dafür zulässigen Entsorgung zuzuführen ***18 01 08* – Zytotoxische und zytostatische Arzneimittel*** - Diese Abfälle werden bei 1000°C inaktiviert und müssen somit einer speziellen Verbrennungsanlage zugeführt werden. ***18 01 09 – Arzneimittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 08 fallen*** - Eine gemeinsame Entsorgung mit anderen Abfällen (z.B. 18 01 04) ist möglich. Hierbei ist eine Gefährdung durch den missbräuchlichen Zugriff durch Dritte auszuschließen. Vorzugsweise Verbrennung in zugelassenen Abfallverbrennungsanlagen

18 01 10* – Amalgamabfälle aus der Zahnmedizin

- Es besteht die Möglichkeit der stofflichen Verwertung durch den Hersteller oder Vertreiber von Amalgam bzw. dem beauftragten Verwerter. Hierfür muss eine Desinfektion des Materials erfolgen.

Nachfolgend wird eine Verbrennungsanlage für Krankenhausabfälle beispielhaft dargestellt. Dabei erfolgt die Verbrennung der Abfälle in zwei Stufen:

Primärkammer: In der Primärkammer werden die Abfälle mittels eines Zündbrenners gezündet und bei 400 °C bis 800 °C unterstöchiometrisch (unter Sauerstoffmangel) verbrannt. Der gebildete Schwelkoks wird anschließend bei vollem Luftangebot nachverbrannt.

Thermoreaktor: Die aus der Primärkammer kommenden Schwel- und Brenngase werden mit Luft im Überschuss gemischt und bei Temperaturen von ca. 1.000 °C verbrannt. Mit dieser Stufe ist gewährleistet, dass alle organischen Verbindungen vollständig ausbrennen. Die dabei entstehenden Rauchgase werden zusätzlich noch durch den Feuerraum der Hausmüllverbrennungsöfen geführt und durchlaufen im Anschluss die fünfstufige Rauchgasreinigung (siehe Datenblatt „Rauchgasreinigung“).

Abbildung 26: Technisches Aufbauschema einer Verbrennungsanlage für krankenhausspezifische Abfälle (modifiziert nach AVA Augsburg)

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	In Deutschland werden vielerorts Anlagen zur gesonderten Behandlung und Entsorgung von krankenhausspezifischen Abfällen betrieben. Referenzbeispiele sind u.a.: *Siedlungsabfallverbrennungsanlagen mit separaten Verbrennungsaggregaten für infektiöse Abfälle:* - Abfallverwertung Augsburg GmbH, Augsburg www.ava-augsburg.de - Abfallheizkraftwerk der MVA Bielefeld-Herford GmbH, Bielefeld-Heepen www.mva-bielefeld.de Für den Bereich krankenhausspezifischer Abfälle tätige Herstellerfirmen sind z.B. *Gefahrgutbehälter für infektiöse Stoffe:* - Firma Brosch, Winterbach www.brosch-pe.de - Firma Infa Lentjes, www.infa-lentjes.de *Verbrennungsanlagen für krankenhausspezifische Abfälle:* - IFZW, Zwickau www.ifzw.de - Michaelis, Veitshöchheim www.michaelis-umwelttechnik.de - Ruppmann Verbrennungsanlagen Stuttgart www.ruppmann.de Wichtige Grundsätze, Verfahrensweisen und Techniken für den Umgang mit medizinischen und krankenhausspezifischen Abfällen enthalten u.a. auch die Publikationen von - Weltgesundheitsorganisation (WHO) "Safe management of wastes from health-care activities" 2nd edition (2014) "WHO core principles for achieving safe and sustainable management of health-care waste" (2007) - United Nations Environment Programme (UNEP) "Compendium of Technologies for Treatment/Destruction of Healthcare Waste" (2012)

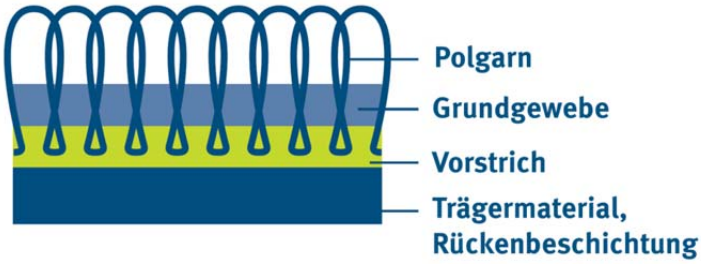
Umwelt Bundesamt

ALTFARBEN UND -LACKE

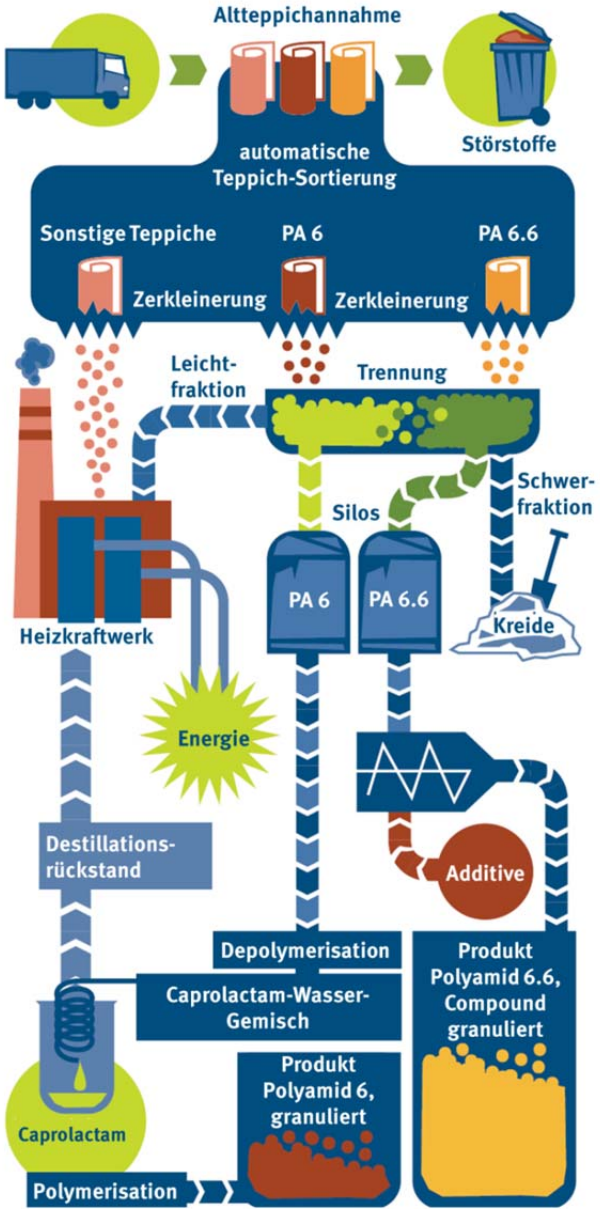
RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:	- Aufgrund gefährlicher Inhaltsstoffe sind besondere Anforderungen an die Sammlung und Behandlung von Altfarben und Altlacken zu stellen
ZUSAMMEN-SETZUNG UND WESENTLICHE STOFF-KOMPONENTEN	Die Zusammensetzung von Farben und Lacken ist sehr unterschiedlich und insbesondere abhängig von deren Anwendungsgebieten und Produzenten. Verallgemeinernd lassen sich bei Farben und Lacken aber folgende Hauptkomponenten identifizieren: - Bindemittel - Farbpigment (teilweise mit Anteilen von Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Zinkchromat) - Lösungsmittel (Terpentin, Benzin, Alkohol) - Füllstoffe - Zusatzstoffe, wie Verdickungsmittel und Konservierungsstoffe Der Lösungsmittelanteil kann im Bereich von 80% bei Nitrolacken bis 10% bei Dispersionslacken liegen. Farben, besonders für den Innenanstrich (Leimfarben/ Kalkfarben/ Dispersionsfarben), enthalten keine Lösungsmittel.
RECHTS-GRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU	Für Altfarben und -lacke gibt es in Europa kein spezielles Regelungswerk in Form einer Direktive allerdings sind die Bestimmungen für schadstoffhaltige bzw. gefährliche Abfälle auf den Teil der Abfälle anzuwenden, in dem Komponenten enthalten sind, die zu dieser Abfallkategorie gezählt werden bzw. entsprechend im europäischen Abfallkatalog gelistet sind.
WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUND-LAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM	Wie für alle Abfälle gilt auch für Altfarben und -lacke grundsätzlich der Vorrang, deren Entstehung möglichst zu vermeiden. Dies kann in großem Maßstab insbesondere durch eine präzise Planung der Verwendungsbereiche und Einsatzmengen sowie durch kluge Beschaffungsstrategie und Lagerung erreicht werden. Außerdem bestehen für viele Anwendungen Alternativen in der Form, dass anstelle von lösemittel- und/oder schadstoffhaltigen Suspensionen, auch umweltfreundliche Produkte zum Einsatz gebracht werden können. Farben und Lacke, die Lösungsmittel beinhalten sowie Farb- und Lackgemische unbekannter Zusammensetzung gelten als Sonderabfall und müssen dementsprechend behandelt werden. Altfarben und Altlacke, die in lackverarbeitenden Industrien anfallen (z.B. Overspray, d.h. Lack der vorbeigesprüht wurde), können häufig direkt wiederverwendet werden. Das ist vor allem deshalb möglich, weil die Zusammensetzung bekannt ist und sie noch nicht ausgehärtet sind. Insbesondere besteht für Altfarben und Altlacke die Notwendigkeit einer getrennten Erfassung/Sammlung, um mögliche Kontaminationen oder Verunreinigungen anderer, ansonsten verwertbarer Abfallstoffe auszuschließen.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS -WEGE UND -STRATEGIEN	In der lackverarbeitenden Industrie werden die häufig in größerer Menge anfallenden Farben und Lacke (Lackschlämmen) am besten über ein spezielles System erfasst, abgeholt und an die Verwerter weitergeleitet. Für kleinere Mengen an Altfarben und Altlacken die in Haushalten entstehen ist die Einrichtung eines Bringsystems mit zentralen Sammelstellen angebracht. Dabei werden die anfallenden Mengen von privaten Haushalten bzw. kleinen Gewerbeeinheiten zu öffentlichen Sammelstellen gebracht. Alternativ ist auch eine Haus-zu-Haus-Sammlung nach spezieller Ankündigung und in regelmäßigen Intervallen möglich. Bei dieser Art von Sammlung ist eine stoffliche Rückgewinnung jedoch nicht möglich. Dies liegt hauptsächlich an der Vielfalt (und somit der unterschiedlichen Zusammensetzung) der Produkte. Ein Trennen nach Art und Zusammensetzung wäre unwirtschaftlich. Wichtig ist es, Altfarben und -lacke in verschließbaren, bruchsicheren Behältnissen zu lagern und einzusammeln. Geeignet sind z.B. lösungsmittelresistente Kunststofffässer oder Metallbehälter.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN	Im Regelfall kommt für Altfarben und Altlacke nur eine energetische Verwertung (Müllverbrennung) in Frage. Die Abfälle werden wie Sondermüll behandelt und bei 1200–1400°C verbrannt (siehe Datenblatt "Wirbelschichtverbrennung"). Wegen des energetischen Gehaltes kann teilweise auch die Nutzung bei speziellen Mitverbrennungsprozessen erfolgen. (siehe Datenblatt "Industrielle Mitverbrennung"). Vorbehandelt und/oder umweltsicher gekapselt kann zur sicheren Verwahrung auch eine Abgabe an Sonderabfalldeponien erfolgen (siehe Datenblatt "Deponie für gefährliche Abfälle")
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN	Wiederverwendet werden nur Lacke und Farben die besonders rein gewonnen werden können. Dies wird nur in größeren lackverarbeitenden Betrieben gemacht. Hierfür müssen die Spritzkabinen mit geeigneten Lackabscheidern und die Abluftanlagen mit Wäschern ausgestattet sein. Aus den auf diesem Weg gewonnen Lackschlämmen können die Lacke wiedergewonnen werden. Durch geeignete Absorptions- und Adsorptions-Verfahren können auch die Lösemittel aus der Abluft rückgewonnen und wiederverwertet werden. Recyclingmöglichkeiten gibt es auch bei einigen Druckfarben. Eine rentable Anwendung ist aber erst ab größeren Mengen (100 Mg und mehr) möglich. Das wiedergewonnene Produkt hat jedoch eine geringe Qualität und kann nur bedingt eingesetzt werden.
REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER *(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*	Anerkannte Firmen und Dienstleister im Bereich der Altlack- und Altfarbenverwertung und -entsorgung und hierfür erforderlicher Technologien in Deutschland sind u.a.: - Chemische Werke Kluthe GmbH, Heidelberg www.kluthe.de - Hunsrück-Sondertransport-GmbH, Hoppstädten-Weiersbach www.hstg.de - Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH, Fellbach www.saa.de - AVG Abfall-Verwertungs-Gesellschaft mbH, Hamburg www.avg-hamburg.de

ALTTEPPICHE

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:	- Altteppiche sind sehr voluminöse Abfälle. Sie erfordern eine gesonderte Erfassung, um übliche Sammelsystem nicht zu überlasten und unerwünschte Auswirkungen in Entsorgungsanlagen (z.B. Blockaden, Schwelbrände) zu vermeiden.
ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN	Die Nutzschicht von Teppichen - das Polgarn - kann, je nach Herstellungsart aus chemischen Fasern wie Polyamid (PA), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET) oder Polyacrylnitril (PAN), aus pflanzlichen Fasern wie Baumwolle, Sisal, Jute und Kokos oder aus tierischen Fasern wie Wolle und Seide oder aus Gemischen sein. Die Grundgewebe bestehen meist aus PP oder PE. Für den Vorstrich wird carboxylierter Styrol-Butadien-Kautschuk (XSBR) verwendet, für die Rückenbeschichtung wird hauptsächlich vernetztes, aufgeschäumtes Styrol-Butadien-Styrol (SBS) aber auch XSBR oder ataktisches (unregelmäßiges) Polypropylen (aPP) oder Acrylat-Kautschuk (Latex auf Basis Acrylsäureester - ACM) verwendet. Bei Teppichfliesen werden als Rückenschicht amorphe Polyalpha-Olefine (APO), Bitumen, Ethylen-Vinylacetat (EVA) oder Polyvinylchlorid (PVC) benutzt. Als pflanzliche Rückenbeschichtung wird bei Webteppichen auch Jute eingesetzt. Abbildung 27: Schematische Darstellung eines Teppichboden 
RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU	In Europa besteht für diese Art von Abfällen keine spezifische Regelung, allerdings kommt die Deponierichtlinie 1999/31/EC zur Anwendung wonach eine Deponierung von Altteppichen auszuschließen ist.
WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM	Als großstückige Abfälle müssen Altteppiche hauptsächlich über den Sperrmüll oder gezielt von den gewerblichen Anfallstellen entsorgt werden. Anschließend sollten sie einer Verwertung zugeführt werden, da das Material einen hohen Energiegehalt aufweist und rohstofflich interessante Komponenten enthält. Im Vordergrund steht dabei zurzeit noch die energetische Verwertung.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN	Für Altteppiche empfiehlt sich die flächendeckende Einführung einer gesonderten Rücknahmelogistik, wie sie in Deutschland bereits teilweise besteht. Die Teppiche werden entweder über ein Bringsystem auf kommunalen Wertstoffhöfen gesammelt wo sie von einem Verwerter abgeholt werden oder der Verwertungsbetrieb stellt den Gewerbebetrieben und Haushalten Container oder Big Bags (siehe Datenblatt "Big Bags") zur Verfügung und holt diese dann ab (Holsystem). In Abwesenheit eines solchen Erfassungssystems finden sich Altteppiche hauptsächlich im Sperrmüll oder in Baustellenabfällen. In Sortieranlagen (siehe Datenblatt „Aufbereitung und Sortierung von Sperrmüll“) können diese Altteppiche aussortiert und einer Verwertung zugeführt werden.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS-WEGE UND STRATEGIEN	Anlagen zur Verbrennung von Haus- und Gewerbeabfällen bieten derzeit noch die am häufigsten genutzte Variante für die energetische Verwertung. Ferner besteht aber die Möglichkeit zerkleinerte Altteppiche auch in industriellen Mitverbrennungsprozessen in der Zementindustrie und in speziellen Kraftwerksanlagen energetisch zu nutzen (siehe Datenblatt "Industrielle Mitverbrennung"). Eine Alternative zur energetischen Verwertung ist das Recycling von Polyamid-, Polypropylen- und Wollteppichen.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN	Für das Recycling von Polyamid (PA)-Teppichen wurde in Deutschland ein großtechnisches Verfahren gemäß nachfolgender Darstellung entwickelt. In den USA existieren Anlagen mit einem vergleichbaren Prozess, wohin über die Carpet Recycling Europe GmbH (CRE) Altteppiche aus Europa geliefert werden. Alte Teppiche oder Teppichreste aus PA können entweder rohstofflich auf chemischem Wege zu neuem Polyamid aufbereitet oder werkstofflich zu Sekundärkunststoffen weiterverarbeitet werden. Abbildung 28: Verfahrensschema für Recycling von Polyamid-Altteppichen



Bei dem Verfahren erfolgt eine automatische Sortierung der angelieferten unsortierten und unbehandelten Teppiche spektroskopisch nach ihrem Flormaterial (PA 6, PA 6.6, sonstige). Teppiche, die kein Polyamid enthalten, werden zerkleinert und der energetischen Verwertung zugeführt. Nach einer Zerkleinerung werden die Polyamid-Teppiche in mehrstufigen Zentrifugen in ihre Bestandteile zerlegt: Polyamid-Fasern, Kreide und sonstige Fasern (Trägermaterial). Die Kreide wird stofflich, die sonstigen Fasern energetisch verwertet. Die PA 6-Fasern werden zunächst chemisch zu Caprolactam gespalten. Es folgt die mehrstufige Reinigung des Monomers und abschließend erfolgt die Polymerisation zu virginalem Polyamid 6. So erlaubt es der Prozess, aus dem Alt-Polyamid ein neues Produkt herzustellen, das in seinen Eigenschaften einem Neu-Polyamid entspricht und somit auch zur Produktion von neuen Textilfasern geeignet ist. Polyamid 6.6-Faser werden einer physikalischen Aufbereitung unterzogen und das Granulat mittels eines Extruders aufgeschmolzen, physikalisch gereinigt, in dem Compounder mit Zuschlagstoffen versetzt und zu einem marktfähigen, compoundierten Polyamid 6.6 verarbeitet.

Wollteppichböden

Zur Aufbereitung von Wollteppichböden existiert ein Verfahren, bei dem zurückgewonnene Wollfasern zu biologischen Dämmstoffen verarbeitet werden. Zunächst werden Woll- und Polypropylenfasern durch sog. Reißen aus den entsprechenden Teppichbodenfraktionen wiedergewonnen. Die Fasern, Wolle und Polypropylen, werden im gewünschten Verhältnis (z.B. 80/20) gemischt. Anschließend folgt die Herstellung einer unverfestigten Dämmmatte. Die Verfestigung der Dämmmatte entsteht durch Erhitzen, wobei die Polypropylenfasern mit den Wollfasern verschmelzen (Thermobonding). Abschließend kann die Dämmmatte (z.B. mit Borsalz) zusätzlich ausgerüstet werden, um besseren Flammschutz zu gewährleisten. Mit diesem Verfahren wird ein Dämmstoff aus 100% Recyclaten hergestellt. Durch den Einsatz von Polypropylen kann vollkommen auf chemische Verfestigungsmittel verzichtet werden. Die neuen Dämmstoffe lassen sich kostengünstiger als Dämmstoffe aus Schurwolle herstellen.

Polypropylen-Teppichböden

Verfahren, um auch Polypropylen-Teppichböden einer stofflichen bzw. rohstofflichen Verwertung zuzuführen existieren ebenfalls, haben in Deutschland aber noch keine großtechnische Umsetzung erfahren.

Sortierreste

Fasermischungen und Fraktionen, für die keine ausreichend wirtschaftlichen Verwertungskapazitäten bestehen, können nach einer Sortierung zu einem Brennstoff weiterverarbeitet und energetisch verwertet werden (siehe Datenblatt "Industrielle Mitverbrennung"). Beim Einsatz in der Zement- und Kalkindustrie werden nicht nur fossile Brennstoffe mit Anteilen von Fasern und Latex ersetzt sondern auch Kreide aus Teppichen stofflich verwertet. Deshalb stellt dieser Verwertungsweg auch eine energetisch-stoffliche Verwertung dar.

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Referenzanlagen für das Teppichrecycling in Deutschland sind u.a.

- Recotex GmbH, Würzburg www.recotex.de
- Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co. KG www.pallmann.eu

Informationen zu sämtlichen Phasen des Teppichbodenrecyclings, von der Sammlung bis hin zur Herstellung neuer Teppichböden lieferte das europäische Forschungsprojekt RECAM (Recycling of Carpet Material)

www.cordis.europa.eu/result/rcn/80438_en.html

Weitere Informationen und Hinweise auf Firmen und Dienstleister im Bereich des Textilrecyclings sind u.a. erhältlich bei:

- Fachverband Textilrecycling www.bvse.de/fachverband-textilrecyling

Umwelt Bundesamt

KOMMUNALER KLÄRSCHLAMM

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS

- Aus kommunalen Abwässern anfallende Schlämme verfügen über Stoffgehalte die düngende und bodenverbessernde Wirkung haben können, außerdem bilden der Energiegehalt und Substanzen wie bspw. Phosphor nutzbare Ressourcen. Wiederum sind andere Schlammkomponenten für Boden und Grundwasserkörper potenziell schädlich oder können pathogene Wirkung auf Organismen entfalten. Somit bedarf es bei der Nutzung des Klärschlamms besonderer Schutzmaßnahmen und Vorkehrungen. Teilweise können Behandlungsoptionen die auch auf Siedlungsabfälle angewandt werden bzw. mit Siedlungsabfällen kombinierte Verfahrensvarianten die Verwirklichung beider Zielstellungen unterstützen.
- Der Abfallstrom unterliegt speziellen Regelungen im Bereich der Europäischen Union.

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Bei dem durch die kommunale Abwasserbehandlung erzeugten Klärschlamm wird grundsätzlich wie folgt differenziert:

- *Primärschlamm* – ist der in den mechanischen Reinigungsstufen aufgrund physikalischer Vorgänge, z.B. über Sedimentierung entstehende Schlammanteil. Dieser stellt den Großteil des Gesamtschlammvolumens in Abwasserreinigungsanlagen dar. Der Feststoffanteil liegt bei etwa 2,5–3 %, der Rest sind wässrige Verbindungen.
- *Rücklaufschlamm* – ist ein im Prozess der biologischen Behandlung entstehender Schlammanteil. Grundsätzlich bildet er sich zusammen mit dem sogenannten Sekundär- oder Überschussschlamm aber stellt dabei die sich über Setzungsprozesse in der Zwischen- und Nachklärstufe abscheidende Biomassesuspension dar, welche nach Abzug aus den genannten Stufen wieder in die Belebungsbecken zurückgeführt und dort gegebenenfalls weiter metabolisiert bzw. vollständig umgesetzt wird.
- *Sekundär- oder Überschussschlamm* – ist jener Anteil des in der biologischen Abwasserbehandlungsstufe anfallenden Schlammes der nicht erneut dem biologischen Klärprozess zugeführt wird sondern in dessen Anschluss zurück bleibt. Dieser Schlamm enthält nur noch rund 0,5–1 % an Feststoffen, weshalb zur weiteren Aufbereitung i.d.R. eine Aufkonzentration bzw. Vermischung mit Primärschlamm erfolgt.

Primär- und Überschussschlamm bilden demzufolge jenes Klärschlammvolumen, welches nur noch aus Gründen der Nutzung oder Entsorgung einer weiteren Nachbehandlung unterzogen wird und damit Betrachtungsgegenstand der folgenden Darstellungen ist. Gelegentlich auch als *tertiärer Schlamm* bezeichnet ist es quantitativ und qualitativ auch die Schlammenge, welche von Abwasserreinigungsanlagen nach durchgeführter Phosphorreduzierung (die bspw. durch Ausfällung mittels Eisen-/Aluminiumsalzen oder Kalkmilch erfolgt) im Sinne eines effizienten und sicheren Abfallmanagements zu handhaben ist. Dabei ist zu beachten, dass dieser Schlamm über Inhaltsstoffe wie Schwermetalle, pathogene Erreger und endokrin wirksame Substanzen verfügt, die aufgrund ihrer Umweltschädlichkeit besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Gleichzeitig soll ein Verlust an ebenfalls enthaltenen wertvollen Komponenten, wie bspw. Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumverbindungen als wichtigen Pflanzennährstoffen weitgehend vermieden und, soweit möglich, auch der Energiegehalt genutzt werden.

Dies lässt erkennen, dass Klärschlamm nicht nur als ein Abfall und Mehrstoffgemisch sondern auch als eine multipel nutzbare Ressource zu betrachten ist. Inhomogenität und teils sehr divergierende Gehalte an Inhaltsstoffen sind charakteristische Merkmale des Klärschlamms, hierdurch sind Angaben zu einer standardisierten oder Durchschnittszusammensetzung schwierig und nur mit höchstem Vorbehalt zu behandeln (siehe Tabelle 133, 14, 15).

Tabelle 13: Orientierungswerte für die stofflichen Eigenschaften von kommunalen Klärschlamm

Grundeigenschaften	Einheit der Wiedergabe	ungefährer Wertebereich (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)
pH-Wert		7,7
Glühverlust	%	45–80
Nettoheizwert	MJ/kg Trockenrückstand (TR)	10–12

Tabelle 14: Orientierungswerte für die stofflichen Eigenschaften von kommunalen Klärschlamm

Stoffgehalte des Klärschlammes die besonderen nährstofflichen Wert besitzen	ungefährer Wertebereich in g/kg Trockenmasse (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)
Phosphor (P)	2–55
Magnesium (Mg)	9–9,5
Kalzium (Ca)	70
Kalium (K)	2–3
Kobalt (Co)	6–7
Molybdän (Mo)	3,5–4

Der überwiegende Teil der organischen Substanz am Klärschlamm ist bakteriellen Ursprungs und dadurch chemisch unbedenklich und aus den Bestandteilen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel bestehend. Darüber hinaus gibt es aber auch kritische organische Verbindungen, die bedenklichsten sind dabei polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F), halogenorganische sowie zinn-organische Verbindungen. Ebenfalls i.d.R. im Klärschlamm enthalten sind Tenside und polizyklisch-aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Die vorgenannten kritischen organischen Inhaltsstoffe haben ihren Ursprung meistenteils von ins Abwasser gelangten Haushaltsprodukten und -reinigern. Weitere Herkunftsquellen sind pharmazeutische Artikel sowie Holzschutzmittel und ölhaltige Substanzen. Schwermetallverbindungen im kommunalen Klärschlamm sind wiederum vor allem auf Freisetzungen und Abwaschungen von Straßen und Oberflächen anthropogen erzeugter Strukturen zurückführbar.

Tabelle 15: Orientierungswerte für die stofflichen Eigenschaften von kommunalen Klärschlamm

Substanzen im Klärschlamm	meist in folgenden Konzentrationsbereichen pro kg Schlammtrockenmasse vorliegend (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)						
	› 300 mg	› 100 – 300 mg	› 50 – 100 mg	5 – 50 mg	1 – ‹ 5 mg	0.1 –‹ 1 mg	‹ 0.1 mg
Antimon (Sb)				x			
Arsen (As)				x			
Blei (Pb)			x				
Kadmium (Cd)					x		
Chrom (Cr)			x				
Kupfer (Cu)	x						
Mangan (Mn)	x						
Nickel (Ni)				x			
Selen (Se)					x		
Thallium (Th)						x	
Vanadium (V)				x			
Quecksilber					x		
Zink (Zn)		x					
Zinn (Sn)			x				
AOX	x						

Substanzen im Klärschlamm	meist in folgenden Konzentrationsbereichen pro kg Schlammtrockenmasse vorliegend (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)						
	› 300 mg	› 100 – 300 mg	› 50 – 100 mg	5 – 50 mg	1 – ‹ 5 mg	0.1 –‹ 1 mg	‹ 0.1 mg
PCDD/F							x
PAK						x	
DEHP				x			
polybromierte Diphenylether							x
polychlorierte Biphenyle (PCB)							x
Lineare Alkylbenzolsulfonsäuren (LAS)					x		

Pathogene Bestandteile und Keime verursacht durch die Präsenz von Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmgelegen sind weitere Inhaltsstoffe von Klärschlamm. Ihre Gefährlichkeit liegt in der gesundheitsgefährdenden Wirkung auf menschliche und tierische Organismen welche insbesondere durch Aufnahme über die Haut oder Nahrungskette hervorgerufen werden kann. Das ultimative Ziel der Behandlung und des weiteren Managements von Klärschlamm ist daher die potenziell schädlichen Bestandteile und deren Wirkungsspektrum zu minimieren und gleichzeitig weitestgehenden Nutzen aus der Ressource zu ziehen.

RECHTSGRUNDLAGEN BZW. REFERENZDOKUMENTE MIT GELTUNG FÜR EU

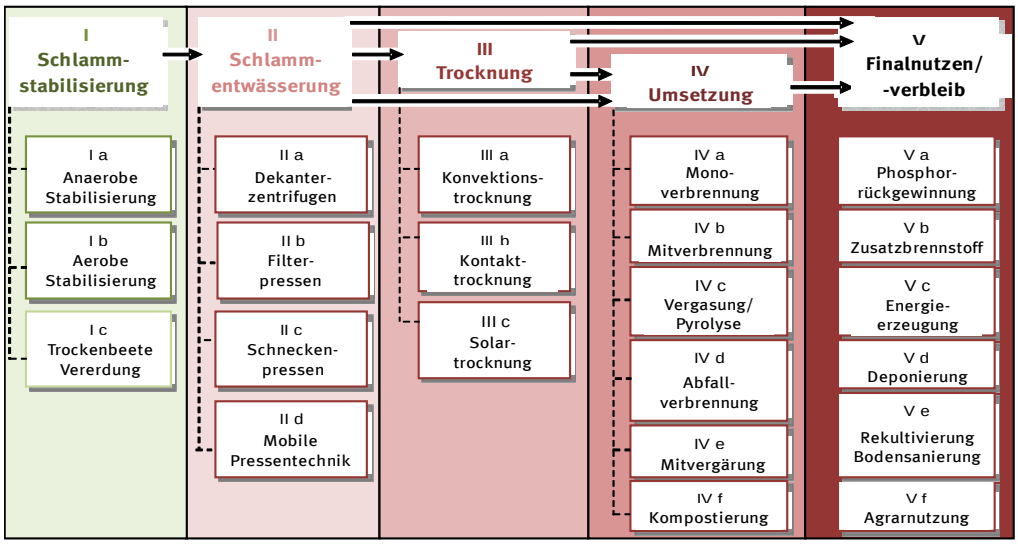
Für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ist der Rechtsrahmen für die Verwendung von Klärschlamm aus der Behandlung von Siedlungsabwässern auf landwirtschaftlich genutzten Böden oder sonstigen Flächen durch die Council Directive 86/278/EEC über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft gesetzt. Die genannte Verordnung befindet sich seit geraumer Zeit in einem Prozess intensive Debatten und veränderter ordnungsrechtlicher Überlegungen. Dies erfolgt mit dem Ziel sowohl neuen Erkenntnissen, insbesondere zur Gefährlichkeit und zur Wirkungsspanne bestimmter Inhaltsstoffe, wie auch inzwischen vorhandenem Technologiefortschritt und verbesserten Analysemöglichkeiten zukünftig angemessene Beachtung zu geben. Vereinzelt haben Länder bereits damit begonnen, ihre nationalen Regeln und Konzeptionen für die Klärschlammentsorgung an diese neue Kenntnislage anzupassen, hierzu zählt auch Deutschland. Zu den dabei getroffenen Entscheidungen gehören u.a. die schrittweise Abkehr oder sogar Totalverbote der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm oder auch die zunehmend verpflichtende Rückgewinnung von Phosphor sowohl aus Abwasser als auch dem Klärschlamm oder dessen Behandlungsresten, wie bspw. der Verbrennungsasche.

WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM

Durch eine Behandlung des Klärschlammes gilt es sicherzustellen, dass potenziell gefährliche Inhaltsstoffe auf ein unkritisches Niveau reduziert werden oder dafür eine Form der sicheren Entsorgung erfolgt wo aber die Nutzeffekte dieser Ressource weitestgehend zur Ausschöpfung gelangen sollen. Notwendige Grundschritte für eine effiziente Behandlung und anschließende Verwertung bzw. Entsorgung sind eine angemessene Eindickung, Stabilisierung sowie Entwässerung des Klärschlammes an den Kläranlagen. Eindickung und Entwässerung sind nach Maßgabe der nachfolgenden Behandlungsschritte vorzunehmen. Optimale Behandlungs- und Verwertungsresultate lassen sich insbesondere erzielen, wenn eine entsprechend angepasste Voraufbereitung des Schlammes durchgeführt wird.

Sowohl die stoffliche als auch die energetische Nutzung aber auch eine Ablagerung des Klärschlamms machen verschiedene Vor- bzw. Nachbehandlungsschritte notwendig. Zunächst aber kann und sollte der Anfall an Überschussschlamm in den Abwasserreinigungsanlagen durch optimale Verfahrensführung und mögliche Zusatzmaßnahmen zum Zwecke niedrigeren Behandlungs- und Kostenaufwandes minimiert werden. Für die jeweiligen Behandlungsschritte existieren im Allgemeinen mehrere Verfahrensoptionen und Technologien die sich auch je nach Zielstellung teilweise ersetzen können oder miteinander verknüpft zur Anwendung gelangen. Eine grundsätzliche Übersicht hierzu gibt Abbildung 29.

Abbildung 29: Überblick zu den Hauptbehandlungstechniken u. -kombinationen für Klärschlamm



Für alle Behandlungsschritte sind die Betriebsführung, Schutz- und Überwachungsmaßnahmen, einschließlich analytischer Kontrollmessungen darauf auszurichten, dass Risiken durch gefährliche Bestandteile und Behandlungsprodukte minimiert bzw. ausgeschlossen werden. Dafür sind kritische Kontrollparamater und Richtwertdaten für jeden Prozess/jedes Produkt festzulegen und zu erfassen und bei der Betriebsführung entsprechend zu berücksichtigen bzw. zu deren Optimierung einzusetzen. Einen Überblick zur prozessspezifischen Relevanz verschiedener Parameter gibt Tabelle.

Tabelle 16: Relevanz verschiedener Parameter für Schlammbehandlungs/-entsorgungsprozesse

Methode der Klärschlammbehandlung und -entsorgung													
		Stabilisierung											
Parameter	Sedimentierung	aerob	anaerob	chemisch	thermal	Eindickung	Entwässerung	Trocknung	Transport	Verbrennung	Kompostierung	Agrarische Nutzung	Deponierung
Temperatur		x	x				x	x		x	x		
Dichte						x		x	x				
Viskosität/Fließverhalten							x	x	x	x		x	x
Absetz-/Eindickverhalten	x					x	x						
Feststoffkonzentration	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Glühverlust		x	x	x	x				x	x	x	x	x
Vergärbarkeit			x										
pH-Wert		x	x	x			x				x	x	
flüchtige Säuren			x										
Fett-/Ölgehalt		x	x									x	
Schwermetallkonzentration			x							x	x	x	x
Nährstoffkonzentration		x	x								x	x	
Partikelgröße	x					x	x						
Kapillardruck (CST)						x	x						
Spezifischer Widerstand						x	x						
Komprimierbarkeit							x						
Filtrier-/Zentrifugierbarkeit							x						
Kalorischer Wert										x			
Auslaugbarkeit													x
Mikrobieller Zustand		x	x								x	x	

Quelle: ISWA/EEA, 1997

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN	Da Klärschlamm durch mechanische und biologische Vorgänge bei der Abwasserreinigung entsteht, fällt er in erster Linie an den Abwasserreinigungsanlagen, also größtenteils kommunalen Kläranlagen an. Eine spezielle Sammlung bzw. Erfassung entfällt insoweit die Klärschlammbehandlung daher zunächst zumeist direkt am Entstehungsort, d.h. dem Anlagenstandort erfolgt. Gewisse Mengen an Abwasser- und Fäkalschlämmen werden jedoch unter Umständen bzw. in bestimmten Gegenden auch in häuslichen Sammelgruben, Tanks oder Kleinstkläranlagen erzeugt und bedürfen dann zur Weiterbehandlung einer Einsammlung und des Transportes zu geeigneten Anlagen. Hierzu werden spezielle Saugtankfahrzeuge eingesetzt die zur Aufnahme der häufig sehr flüssigen Schlämme über mitgeführte Pumpen und Saugrüssel und deren verlustfreien Transport in der Lage sind.
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN	Die Behandlungsmethoden für Klärschlamm umfassen Prozesse zur Schlammeindickung, biologischen Stabilisierung, Entwässerung, Trocknung und stofflichen Umwandlung an deren Ende die Hygienisierung, Schadstoffimmobilisierung bzw. Mineralisierung der organischen Bestandteile steht. Es gilt hervorzuheben, dass jeder Prozessschritt und jede Verfahrensvariante mit spezifischen Vor- und Nachteilen verbunden ist (die sich auch auf die anschließenden Optionen zur Weiterbehandlung oder Verwertung erstrecken können) und deshalb kein Behandlungsweg als die ideale und stets vorzuziehende Lösung angesehen werden kann. Elementar wichtig ist, dass bei der Behandlungsentscheidung und Wahl an Entsorgungslösungen und Technik neben den umweltbezogenen und wirtschaftlichen Auswirkungen auch die jeweiligen lokalen Bedingungen und Bedürfnisse mit betrachtet und einbezogen werden. <u>Schlammeindickung:</u> Zweck der Eindickung ist die Reduzierung des Schlammvolumens durch einen ersten Entzug von Flüssigkeit. Eindicker können, wie im Fall von Sedimentationstanks, so gestaltet sein, dass die ungelösten Bestandteile auf den Grund absinken können und dort zu einer Aufkonzentration der Feststoffe führen. Bei anderen Auslegungsvarianten der Eindickung wird eine einfache mechanische Verdichtung des Schlammes herbeigeführt (bspw. durch das Passieren von Scheiben oder Schneckengängen) wodurch Flüssigstoff vom Gesamtmaterialfluss abgesplittet wird. Die Verringerung des Schlammvolumens ist vor allem aus Gesichtspunkten einer effizienteren Auslastung von Lager- und Transportkapazität sowie einer niedrigeren Behandlungsmenge wichtig. Nach der Eindickung kann eine weitere Behandlung des Rohschlammes im Regelfall nur unterbleiben, wenn dieser sofort unmittelbar in eine zur Frischschlammverbrennung ausgelegte Anlage übergeben wird. <u>I. Stabilisierung:</u> Die Klärschlammstabilisierung kann chemische, biologische und thermische Methoden einschließen. Stabilisierter Schlamm mit verringerten Schadstoffgehalten bietet eine deutlich erhöhte Sicherheit, auch was den breiteren Zugang zu unterschiedlichen Entsorgungsoptionen und die Abnahmebereitschaft anbelangt. Hauptziele der Stabilisierung sind: - verringertes Reaktionspotenzial des Schlammes; - reduziertes Schlammgesamtvolumen und Feststoffabbau; - verbesserte Entwässerungseigenschaften; - mögliche Biogasgewinnung und -nutzung, allerdings zu Lasten einer Heizwertreduzierung beim stabilisierten Schlamm; Schaffung einer Zwischenspeichermöglichkeit und eines Pufferbereiches zur Vergleichmäßigung des Behandlungsprozesses. Für die verschiedenen Klärschlammverwertungsoptionen wird ein unterschiedliches Stabilisierungsniveau benötigt bzw. vorausgesetzt. Prinzipiell wird davon ausgegangen oder empfohlen, dass: - eine Stabilisierung von Schlamm der thermischen Prozessen zugeführt oder biologischen Umwandlungsprozessen unterworfen wird nicht zwingend erforderlich ist (insoweit nicht aus Gründen von Transporten, Lagersicherheit oder Geruchsvermeidung dies-

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN

–FORTSETZUNG–

bezüglich Forderungen gestellt werden).

- für den landwirtschaftlichen Einsatz (unabhängig vom Feststoffgehalt im Moment der Verwertung) der Schlamm vollständig stabilisiert ist.
- für den landschaftsbaulichen Einsatz (bei geringerem Feststoffgehalt im Moment der Verwertung) der Schlamm vollständig stabilisiert ist.
- für den Einsatz entwässerten Schlammes zur Rekultivierung oder im Landschaftsbau wenigstens ein semistabilisierter Zustand herbeigeführt wurde.
- bei Notwendigkeit und Zulässigkeit der Deponierung von Klärschlamm als Minimalvoraussetzung eine Schlammentwässerung oder auch -trocknung sowie eine partielle bis vollständige Stabilisierung (je nach vorhandener Technik) durchzuführen ist.

Die Stabilisierung durch Einsatz chemischer Hilfsstoffe, insbesondere Ätzkalk, gestattet zwar eine relative schnelle aber nicht zwingend durchgehende und dauerhafte Stabilisierung und hat damit nicht die gleiche Wirksamkeit wie sie mit biologischen Prozessen erzielbar ist. Bei den biologischen Stabilisierungsverfahren gilt es insbesondere eine Unterscheidung zwischen sauerstoffgestützten Prozessen (Aerobverfahren) und solchen unter weitestgehendem Sauerstoffauschluss (Anaerobverfahren) zu machen. Chemische oder thermisch gestützte Hydrolyse als vorgeschaltete oder prozessintegrierte Maßnahme beim Einsatz von Anaerobverfahren hilft eine höhere Biogasausbeute und ein besseres Stabilisierungsergebnis herbeizuführen. Dahingegen sind bei Absicht zur Schlammverbrennung Anaerobverfahren kontraproduktiv, da sie für eine Heizwertverringerung sorgen.

Tabelle 17: Wesentliche Merkmalsunterschiede der biologischen Stabilisierungsverfahren für Klärschlamm

	Anaerobverfahren	Aerobverfahren
Wesentliche Prozessmerkmale	• Organische Fracht und damit auch das Schlammvolumen werden durch biologischen Abbau unter Luftausschluss (anaerobe Vergärung) vermindert. • Diese Stabilisierungsmethode wird üblicherweise in Gärbehältern (bzw. Faultürmen) in einem mesophilen (30-38°C) oder auch thermophilen (49-57°C) Temperaturbereich vollzogen und beansprucht eine Zeit von 20-30 Tagen. • Methangas (bzw. Biogas) wird quasi als Nebenprodukt erzeugt und kann energetisch genutzt werden. • Die Koppelung der erzeugten Energie und Hitze, die bei der Verbrennung des Biogases freigesetzt wird, im Einsatz für eine Klärschlammtrocknung bildet eine höchst effiziente und ökonomisch sinnvolle Lösung. • Zusätzlicher Effekt der Vergärung ist ein verbessertes Entwässerungsverhalten des Restschlammes. • Die spezifischen Investitionsbeträge bei klassischen eiförmigen Gärtürmen belaufen sich auf Größenordnungen zwischen 600-1000 EUR/m³ Gärvolumen; der Personalzusatzaufwand pro Anlage liegt bei etwa 8-10 Std./Monat.	• Im Schlamm enthaltene Mikroorganismen werden durch Zugabe von Luftsauerstoff stimuliert und setzen dadurch die organischen Bestandteile zu humusartigen Produkten und Mineralstoffen um. • Mit verschiedenen Belüftungstechniken (z.B. Zentrifugalgebläse, Rotationsbürsten, Flügelrädern oder anderen Lüfter-aggregaten wie bspw. Membranbelüfter) ausgestattete und betriebene Aktivierungsbecken sorgen für optimale mikrobiologische Stimulierung und Aktivität. • Alternativmöglichkeiten für diese Art von forciertem Stabilisierungsprozess bestehen in der Schlammkompostierung (siehe Datenblatt „Kompostierung“) oder Klärschlammvererdung (bzw. durch Nutzung von speziell ausgelegten Schilfbeeten). • Das ungefähre Investitionsvolumen in eine Klärschlammvererdungsanlage liegt in Deutschland bei 60 EUR/m² Gesamtbehandlungsfläche (alle Nebeneinrichtungen und Begleitstrukturen inkludiert).

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN –FORTSETZUNG–

Mittels Einsatzes einer Nitrifikationskaskade kann der Stabilisierungserfolg und die Verminderung von unerwünschten Stoffkonzentrationen zusätzlich unterstützt werden, hiervon profitiert besonders ein anschließendes aerobes Verfahren. Ebenfalls schon bei der Stabilisierungsstufe zu berücksichtigen ist die Anwendung von Optionen zur Phosphorrückgewinnung (siehe Datenblatt „Phosphorrückgewinnung“).

II. Entwässerung:

Die Reduzierung des Flüssigkeitsanteils am Klärschlamm trägt wesentlich zur Erhöhung der Behandlungseffizienz und vor allem zum wirtschaftlicheren Transport von Schlammmassen bei. Nach der Eindickung ist die Entwässerung technisch jener Schritt, der die Wasserfracht des Schlammes deutlich reduziert. Mit dem Prozess erhöht sich der Feststoffanteil am weiter zu handhabenden Schlamm, welcher nach Filtration als sogenannter Filterkuchen zurückbleibt. Die Flüssigkeitsabtrennung erfolgt dabei auf verschiedenen Wegen, bspw. über Textilgewebe in Filterpressen oder auch durch Einsatz von Dekanterzentrifugen, Scheiben- oder Schneckenpressen. Für den Einsatz des Schlammes in thermischen Anlagen ist vor allem der erhöhte Heizwert nach der Entwässerung von Bedeutung und kostenrelevant. Mit mechanischen Schlammentwässerungsmethoden sind üblicherweise Feststoffkonzentrationen im Bereich zwischen 20 und 45 %, gemessen als Trockenrückstand (TR), erreichbar. Der mechanisch erzielbare Entwässerungsgrad hängt hauptsächlich von der eingesetzten Technik, Art und Zusammensetzung des Klärschlammes sowie einer möglicherweise hierzu durchgeführten Konditionierung des Schlammes ab. Entwässerungsresultate oberhalb von 10 % TR benötigen im Regelfall immer erst eine vorgeschaltete chemische Konditionierung durch Einsatz von Flockungsmitteln und -zusätzen. Hierdurch agglomerieren feinste suspendierte oder kolloidale Bestandteile im Schlammwasser zu größeren Makroflocken und sondern sich dadurch vom Wasseranteil ab.

Unterschieden werden anorganische Konditionierungs-/Flockungsmittel, dazu gehören vor allem Eisen- und Aluminiumsalze, Kalkmilch und auch Kohle. Dem stehen die organischen Flockungsmittel, vor allem in Form organischer Polymere gegenüber. Eisen- und Aluminiumsalze werden häufig auch im Zusammenhang mit der angestrebten Phosphatreduzierung eingesetzt. Die Reduzierung des Phosphatgehaltes im Anschluss an die Entwässerung erlaubt es den Trockenrückstand im Schlamm um weitere 5 % und mehr zu erhöhen. Allerdings steigt mit Einsatz dieser Salze auch der Anteil nicht brennbarer Substanz (speziell Asche) im entwässerten Schlamm. Organische Konditionierungs- bzw. Fällmittel sind daher die bessere Wahl, wenn eine thermische Verwendung des Schlammes angestrebt wird.

Der benötigte Energieaufwand um mit einem Entwässerungsaggregat den Trockenrückstand von Klärschlamm von 5 % auf 35 % zu bringen liegt im Mittel in einem Bereich von 3-5 $kWh_{electr.}$ pro kg H_2O.

III. Trocknung:

Es existieren mehrere Gründe weshalb eine zusätzliche Trocknung des Klärschlamms nach erfolgter Entwässerung sinnvoll sein kann. Einige Hauptargumente von dieser Option Gebrauch zu machen sind folgende:

- die weiter zu behandelnde bzw. zu entsorgende Schlammenge wird nochmals reduziert;
- der Heizwert des Schlammes steigt weiter an;
- ein zusätzlicher Stabilisierungs- und Hygienisierungseffekt wird erzielt;
- Lagerung und Transport vereinfachen sich und werden effizienter;
- Problematiken die beim Umgang mit halbflüssigen bzw. pastösen Substanzen entstehen (z.B. Entmischung, unkontrollierte Schadstoffausträge) werden minimiert sowie die Handhabbarkeit bei Anschlussverwertungen (z.B. bessere Dosierbarkeit) erhöht.

Die wesentlichsten Nachteile einer Trocknung sind erhöhter Kostenaufwand und der zusätzliche Energiebedarf. In der Tat werden sehr hohe Energiebeiträge benötigt, um durch Wärme Restwasser aus dem Schlamm zu verdampfen. Der benötigte Trocknungsgrad wird hierbei durch die beabsichtigte Anschlussnutzung des Schlamms bestimmt. Daher sind vor Einsatz der Trocknung Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unbedingt anzuraten.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS-WEGE UND -STRATEGIEN –FORTSETZUNG–

Eine kosteneffiziente Trocknung ist vor allem bei guter Verfügbarkeit von Überschusswärme aus anderen Prozessen oder der Nutzung von Solarenergie für den Trocknungsprozess machbar und insoweit das Trocknungsprodukt anschließend als Sekundärbrennstoff vermarktet bzw. eingesetzt wird. 35 % Trockenrückstand im Schlamm reichen i.d.R. bereits aus, um eine selbstgängige Verbrennung von Rohschlamm in geeigneten Anlagen zu realisieren. Der Gegenwert ist ein Minimum von etwa 45 bis 55 % Trockenrückstand bei bereits vergärtem Schlamm, da der Anteil nach der Vergärung zurückbelassenen brennbaren organischen Materials niedriger ausfällt. Klärschlamm brennt außerdem ab einem kalorischen Gehalt von etwa 4.500 bis 5.000 kJ/kg selbstgängig, durch Trocknung lässt sich dieser Wert auf bis zu 13.000 kJ/kg erhöhen; damit liegt der Heizwert eines getrockneten Schlammes in einer Größenordnung mit dem von trockenem Holz oder Braunkohle.

Die Klärschlammtrocknung wird in separaten oder dem Abwasserreinigungsprozess direkt angebundenen Anlagen durchgeführt. Grundsätzlich sind folgende Trocknungsmethoden am häufigsten im Einsatz, teils sogar auch in kombinierter Form in Anwendung:

- Kontakttrocknung (bspw. unter Verwendung von Dünnschichttrockner, Scheibentrockner oder Zentrifugaltrockner);
- Konvektions- oder Strahlungstrockner (bspw. Unter Verwendung von Bandtrockner, Trommeltrockner, Wirbelschichttrockner, Kaltlufttrockner);
- Solartrocknung.

Solartrocknung basiert auf der Erwärmung des Schlammes und seiner Trocknung mittels Solarstrahlung in gewächshausähnlichen Glashäusern (siehe Datenblatt „Solartrocknung“). Diese Trocknungsform für Klärschlamm erfährt zunehmende Nachfrage. Allerdings ist gegenüber anderen Trocknungsansätzen der Durchsatz an Schlamm in Solartrocknungsanlagen deutlich geringer, im Vergleich zu thermisch unterstützen Methoden sogar signifikant niedriger und der Platzbedarf bedeutend größer.

Die Trocknung von Klärschlamm wird i.d.R. in folgenden Größenordnungen praktiziert:

- Teiltrocknung, bis etwa zu einem Anteil von 60–80 % TR;
- Volltrocknung, bis etwa zu einem Anteil von 80–90 % TR.

Um eingedickten bzw. entwässerten Schlamm von 25 % TR auf 90 % TR mit Hilfe von Kontakt- oder Konvektionstechniken zu trocknen wird ein ungefährer Energieinput von 70 bis 80 kWh_{therm} pro kg verdunstetem H_20 benötigt.

Die Option der Teiltrocknung ist insbesondere dann von Interesse, wenn durch Anschlussverwendung des Schlammes in thermischen Reaktoren mit hoher Energieeffizienz (z.B. Wirbelschichtöfen; siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung“) die notwendige Resttrocknung des Substrates effektiver erfolgt. Eine Teiltrocknung sollte daher auch nur bis zu jenem Punkt erfolgen, ab welchem der Trocknungsgrad des Schlammes ausreicht, um einen positive Beitrag zur Gesamtenergiebilanz des Verbrennungsprozesses zu leisten.

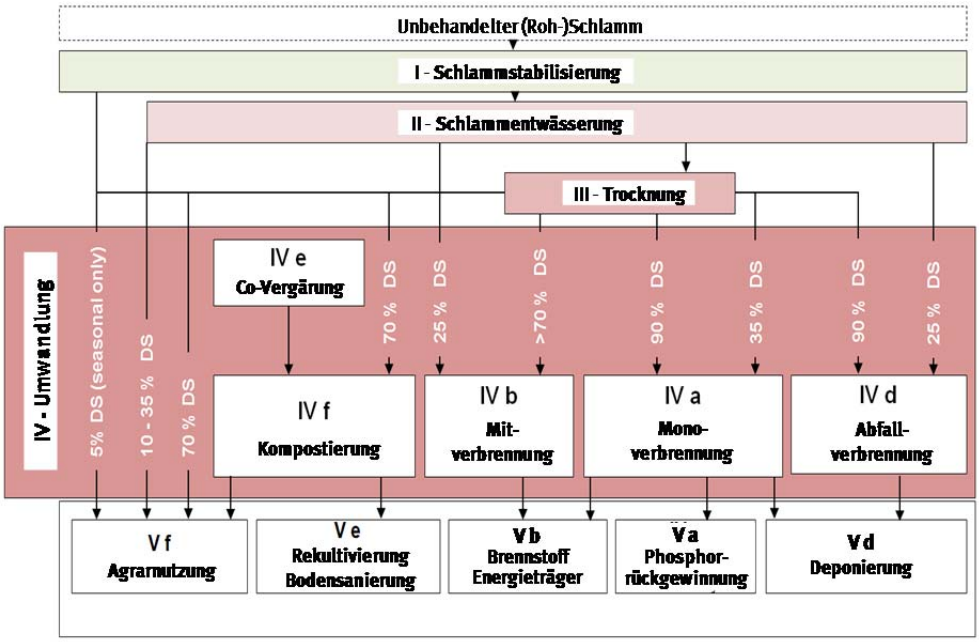
Getrockneter Schlamm hat die Merkmale eines Krümmelstoffs bzw. Granulats und ist damit abhängig von anderen Eigenschaftsmerkmalen und Zulassungen gut als Zusatzbrennstoff in Kraftwerksfeuerungen oder Zementöfen einsetzbar. Insbesondere für den Einsatz bei der Zementproduktion muss der Schlamm allerdings vollständig getrocknet sein, auch für die Verwendung in Kraftwerken ist dies von Vorteil aber nicht zwingend erforderlich. Oftmals haben Kohlekraftwerke einen vorgeschalteten Prozess zur Kohleaufmahlung in den der Klärschlamm zur abschließenden Trocknung mit eingebracht werden kann. Hierdurch wird es möglich Klärschlammsuspensionen bereits mit Gehalten zwischen 20 und 35 % TR in die Kraftwerksverbrennung zu geben.

Abfallverbrennungsanlagen (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) sind normalerweise in der Lage Klärschlamm im nur entwässerten, teil- oder auch vollgetrockneten Zustand einzusetzen. In Gegenden wo Abfälle mit höheren Heizwerten (9,000 kJ/kg und höher) anfallen und von diesen Anlagen verbrannt werden, ist es durchaus machbar, nur entwässerten Schlamm den anderen Verbrennungsabfällen zuzumischen. In der Praxis wird dies mit einer Zumischung in Höhe von maximal 10 Gewichts-% realisiert.

VERFÜGBARE MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN DER STOFFLICHEN SOWIE ZUR ENEREGTISCHE NUTZUNG

Es besteht ein relativ breites Spektrum an Möglichkeiten zur Aufbereitung bzw. Umwandlung des Klärschlammes zum Zwecke der Nutzung seiner wertvollen Inhaltsstoffe oder seines Energiegehaltes bzw. um auch potenziell gefährliche Komponenten zu neutralisieren oder weitestgehend deren schädliche Wirkungen auf die Umwelt zu unterbinden. Viele der in Frage kommenden Prozesse entsprechen Standardtechnologien die auch auf andere Abfallströme, darunter Siedlungsabfällen, zur Anwendung gebracht werden. Von einer Konversion oder Umwandlung des Klärschlamms im Zuge des Einsatzes dieser Technologien kann gesprochen werden, da mit deren Anwendung die ursprünglichen Eigenschaften des Klärschlammes verloren gehen und bestimmte stoffliche Anteile einem neuen Verwendungszweck zugeführt werden. Um diese Nutzungsprozesse umsetzen und möglichst gefahrlos und effizient gestalten zu können sind schon erläuterte Vorbehandlungsschritte wie die Entwässerung und/oder Trocknung teils unbedingt notwendig, unter speziellen Umständen ist jedoch auch die relativ direkte Nutzung des einen oder anderen Verwertungs- bzw. Entsorgungsweges nach Durchführung einer einfachen Stabilisierung möglich. Den Überblick dazu gibt Abbildung 30.

Abbildung 30: Für die Endverwertung von Klärschlamm eingesetzte Verfahren und Anforderungsübersicht



Damit die in einem Land zur Endverwertung von Klärschlamm bereitstehenden Kapazitäten bestmöglich in Anspruch genommen und ausgelastet werden können, empfiehlt es sich für die Kläranlagenbetreiber und Behandlungseinrichtungen Lagermöglichkeiten zu schaffen oder Zugang zu solchen herzustellen. Eine Lagerkapazität für die Anfallmenge eines Jahres gilt dabei als optimal, im Minimum sollte die Lagerkapazität jedoch für den Anfall eines Viertel- besser eines Halbjahres ausreichen.

IV a-c. Thermale Umwandlung und Verwertungsverfahren:

Thermale Umwandlung von Klärschlamm gilt als die Methode der sichersten Zerstörung bzw. Unschädlichmachung eines Großteils der potenziell gefährlichen Schlamminhaltstoffe und muss, da zunehmend Gründe gegen die Fortsetzung anderer Optionen (vor allem die Deponierung und landwirtschaftliche Verwertung) sprechen, als die zukünftig am meisten in Betracht kommende Entsorgungslösung für Klärschlamm angesehen werden. Allerdings zählt die Verbrennung von Klärschlamm im Vergleich zu den bisherigen Alternativlösungen für dessen Entsorgung noch zu den teuersten Varianten. Bei der Klärschlammverbrennung sind besondere Prozessbedingungen zu beachten. Einige hervorstechende Faktoren, die es bei der thermischen Verwertung zu beachten gilt, sind:

VERFÜGBARE MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN DER STOFFLICHEN SOWIE ZUR ENEREGTISCHE NUTZUNG

–FORTSETZUNG–

- die Schlammzusammensetzung (u.a. Schlamm welcher Herkunft u. Behandlungsstufe),
- der Trockenrückstand und somit auch der Heizwert (beide haben typischerweise einen relativ breiten Varianzbereich, sind aber von besonderer Bedeutung bei der Verbrennung)
- der Stabilisierungsgrad (zwecks besonderer Vorkehrungen bei Lagerung und Aufgabe),
- die Stabilisierungsart (fanden Vergärungsprozesse statt oder eher nicht),
- die eingesetzten Arten und Gehalte an Konditionierungsmitteln.

Monoverbrennung ist eine speziell auf den Materialstrom Klärschlamm angepasste und vor allem auf das Ziel der effizienten Nutzung des Energiegehaltes bei gleichzeitig nachhaltiger Zerstörung bzw. Isolierung von Schadstoffkomponenten ausgerichtete Verbrennungsart. Der-artige Installationen sind bisher insbesondere unmittelbar an Kläranlagenstandorten errichtet worden und bringen dem Anlagenbetreiber den Vorteil, dass beide Prozesse, Klärschlammbehandlung und -entsorgung, optimal aufeinander abgestimmt und dabei Synergien genutzt werden können, sowie eine weitgehende Unabhängigkeit von anderen Anlagen und Entsorgungskapazitäten besteht. Ein besonderer Nutzeffekt entsteht insbesondere dadurch, dass die bei der Verbrennung erzeugte Energie und Wärme ideal für den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage eingesetzt werden kann und somit sogar eine Energieautarkie möglich ist. Die zur Monoverbrennung eingesetzten Technologien und Verbrennungsaggregate können unterschiedlicher Art sein und dabei spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Nachfolgend wird dazu eine Übersicht in Form der Tabelle gegeben.

Tabelle 18: Überblick zu den hauptsächlich für die Klärschlammmonoverbrennung eingesetzten Techniken

	Wirbelschichtofen	Etagenofen	Etagenwirbler	Schmelzzyklon
Grundmerkmale	keine beweglichen Teile daher relativ wartungsarm	kommt ohne Vortrocknungsphase aus, komplexerer Aufbau mit beweglichen Teilen und gekühlten Hohlringen	kommt ohne Vortrocknungsphase aus, bewegliche Hohlringe, geringes Wirbelbettvolumen	keine beweglichen Teile daher relativ wartungsarm, kein Materialeinsatz für ein Wirbelbett
Betriebsverhalten	schnelles An- und Herunterfahren dank kurzer Aufheiz- und Abkühlzyklen, stoß-weise betreibbar	Längere Aufheiz- u. Anfahrzeiten, kontinuierliches Betriebsregime	mittlere Aufheiz- u. Abkühlzeiten,	ähnlich dem Wirbelschichtofen, sehr flexibel hinsichtlich des Brennstoffmixes
Verbrennungsverlauf	Bedarf an Luftüberschuss gering, Totalausbrand findet oberhalb des Bettes statt	Totalausbrand schwieriger kontrollierbar, unempfindlicher hinsichtlich Schwankungen bei Brennstoffzufuhr und Korngrößen	sehr geringer Bedarf an Luftüberschuss, Ausbrand gut regulierbar, erfolgt größtenteils im Bett, eher unempfindlich bei schwankender Schlammqualität	sehr variabel in der Luftregulierung und den Zufuhrsorten, kurze Verweilzeiten
Abgasstaub	hoch	gering	hoch	hoch
Ascheaustrag	über Abgasstrom und durch Wechsel des Sandbettes	über die unterste Kesseletage	über Abgasstrom und durch Wechsel des Sandbettes	über Abgasstrom, Grobpartikel am Kesselboden
Verbrennungsreste	Asche Wirbelbettmaterial	Asche	Asche Wirbelbettmaterial	Asche, manchmal mit Grobpartikeln

VERFÜGBARE MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN DER STOFFLICHEN SOWIE ZUR ENEREGTISCHE NUTZUNG

–FORTSETZUNG–

Stark wachsende Verwendung hat in jüngerer Vergangenheit die stationäre Wirbelschichttechnik (siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung“) gefunden, sie ist damit die gegenwärtig bevorzugte Technologie für die Monoverbrennung von Klärschlamm. Mit der Monoverbrennung von Klärschlamm eröffnet sich die Möglichkeit zur Rückgewinnung von Phosphor (siehe Datenblatt „Phosphorrückgewinnung“) über die Asche des verbrannten Schlammes.

Die ***Mitverbrennung*** in Kraftwerksanlagen und Industrieöfen gewinnt gleichfalls zunehmend an Bedeutung bei der Verwertung von Klärschlamm. Klärschlamm kann sowohl in Zementöfen und Brennöfen von Kalkwerken, aber auch gut in Kohlekraftwerken als Zusatzbrennstoff mitverbrannt werden (siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“). Unter der Maßgabe, dass der zum Einsatz kommende Schlamm ausreichend aufbereitetet wurde (siehe dazu die Ausführungen im Abschnitt Trocknung), haben die meisten der genannten Verbrennungsanlagen an sich wenig Probleme das Material anzunehmen, dem Verbrennungsprozess zuzuführen und darin zu verbrennen, anderenfalls bestehen relativ einfache und bewährte Ansätze die Anlagen anzupassen und derartige Probleme zu lösen. Bei der Zementproduktion eingesetzter Klärschlamm kann nicht nur einen Teil der benötigten fossilen Brennstoffe ersetzen sondern liefert aufgrund seiner mineralischen Bestandteile zugleich auch einen Teil des Rohstoffinputs in Form von Sand und Eisenmineral.
In Zementöfen und Brennöfen der Kalkindustrie wird Kalkschlamm daher auch in der Größenordnung von etwa 15 % der Feuerwärmeleistung als Zusatzbrennstoff zugeführt. Neben Klärschlamm finden auch andere Abfallstoffe der Abwasseraufbereitung Verwendung in diesen Verbrennungseinrichtungen, dazu zählen Schwimm- und Blähschlamm, Siebfangmaterial und Fettabscheiderinhalte.

Bei konventionellen Kohlekraftwerksanlagen liegt der übliche Anteil zugeführten Klärschlamms emissionsbedingt derzeit bei etwa 5 % der Brennstoffmasse. Feinkohleeinblasung oder Wirbelschichtfeuerung sind hierbei die gängigen Verfahren. Da bei Rohschlamm die Risiken und Schwierigkeiten im Umgang und insbesondere der Zwischenlagerung steigen, nehmen Kraftwerke i.d.R. nur stabilisierten Klärschlamm zur Verbrennung an. Eine vergleichende Betrachtung der Mitverbrennungsverfahren in Kraftwerksanlagen zeigt Tabelle.

Tabelle 19: Wesentliche Merkmalsunterschiede der Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken

	Brennstoffeigenschaften	Verbrennungsprozess	Klärschlamm-mitverbrennung
Steinkohle-kraftwerk	Wassergehalt der Kohle: 7–11%, Heizwert: 27–30 MJ/kg	Feinkohleeinblasung, Zyklonschmelzofen bzw. Zirkulierende Wirbel-schichtfeuerung	Geringe Trocknungskapazität der Kohleaufmahlung limitiert den Einsatzanteil an Klärschlamm
Braunkohle-kraftwerk	Wassergehalt der Kohle: 46–60 %, Heizwert: 8,5–12,5 MJ/kg	Feinkohleeinblasung, Zirkulierende Wirbel-schichtfeuerung	Schwermetallgehalte begrenzen Einsatzanteil an Klärschlamm

Als wesentlicher Nachteil der industriellen Mitverbrennung ergibt sich der Ausschluss der Möglichkeit zur Rückgewinnung von Phosphor (siehe Datenblatt „Phosphorrückgewinnung“).

Neben den genannten Hauptverfahrenswegen zur thermischen Nutzung von Klärschlamm konnten sich, anders als beim Rest der Siedlungsabfallströme, speziell für diesen Stoffstrom auch einige Alternativverfahren aus dem Bereich der Pyrolyse- bzw. Vergasungstechnik bereits etwas etablieren. Dazu gehört bspw. das PYREG®-Verfahren. Das dies besser als in anderen Bereichen gelungen ist hat vor allem mit der deutlich homogeneren Substratbeschaffenheit des Klärschlammes im Vergleich zu den Gemischen anderer Festabfallströme zu tun. Dennoch ist die Marktdurchdringung im Allgemeinen relativ gering geblieben und zeigt noch keinen Trend zum Durchbruch.

VERFÜGBARE MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN DER STOFFLICHEN SOWIE ZUR ENEREGTISCHEN NUTZUNG

-FORTSETZUNG-

IV e-f. Biologische Umwandlung und Folgenutzung von Klärschlamm:

Die ***Biogasproduktion aus Klärschlamm*** ist grundsätzlich durch die im Behandlungsabschnitt dieses Datenblattes bereits skizzierten biologischen Verfahren der Stabilisierung bekannt. Als alternativer Weg kann Frischschlamm auch mit geeigneten Abfällen aus der Sammlung bioabbaubarer Abfallstoffe vermischt und in sogenannten Co-Vergärungsverfahren gezielt zur Biogasproduktion eingesetzt werden. Durch einen optimalen Mix mit anderen vergärbaren Substanzen wie Küchen- oder Essensabfällen lassen sich mit angepasster Betriebsführung in modernen Vergärungsaggregaten der Ertrag an Biogas signifikant steigern und zwar deutlich über jenen, den Klärschlamm oder genannte biologische Abfälle bei einer normalen Vergärung (siehe Datenblatt „Vergärung“) allein hervorbringen würden. Gereinigt und aufbereitet zu Gas mit Erdgasqualität kann das erzeugte Biogas vielfältig verwendet werden, u.a. um Fahrzeuge zu betreiben, elektrische Energie herzustellen oder auch Wärme zu produzieren, die sowohl im Heizungswärmenetz als auch bei der Prozessführung in den Kläranlagen oder der Trocknung von Klärschlamm Verwendung finden kann.

Abbildung 31: Kernstück einer Co-Vergärungsanlage für Klärschlamm mit Bioabfällen (Bildquelle: INTECUS)

Eine ***landwirtschaftliche oder landschaftsbauliche Verwertung*** kommt nur für vollständig stabilisierten und hinsichtlich seiner Zusammensetzung als unbedenklich eingestuften, dazu entsprechend aufbereiteten, gründlich untersuchten und zertifizierten Klärschlamm in Betracht. Meist verfügen die Länder über Anweisungen und Zulässigkeitswerte, welche den Einsatz reglementieren. Ferner besteht auch die Möglichkeit, Schlamm geeigneter Qualität einer Kompostierung zuzuführen, bei der für eine ausreichende Hygienisierung und Unschädlichmachung pathogener Keime gesorgt wird (siehe Datenblatt „Kompostierung“). Hierbei werden der Klärschlamm oder auch Reste aus der Klärschlammvergärung in dem Maße zu anderen kompostierbaren Inputstoffen hinzugegeben, dass alle bestehenden Sicherheits- und Qualitätswerte für das finale Kompostprodukt verlässlich eingehalten werden. Ein solcher zertifizierter Kompost stellt einen stabilisierten organischen Düngestoff mit mittleren Nährstoffgehalten dar. Hierdurch lassen sich in Gebieten mit mangelnder Humusversorgung die Bodeneigenschaften verbessern, mit der Kompostierung erhöht sich auch die gleichmäßige Abgabe und Verfügbarkeit der Nährstoffgehalte an die Pflanzen. Um auch nur eine potenzielle Übertragung gefährlicher Komponenten grundsätzlich zu verhindern besteht ein grundsätzlicher Ausschluss von Klärschlamm von Böden für den biodynamischen Anbau, sowie auf Böden die unmittelbar Nahrungsmittel liefern, also Land zur Futtergras-, Frucht- oder Gemüseproduktion.

Die Produktqualität, Umwelt- und Hygienesicherheit von Klärschlammdüngeprodukten hat oberste Priorität, daher sind hierfür interne und externe Überwachungsmechanismen einzurichten und wann immer möglich, sollte sich der Erzeuger solcher Produkte einem Gütesicherungs- bzw. Produktüberwachungssystem anschließen. Zu einem solchen System gehören bspw. regelmäßige laboranalytische Prüfungen, soweit diese nicht ohnehin verpflichten sind, und eine entsprechende Zertifizierung.

	Klärschlamm in Prozesse der mechanisch-biologischen Behandlung (MBA) von Siedlungsabfällen (siehe Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“) einzubringen macht nur Sinn, wenn eine Vergärung der biologischen Fraktion Teil dieser Prozesse ist oder wo ein Stabilat erzeugt wird, welches anschließend in thermischen Verfahren als Zusatzbrennstoff Verwendung findet. Exklusiv auf Klärschlamm ausgerichtete MBA wären eine unwirtschaftliche Lösung und sind daher nicht üblich.
MÖGLICHKEITEN DER ENDBESEITIGUNG	Eine ***Verbrennung von Klärschlamm mit anderen (Rest-)Abfällen*** kann erfolgen und dient dann üblicherweise allein dem Zweck der sicheren Zerstörung potenziell gefährlicher Inhaltsstoffe und Mineralisierung des organischen Anteils, um dadurch die Menge an Reststoffen auf ein Minimum zu reduzieren. Idealerweise ist der Prozess dabei mit der Rückgewinnung von Energie gekoppelt. Dafür geeignet sind Massenverbrennungsanlagen für Siedlungsabfall, in Deutschland auch Müllheizkraftwerke genannt, ausgestattet mit Standardkesseltechnologie wie der Rostfeuerung (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) sowie Abgasreinigungs- und Überwachungstechnik. Wo es zur Einbringung von Klärschlamm in den Müllverbrennungsprozess kommt, bildet vor allem die Art und Weise der Aufgabe des Materials einen wesentlichen Unterschied zu anderen thermischen Prozessen. Verbunden damit können auch größere Investitionen sein, bspw. in geeignete Eindüsanlagen bzw. zusätzliche Zwischenlager und Überwachungstechnik. Im Falle größerer Anfallmengen und fehlender Zwischenpuffer besteht eine mögliche Lösung darin, ausreichend entwässerten, strukturreichen Klärschlamm mittels Ausbring- oder Verteilapparatur (Riesel- oder Streueinrichtung) kontinuierlich über den Müll im Aufgabebunker auszubringen und unterzumischen. Sprayeindüsung über dem Verbrennungsbett (zumeist im Bereich der Ausbrandzone) kann bei manchen Müllverbrennungsanlagen (vor allem solchen die mit heizwertreichen Abfallfraktionen hantieren) von Vorteil sein, indem die Feuchte des Schlammes als zusätzliches Mittel zur Steuerung des Temperaturregimes (Abkühlung von Spitzen) und der primären Stickoxidbildung genutzt wird. Um das schwierige Prozessmanagement bei der Aufgabe von Klärschlamm in Müllheizkraftwerken gut beherrschen zu können wird der Anteil am Verbrennungsinput in der Rostfeuerung auf max. ~10% begrenzt. Eine Abgasreinigung gehört unbedingt zum Prozess der Abfallverbrennung, um die bei den thermischen Reaktionen entstehenden gefährlichen Verbindungen zu binden oder aus dem Emissionsstrom abzufiltern. Besonderer Aufmerksamkeit im Abgasstrom der Klärschlammverbrennung bedürfen die Stickoxide und quecksilberhaltigen Gasfrachten (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“). Die ***Deponierung von Klärschlamm*** ist generell keine zu befürwortende Option, da nicht nur nutzbares Potenzial komplett verloren geht sondern der Schlamm zusätzliche Feuchte und organische Fracht in den Deponiekörper einbringt und damit das Potenzial an Deponieausgasungen und Sickerwasserentstehung anheben. Soweit unvermeidbar oder erforderlich hat die Klärschlammedeponierung über technisch gut gesicherte und unter Anwendung moderner Schutz- und Betriebsstandards betriebene Siedlungsabfalldeponien (siehe Datenblatt „Siedlungsabfalldeponie“) zu erfolgen. Dies sollte aber nur eine zeitweise und keine grundsätzliche Entsorgungslösung darstellen. Auch für die Aschen aus der Klärschlammverbrennung sind Deponien mit den notwendigen Standards und Sicherungseinrichtungen zu nutzen. Als Aufwendungen aus dem Gesamtprozess der Klärschlammentsorgung ergeben sich, bezogen auf die Situation und das Preisniveau in Deutschland, folgende ungefähre Kostendimensionen (siehe Tabelle).

Tabelle 20: Kosten verschiedener Optionen der Klärschlammentsorgung im Größenordnungsvergleich (basierend auf Referenzangaben unterschiedlicher Quellen zur Klärschlammentsorgung in Deutschland [siehe Quelle [1])

Entsorgungsweg	Preisniveau der Entsorgung EUR/t Nassschlamm (Stand 2011/12)		Zustand des Klärschlamms
	Min.	Max.	
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	80	130	getrocknet, >85% TR
Mitverbrennung Zementofen	90	100	getrocknet, >85% TR
Monoverbrennung	80	120	mechanisch entwässert, 20–45 TS
kombiniert mit Müllverbrennung	80	100	mechanisch entwässert, 20–45 TS
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	75	100	mechanisch entwässert, 20–45 TS
Mitverbrennung Braunkohlekraftwerk	50	75	mechanisch entwässert, 20–45 TS
Nutzung bei der Rekultivierung	30	45	mechanisch entwässert, 20–45 TS
agrarische Nutzung überregional	33	45	mechanisch entwässert, 20–45 TS
agrarische Nutzung regional	25	30	mechanisch entwässert, 20–45 TS

REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER

(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Anbieter geeigneter Technologien für die Klärschlammbehandlung sind mit in den Datenblättern angeführt, auf die im Zusammenhang mit speziellen Behandlungsansätzen verwiesen wird. Einblicke über die besten Arrangements an eingesetzter Technik und daran anknüpfender Entsorgungsoptionen, die maßgeblichen Betriebserfahrungen und Prozessparameter liefern jedoch Anlagenbesichtigungen und der Austausch mit Praxisanwendern.

Zu den hierfür zu empfehlenden Anlagen gehören in Deutschland:

- zur Klärschlammstabilisierung: KW Blümeltal/Stadt Pirmasens, Rheinland-Pfalz
- zur Trocknung mit Wärmetauschertechnik: KW Weissach, Baden-Württemberg
- zur Solartrocknung: KW Penzing Weil, Freistaat Bayern
- zur Monoverbrennung mit Etagenofen : KW Sindlingen, Hessen
- zur Monoverbrennung mit zirkulierender Wirbelschicht: KW Steinhäule, Freistaat Bayern
- zur Mitverbrennung in Zementöfen: Cemex Betrieb Rüdersdorf, Brandenburg
- zur Schlammvergasung: KW Balingen und KW Mannheim, Baden-Württemberg
- zur Co-Vergärung von Klärschlamm: KW Radeberg und Dresden-Kaditz, Freistaat Sachsen
- zur Phosphorrückgewinnung: KW Berlin-Waßmannsdorf, Brandenburg

DOKUMENTE UND KOMPETENZSTELLEN DIE FÜR WEITERE AUSKÜNFTE ZU BESTEN PRAKTIKEN EMPFOHLEN WERDEN

- [1] Studie “Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland”. publiziert 2012; einsehbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klaerschlammentsorgung-in-bundesrepublik
- EC: Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen vom August 2006, einsehbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallbehandlung_vv.pdf

- EC: BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung. vom Juli 2005, einsehbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallverbrennungsanlagen_vv.pdf
- German Association for Water, Waste water and Waste – DWA www.dwa.de
- Technical Committee ISO/TC 275 Sludge recovery, recycling, treatment and disposal within the International Organization for Standardization (ISO) www.iso.org