



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Genutzte und ungenutzte Sekundärrohstoffe im Gewerbeabfall

Stoffströme ermitteln und Potenzial abschätzen



abfall



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Genutzte und ungenutzte Sekundärrohstoffe im Gewerbeabfall

Stoffströme ermitteln und Potenzial abschätzen

Impressum

Genutzte und ungenutzte Sekundärrohstoffe im Gewerbeabfall
Stoffströme ermitteln und Potenzial abschätzen

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

Fax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat Josef-Vogl-Technikum, Clemens Marb, Wolfgang Niggel, Heinz Riedel, Christine Vornehm

Redaktion:

LfU, Referat Josef-Vogl-Technikum, Clemens Marb, Hildegard Rothe

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Dezember 2013

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Stand des Wissens	7
3	Gewerbeabfall	9
3.1	Begriffsbestimmungen	9
3.2	Gewerbeabfallverordnung	10
3.2.1	Vorgaben für Behandlungsweisen und Entsorgungswege	10
3.2.2	Vorbehandlungsanlagen, Betreiberpflichten	12
3.3	Abfallaufkommen aus Gewerbebetrieben in Bayern	12
4	Stoffströme und Behandlung von Abfällen aus Gewerbebetrieben in Bayern	15
4.1	Vorgehensweise bei der Erhebung	15
4.2	Stoffströme von Gewerbeabfällen	16
4.2.1	Begrifflichkeiten	16
4.2.2	Entsorgungswege der Gewerbeabfälle	17
4.2.3	Stoffstrombilanzen am Beispiel dreier Entsorgungsfachbetriebe	21
4.3	Qualitätsanforderungen an den zu verwertenden Output von Gewerbeabfallbehandlungsanlagen	28
4.3.1	Qualitätsparameter	28
4.3.2	Behandlung der Abfälle aus Gewerbebetrieben	30
4.4	Fazit	35
5	Ungenutztes Potenzial an Sekundärrohstoffen in behandelten gemischten Gewerbeabfällen (Abfallsortierung)	37
5.1	Nachsortierung der behandelten Gewerbeabfälle von ausgewählten Entsorgungsbetrieben	37
5.2	Zusammensetzung und Wertstoffpotenzial behandelter Gewerbeabfälle zur energetischen Verwertung	38
5.2.1	Charakterisierung der überlassenen Abfälle	38
5.2.2	Ergebnisse der Sortierung	39
5.3	Limitierende Faktoren bei der Wertstoffabschöpfung	45
5.4	Fazit	48
6	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	49
7	Zusammenfassung	53

Danksagung	54
Anhang	55
Literaturverzeichnis	59

1 Einleitung

In dem Vorhaben „Genutzte und ungenutzte Sekundärrohstoffe im Gewerbeabfall“ wurde im direkten Kontakt zu den Entsorgungsfachbetrieben durch

- Gespräche,
- Ortseinsichten,
- Bewertung der eingesetzten Technik,
- exemplarische Sortieranalysen von bereits behandelten gemischten Gewerbeabfällen

ein Einblick in die Behandlung der Gewerbeabfallströme in Bayern gewonnen. Ziel war es, durch eigene Anschauung möglichst authentische Aussagen und Daten zu erhalten. Dabei handelt es sich um eine Momentaufnahme im Zeitraum 2010/11.

Die Randbedingungen werden neben dem rechtlichen Rahmen von der aktuellen wirtschaftlichen Situation in einer globalisierten Welt geprägt, in der sich die Gewerbebetriebe als auch die Entsorgungswirtschaft bewegen. Nicht die Frage, welcher Entsorgungsweg – stoffliche oder thermische Verwertung (Beseitigung) – der nachhaltigere ist, sondern der Markt, der von ihm ausgehende Wettbewerb und damit der Preisdruck bestimmen meist den Entsorgungsweg.

Gerade die seit Ende des 20. Jahrhunderts offenkundige Verknappung an Rohstoffen, hervorgerufen durch die Wirtschaftsdynamik in den Schwellenländern, das dort gegenüber Europa, USA und Japan verstärkte Bevölkerungswachstum sowie das Verlangen nach einem höheren Lebensstandard erfordern in einem rohstoffarmen Land wie Bayern einen nachhaltigeren Umgang mit den im Gewerbeabfall enthaltenen (Sekundär-)Rohstoffen. Dies ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass Rohstoffgewinnung und -aufbereitung aus Primärquellen mit hohem Aufwand, Umweltrisiken und -belastungen behaftet sind.

Gegenüber den Gewerbeabfällen, die begrifflich schwerer zu fassen sind, wird das Abfallaufkommen von Siedlungsabfällen aus Haushalten (Restmüll) und von getrennt erfassten Wertstoffen wie Papier/Pappe/Kartonage, (Behälter-)Glas, Leichtverpackungen sowie den an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsanlagen behandelten Abfällen von den zuständigen Behörden regelmäßig abgefragt, auf Plausibilität geprüft und veröffentlicht (Abfallbilanzen, statistische Jahrbücher). Während man diesbezüglich von einem „gesicherten“ Datensatz ausgehen kann, ist dies bei den der Gewerbeabfallverordnung unterliegenden Stoffströmen weitaus weniger der Fall.

Ausgehend vom Stand des Wissens, den Begriffsdefinitionen sowie dem Rechtsrahmen werden im Folgenden die Gegebenheiten (Abfallströme, Behandlungsumfang, eingesetzte Verfahrenstechnik) bei den Entsorgungsfachbetrieben dargestellt und das ungenutzte Potenzial an Sekundärrohstoffen in behandelten gemischten Gewerbeabfällen aufgezeigt. Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Gewerbeabfallbehandlung schließen den Bericht ab.

2 Stand des Wissens

Bei Gewerbeabfällen handelt es sich zu einem großen Teil um Abfälle zur Verwertung; in diesem Fall sind sie den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern nicht zu überlassen. Für diese Abfälle obliegt es der privaten Entsorgungswirtschaft, die Ziele des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) [1] – Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen, Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen – umzusetzen. Den Umweltbehörden liegen damit keine vollständigen und zuverlässigen Daten über Aufkommen und Verbleib der Gewerbeabfälle vor.

Bei den gemischten Gewerbeabfällen zur Verwertung ist die Kenntnis der Zusammensetzung eine wesentliche Voraussetzung für einen möglichst hochwertigen Entsorgungsweg. Neben der thermischen Abfallbehandlung gilt dies insbesondere für die stoffliche Verwertung dieser Abfallart. Auch zum Wertstoffgehalt von Gewerbeabfällen sowie zum Umfang der stofflichen Verwertung bilden belastbare Daten eine wesentliche Entscheidungsgrundlage.

Zur Schaffung einer Datengrundlage hinsichtlich der in Bayern anfallenden gemischten Gewerbeabfälle (ohne getrennt erfasste Monofraktionen) sowie deren Verwertung bzw. Beseitigung wurde im Jahr 2006 im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz eine Studie durchgeführt [2]. Die Datenerhebung erfolgte per Fragebogen bei in Bayern ansässigen Entsorgungsfachbetrieben (inkl. den Betreibern bayerischer Müllverbrennungsanlagen).

Die Hochrechnung der Daten ergab für Bayern im Jahr 2006 ein Aufkommen von ca. 1,7 Mio. Mg an gemischten Gewerbeabfällen {1,38 Mio. Mg zur Verwertung (82 Mass.-%); 0,31 Mio. Mg zur Beseitigung (18 Mass.-%)}; aufgrund der Im- und Exporte von Abfällen zur Verwertung übernahm die bayerische Entsorgungswirtschaft ca. 1,6 Mio. Mg gemischte Gewerbeabfälle und führte sie einer Entsorgung zu: davon waren 1,29 Mio. Mg (81 Mass.-%) Abfälle zur Verwertung, die damit rund $\frac{1}{3}$ des bayerischen Gesamtabfallstroms (überlassungspflichtige Abfälle und Gewerbeabfälle zur Verwertung) ausmachten.

Von den gemischten Gewerbeabfällen zur Verwertung wurden ca. 0,58 Mio. Mg in bayerischen Müllverbrennungsanlagen behandelt; zu anderen Verwertungswegen für gemischte Gewerbeabfälle wie Sortier- und Ersatzbrennstoff (EBS)-Aufbereitungsanlagen sowie die industrielle Mitverbrennung liegen keine Angaben vor.

Die Auswertung von Gewerbeabfallsortieranalysen zeigte, dass im gemischten Gewerbeabfall in Abhängigkeit der Getrennterfassung beim Abfallerzeuger ca. 10 – 20 Mass.-% stofflich verwertbare Anteile enthalten sind.

Untersuchungen zum Wertstoffaufkommen in Gewerbeabfällen wurden im Oktober 2006 im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt und mit finanzieller Förderung des Bayerischen Umweltministeriums durchgeführt [3]. Zur Erfassung der Stoffströme wurden die an der AVA Abfallverwertungsanlage Augsburg GmbH angelieferten Gewerbeabfälle erfasst sowie repräsentative Anlieferungen gesichtet und Stichproben sortiert.

Die Ergebnisse zeigten u. a., dass die untersuchten Gewerbeabfälle – nicht nur bedingt durch ihre unterschiedliche Herkunft – i. d. R. deutlich heterogener als Restabfälle aus Haushaltungen waren. Das stoffliche Verwertungspotenzial dieser zur thermischen Behandlung angelieferten Abfälle wurde bei weitem nicht ausgeschöpft. Die Gewerbeabfälle enthielten noch beträchtliche Anteile an Wertstoffen: bis zu 23,5 Mass.-% an Kunststoffen, bis zu 19,5 Mass.-% an Papier/Pappe/Kartonage und bis zu 20,2 Mass.-% an Verbunden. Damit erreichten die Wertstoffgehalte bis zum Dreifachen der durchschnittlichen Werte von Restmüll aus Haushaltungen [4].

Eine bundesweite Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes [5] befasste sich mit Aufkommen, Verbleib, Wertstoffausbeute sowie Entwicklungspotenzialen und Rahmenbedingungen für eine intensivere Nutzung der der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) [6] unterliegenden gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle. Für die Untersuchung wurden insbesondere statistische sowie mit Hilfe eines Fragebogens erhobene Daten ausgewertet.

Die im April 2011 veröffentlichte Studie kommt zu dem Schluss, dass in Deutschland im Jahr 2007 4,33 Mio. Mg gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle entsorgt wurden. Rechnet man 2,1 Mio. Mg gemischte Verpackungen hinzu, fielen insgesamt ca. 6,4 Mio. Mg gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle an.

Mit über 80 Mass.-% wurde der Großteil der anfallenden Gewerbeabfälle im eigenen Bundesland entsorgt. Über die Hälfte (ca. 60 Mass.-%) der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle wurde ohne eine Vorbehandlung direkt in thermischen Abfallbehandlungsanlagen beseitigt; in Sortieranlagen gelangten ca. 30 Mass.-%. Dort wurden aus den zugeführten Gemischen rund 16,5 Mass.-% Sekundärrohstoffe (Holz, Kunststoffe, Metalle, Papier/Pappe/Kartonage) zur stofflichen Verwertung aussortiert; die verbleibenden Sortierreste wurden energetisch verwertet. Bundesweit belief sich die genutzte Sekundärrohstoffmasse auf rund 0,46 Mio. Mg; das nutzbare Potenzial lag mit ca. 1,9 Mio. Mg bedeutend höher. D. h., rund $\frac{1}{4}$ des maximal stofflich nutzbaren Potenzials dieser Abfälle wurde stofflich verwertet.

Um die lückenhafte, unzureichende Datenlage zu verbessern, wurde in dem Vorhaben „Genutzte und ungenutzte Sekundärrohstoffe im Gewerbeabfall (Stoffströme ermitteln und Potenzial abschätzen)“ die aktuelle Situation bei der Gewerbeabfallentsorgung in Bayern anhand von Fallbeispielen beleuchtet. Bei ausgewählten Entsorgungsfachbetrieben wurden die Stoffströme von Gewerbeabfällen untersucht, die Behandlungsverfahren bewertet und der Anteil an verbleibenden Wertstoffen in den Behandlungsrückständen bestimmt.

3 Gewerbeabfall

3.1 Begriffsbestimmungen

Abfälle aus Gewerbebetrieben müssen – im Unterschied zu Abfällen aus privaten Haushaltungen – nicht den Kommunen zur Entsorgung angedient, sondern können durch zertifizierte Fachbetriebe gesammelt, behandelt und entsorgt werden. Die Verwertung und Beseitigung von gewerblichen Siedlungsabfällen regelt die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) [6]; sie wird in Bayern von den Kreisverwaltungsbehörden vollzogen [7].

Abfälle aus dem gewerblichen Bereich werden nach ihrer Herkunft unterteilt in

Geschäftsmüll. Abfälle, die in kleineren Gewerbebetrieben, Behörden, Schulen usw. anfallen und **zusammen mit dem Hausmüll** über die kommunale Hausmüllabfuhr erfasst werden [8, S. 13].

Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle. Restabfälle aus größeren Gewerbebetrieben und Institutionen, die aus ähnlichen Stoffen wie Hausmüll bestehen. Sie werden in der Regel durch private Entsorgungsfirmen behandelt und einer Verwertung oder Beseitigung zugeführt, können aber auch direkt den entsorgungspflichtigen Körperschaften angedient werden. Die Massen(Mengen)anteile der einzelnen Inhaltsstoffe sind branchenspezifisch sehr unterschiedlich und können deutlich vom Hausmüll abweichen. Auch Baustellenabfälle können im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall enthalten sein, sofern sie nicht gesondert ausgewiesen wurden [8, S. 13; 9].

Abfälle aus Industrie und Gewerbe. Abfälle aus Großbetrieben, die über private Entsorgungsfachbetriebe entsorgt werden. Meist handelt es sich um Chargen von Produktionsabfällen mit ähnlicher Zusammensetzung (Monochargen), die der stofflichen oder energetischen Verwertung oder Beseitigung zugeführt werden, sofern sie nicht innerhalb des Betriebs wiederverwendet werden können [9].

In der Gewerbeabfallverordnung [6] liegt der Fokus v. a. auf den **gewerblichen Siedlungsabfällen** (§§ 3 – 7) und auf den **Bau- und Abbruchabfällen** (§ 8).

Gewerbliche Siedlungsabfälle definiert die GewAbfV [6] im § 2 als Siedlungsabfälle, die aus anderen Herkunftsbereichen als privaten Haushaltungen stammen und in Kap. 20 der Anlage zur Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis [10] aufgeführt sind. Dies sind insbesondere (i) gewerbliche und industrielle Abfälle, die Abfällen aus privaten Haushaltungen aufgrund ihrer Beschaffenheit oder Zusammensetzung ähnlich sind sowie (ii) Abfälle aus privaten und öffentlichen Einrichtungen mit Ausnahme von Abfällen, die in privaten Haushalten im Rahmen der privaten Lebensführung anfallen. Diese Begriffsbestimmung deckt sich mit den o. g. hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen.

Der sog. „Geschäftsmüll“ als Teilfraktion des Hausmülls liegt nicht im Geltungsbereich der GewAbfV.

Die Entsorgungsfachbetriebe und Händler, mit denen wir innerhalb des Projekts zusammenarbeiteten, unterscheiden das Wirtschaftsgut Abfall nicht nach der Herkunft. Die Abfälle werden entsprechend der Begriffsbestimmungen in § 3 (1) KrW-/AbfG [11] bzw. seit 01.06.2012 KrWG [1] in „Abfälle zur Verwertung (AzV)“ und „Abfälle zur Beseitigung (AzB)“ differenziert. Die relevanten Abfallströme sind sowohl hausmüllähnliche Gewerbeabfälle als auch Abfälle aus Industrie und Gewerbe.

3.2 Gewerbeabfallverordnung

Die Gewerbeabfallverordnung [6] trat am 01. Januar 2003 in Kraft. Für den Vollzug der GewAbfV hat die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Vollzugshinweise [12] erarbeitet, die sich an die zuständigen Abfallbehörden als auch an die Erzeuger und Besitzer der von der Verordnung erfassten Abfälle sowie an die Entsorgungswirtschaft richten.

3.2.1 Vorgaben für Behandlungsweisen und Entsorgungswege

Für die gewerblichen Siedlungsabfälle gibt die GewAbfV [6] Behandlungsweisen und Entsorgungswege vor. Dabei wird unterschieden zwischen **Abfällen, die in einzelnen Fraktionen anfallen**, und Abfällen, die **gemischt anfallen**.

Entscheidend bei der Beurteilung, ob Abfälle als Monofraktion oder als Gemisch anfallen, ist der Zeitpunkt der Abfallentstehung (Entledigungswille, Wegfall der Zweckbestimmung). Zum Zeitpunkt ihrer Entstehung bestehen die meisten Abfälle aus einer mehr oder weniger homogenen Fraktion [12]. Dies trifft insbesondere auf die Fraktionen Papier und Pappe, Glas, Kunststoffe und Metalle zu. Eine spätere Vermischung der Abfälle im Zuge einer gemeinsamen Entsorgung ändert an diesem Grundsatz nichts.

Je nachdem, wie der beim Gewerbebetrieb zur Entsorgung bereit gestellte Abfall vorliegt (getrennt vs. gemischt), ergeben sich Unterschiede in der Verwertbarkeit: Sortenreine, als Monofraktion anfallende Abfälle sind in der Regel leichter zu verwerten als vermischte Fraktionen. Dieser Tatsache trägt die GewAbfV [6] Rechnung, indem sie in § 3 für getrennt anfallende und in § 4 für gemischt anfallende gewerbliche Siedlungsabfälle entsprechende Entsorgungswege und Behandlungsweisen vorgibt.

Gewerbliche Siedlungsabfälle fallen i. d. R. als (quasi-)homogene Fraktionen an. In der betrieblichen Praxis werden sie bis zur Entsorgung aus Platzgründen etc. oftmals nicht getrennt zwischengelagert und damit als Abfallgemisch entsorgt.

Um eine möglichst hochwertige Verwertung gewährleisten zu können, schreibt die GewAbfV [6] in § 3 (1) Satz 1 vor, von den getrennt anfallenden Abfällen mindestens die Fraktionen Papier und Pappe (AVV-Nr. 20 01 01 [10]), Glas (20 01 02 [10]), Kunststoffe (20 01 39 [10]), Metalle (20 01 40 [10]) und biologisch abbaubare Abfälle {Küchen- und Kantinenabfälle (20 01 08 [10]), Garten- und Parkabfälle (20 02 01 [10]), Marktabfälle (20 03 02 [10])} getrennt zu halten, zu lagern, einzusammeln, zu befördern und einer Verwertung zuzuführen, siehe Abbildung 1.

Dem Abfallerzeuger bleibt freigestellt, getrennt anfallende Abfälle zu vermischen, wenn durch eine anschließende Behandlung die einzelnen Fraktionen in „weitgehend gleicher Menge und stofflicher Reinheit“ wieder aussortiert und einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden (§ 3 (2) Nr. 2 [6]). Der Terminus „weitgehend gleiche stoffliche Reinheit“ ist nicht näher bestimmt. Die LAGA [12, S. 7] geht bei der Getrennthaltung anfallender Fraktionen von einer realen Fehlwurfquote von maximal 5 Mass.-% aus. Wendet man diese Quote auf einen Gewerbebetrieb an, der eine Abfallsortieranlage betreibt, dürfte in den Sortierfraktionen maximal 5 Mass.-% an Fehlwürfen enthalten sein. Darüber wird weder in [6] noch [12] eine definitive Angabe gemacht. Zur Erzielung einer hohen Verwertungsquote dürfen Fraktionen, die eine anschließende Sortierung gravierend behindern könnten {z. B. organische „Nassabfälle“ wie biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle (20 01 08 [10]), Garten-/Parkabfälle (20 02 01 [10]) und Marktabfälle (20 03 02 [10])}, in dem zu entsorgenden gemischten Gewerbeabfall nicht enthalten sein.

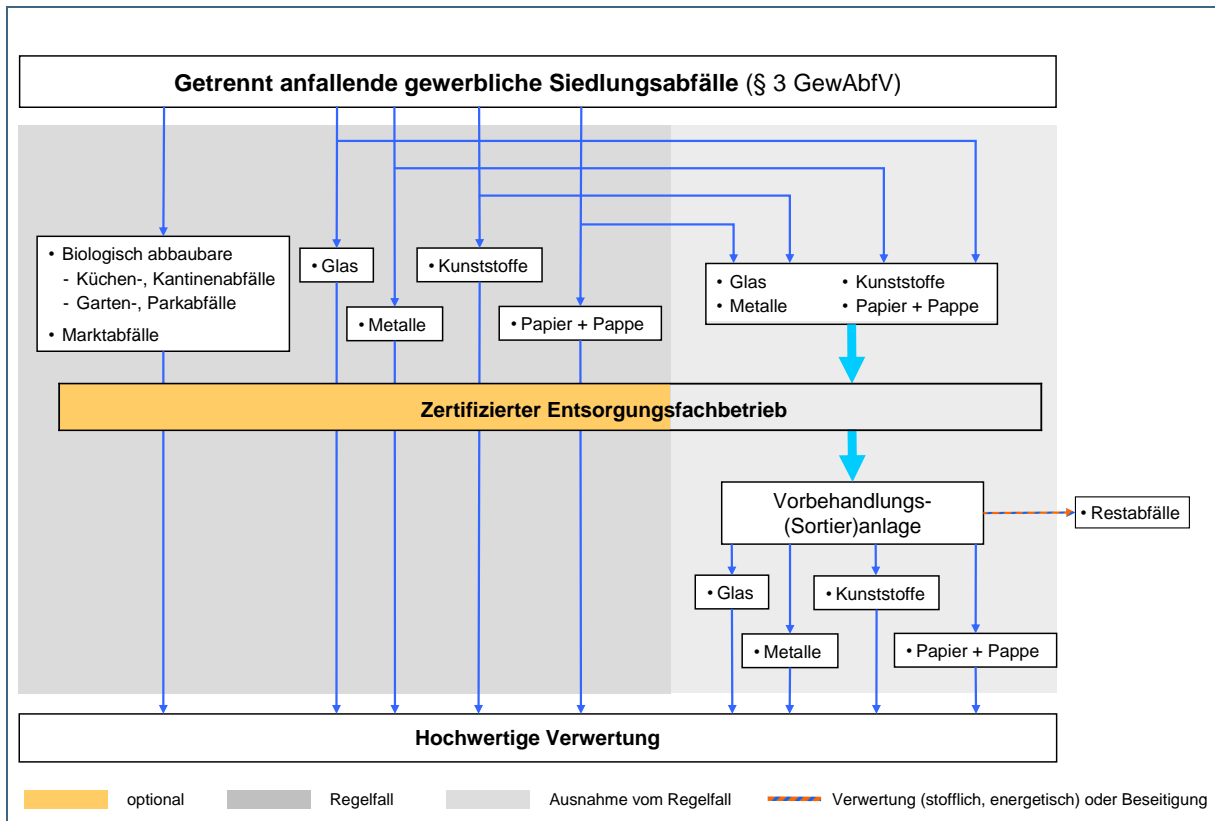


Abb. 1: Entsorgungswege getrennt anfallender gewerblicher Siedlungsabfälle laut GewAbfV [6].

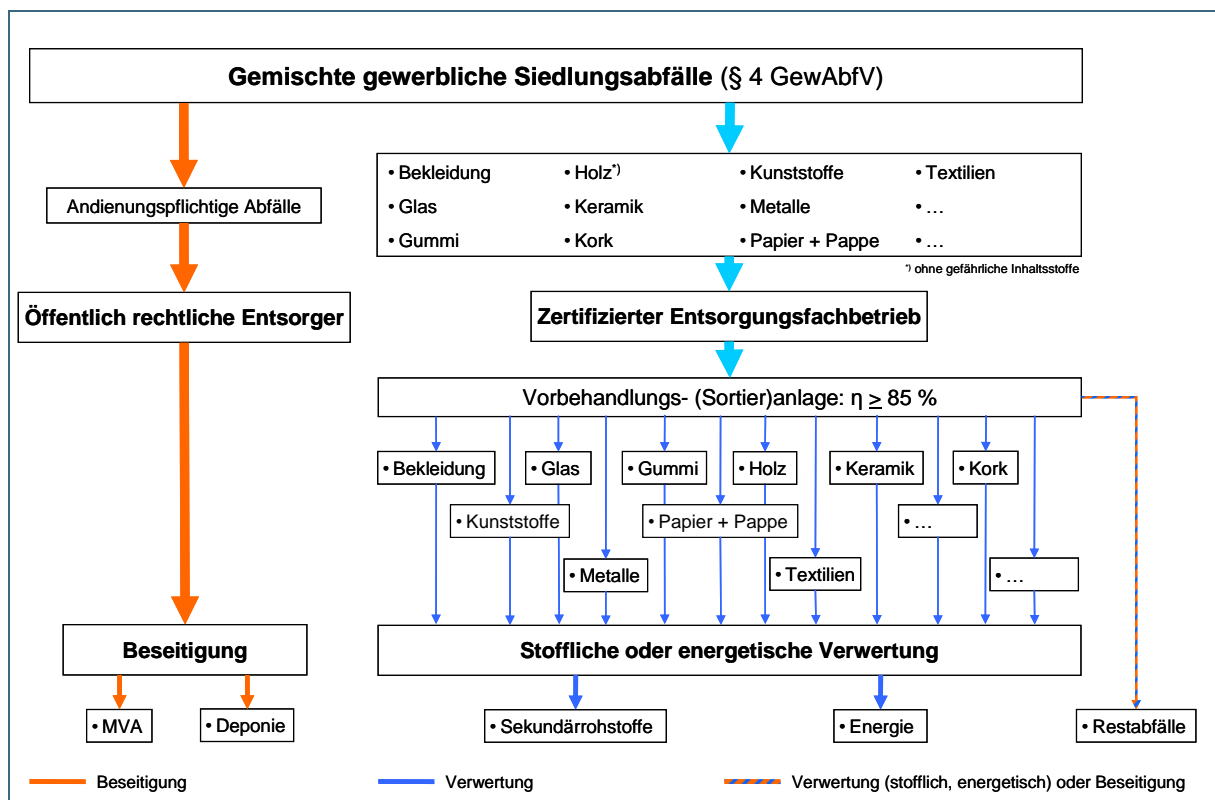


Abb. 2: Entsorgungswege gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle laut GewAbfV [6].

Die nicht andienungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle sind zertifizierten Entsorgungsfachbetrieben zu überlassen. Diese müssen die Abfallgemische durch geeignete Vorbehandlungsschritte mit einem mittleren Wirkungsgrad von mindestens 85 % in ihre Einzelfractionen auftrennen, siehe Abbildung 2. Die separierten Stoffe stehen für eine stoffliche bzw. energetische Verwertung zur Verfügung.

Ausnahmen und Überlassung an öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger

Der § 3 GewAbfV [6] lässt auch Abweichungen von den oben genannten Entsorgungswegen zu. Ist etwa eine getrennte Erfassung oder eine nachträgliche sortenreine Sortierung von getrennt anfallenden Abfallfraktionen weder technisch möglich noch wirtschaftlich zumutbar, kann der Abfall den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) überlassen oder bei Erfüllung der Anforderungskriterien nach § 6 GewAbfV [6] unbehandelt einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Ohne Vorbehandlung dürfen gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle energetisch verwertet werden, wenn sie weder Glas noch Metalle, mineralische Abfälle oder biologisch abbaubare Küchen-, Kanti-
nen-, Garten-, Park- oder Marktabfälle enthalten (§ 6 GewAbfV [6]).

Die Erzeuger und Besitzer können gewerbliche Siedlungsabfälle ebenfalls den örE überlassen, falls deren Verwertung aufgrund geringer Mengen – die LAGA [12, S. 16] nennt < 50 kg pro Woche als Richtwert – wirtschaftlich nicht zumutbar ist.

Gewerbliche Siedlungsabfälle, die nicht verwertet werden, sind entsprechend den Vorgaben nach § 7 GewAbfV [6] den örE zur Beseitigung zu überlassen. Dazu zählen auch Abfälle mit einem Heizwert < 11.000 kJ/kg (§ 6 KrW-/AbfG [11], § 8 KrWG [1]), die einer thermischen Beseitigung zugeführt werden.

Die Erzeuger und Besitzer von gewerblichen Siedlungsabfällen haben für ihre Abfälle mindestens einen Abfallbehälter des örE oder eines von ihm beauftragten Dritten zu nutzen (§ 7 GewAbfV [6]).

3.2.2 Vorbehandlungsanlagen, Betreiberpflichten

Die Vorbehandlung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle beinhaltet insbesondere das Sortieren, Zerkleinern, Verdichten oder Pelletieren der Materialien (§ 2 Nr. 3 GewAbfV [6]).

Der Anlagenbetreiber hat durch geeignete Maßnahmen u. a. sicherzustellen, dass

- die Gemische nur untereinander und keinesfalls mit anderen Abfällen vermischt werden (§ 5 Abs. 1 GewAbfV [6]),
- im Jahresmittel eine Verwertungsquote von 85 Mass.-% erreicht wird (§ 5 Abs. 1 GewAbfV [6]),
- aus den Gemischen gefährliche Abfälle abgetrennt werden (§ 5 Abs. 2 GewAbfV [6]).

3.3 Abfallaufkommen aus Gewerbebetrieben in Bayern

Ein Grundproblem bei der Nachverfolgung von Gewerbeabfallströmen ist die nicht eindeutige Zuordnung der Abfälle zu den Abfallschlüsselnummern [10]. Die herkunfts-/stoffbezogene Zuordnung obliegt den Abfallerzeugern, -besitzern, -maklern, -entsorgern etc. und wird von den Behörden innerhalb ihrer Zuständigkeit formal geprüft. Bei dieser „Vergabe“ von Schlüsselnummern liegt es auf der Hand, dass identische Abfälle verschieden eingestuft werden. D. h., der Abfall nimmt entlang seines Entsorgungswegs unterschiedliche Schlüsselnummern an. Dies hängt auch davon ab, welche Abfallarten die Behandlungsanlagen behandeln dürfen. Diese systembedingte Unschärfe in der Abfalleinstufung betrifft bereits betriebsinterne Stoffstrombilanzen und setzt sich u. a. in den von den Umwelt- oder Statistischen Landesämtern zu erstellenden Abfallbilanzen fort, für die mittels Fragebogen die benötigten Daten erhoben werden.

Solange es sich bei gewerblichen Abfällen nicht um gefährliche Abfälle handelt, sind diese nicht nachweispflichtig. Das Abfallaufkommen aus Gewerbebetrieben wird deshalb bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern und den Betreibern von Abfallbehandlungsanlagen abgefragt. Die Ergebnisse werden jährlich in der vom Bayerischen Landesamt für Umwelt herausgegebenen bayerischen Abfallbilanz [8] und in dem von dem Statistischen Bundesamt erstellten Bericht „Umwelt. Abfallentsorgung“ – aktuell [13] – veröffentlicht.

Die bayerische Abfallbilanz [8] beinhaltet Daten, die das Bayerische Landesamt für Umwelt per Fragebogen bei den öRE erhebt. Sie gibt einen Überblick über die abfallwirtschaftliche Situation in Bayern anhand der Herkunft, Menge (Masse), Verwertung und sonstigen Entsorgung der angefallenen nicht gefährlichen Abfälle. Daneben enthält sie Daten zu Gewerbeabfällen, die von den öRE entsorgt oder diesen im Rahmen einer Abfrage – keine Regelafrage – von den Entsorgungsbetrieben mitgeteilt wurden.

Für das Jahr 2010 wurden über die öRE insgesamt 644.983 Mg *Abfälle zur Verwertung* aus dem gewerblichen Bereich gemeldet (Grüngut, Bioabfall, Baustellenabfälle, verwertete/r Asche / Schrott aus der thermischen Gewerbeabfallbehandlung sowie sonstige gewerbliche Abfälle zur Verwertung; Tab. 1). Von dieser Gesamtmasse wurden 297.419 Mg (46 %) einer energetischen Verwertung zugeführt. Der Großteil (295.488 Mg) dieser energetisch verwerteten Abfälle stammt aus der Fraktion „Sonstige gewerbliche Abfälle zur Verwertung“, die überwiegend gewerbliche Direktanlieferungen an die thermischen Behandlungsanlagen beinhaltet.

Tab. 1: Abfälle zur Verwertung aus dem gewerblichen Bereich in Bayern im Jahr 2010 nach [8, S. 43].

Fraktionen	In [8] ausgewiesenes spezifisches Aufkommen [Mg/a]	Davon energetisch verwertet [%]
Grüngut	74.888	0,3
Bioabfall	9.492	0
Baustellenabfälle	40.805	4,3
Verwerteter Schrott aus thermischer Behandlung	9.950	–
Verwertete Asche aus thermischer Behandlung	60.445	–
Sonstige gewerbliche Abfälle zur Verwertung	449.403	65,8
Gesamt	644.983	46,1

Da es sich bei den Abfällen zur Verwertung um Wirtschaftsgut handelt, erfassen die öRE nur einen gewissen Teil des Marktgeschehens. Die Massenangaben in der Abfallbilanz sind daher nicht repräsentativ für das Gesamtaufkommen an Gewerbeabfällen in Bayern, die tatsächlichen Mengen liegen sicherlich deutlich höher.

Im Unterschied zu den Abfällen zur Verwertung sind *Abfälle zur Beseitigung* den öRE anzudienen. Für das Jahr 2010 wurde den entsorgungspflichtigen Körperschaften eine Gesamtmenge von 231.754 Mg Restabfälle aus dem Gewerbe (sog. hausmüllähnlicher Gewerbeabfall) überlassen [8, S. 57]. Auf die Einwohner bezogen fielen 18,5 kg/a hausmüllähnliche Gewerbeabfälle an.

Insgesamt wurden im Jahr 2010 in Bayern 876.737 Mg Gewerbeabfälle dem Bayerischen Landesamt für Umwelt gemeldet. Das Aufkommen an Sortierresten von Gewerbeabfällen betrug 226 Mg/a [8, S. 58], die in der Regel thermisch behandelt werden.

Ein vollständigeres Bild über das Aufkommen an Gewerbeabfällen liefern die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und der Statistischen Ämter der Länder [13]. In deren Erhebungen gehen die Daten ein, die jährlich auf der Grundlage des Umweltstatistikgesetzes (§§ 3 bis 5, [14]) bei den Betrei-

bern von zulassungsbedürftigen Abfallentsorgungsanlagen mittels Fragebogen erfasst werden [13, S. 187–213]. Darunter fallen thermische Behandlungsanlagen, Feuerungsanlagen mit energetischer Verwertung, Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen, Sortieranlagen und Sonstige Abfallbehandlungsanlagen [13, S. 183]. Zur Ermittlung des Aufkommens (Input/Output) werden die Abfallarten gemäß der Europäischen Abfallverzeichnisverordnung [10] kategorisiert. Für einen genaueren Nachweis erfolgt für die Abfallstatistik eine weitere Untergliederung der Abfallschlüsselnummern durch Erweiterung der bestehenden 6-stelligen Abfallschlüsselnummern um zwei Endziffern auf 8-stellige Schlüsselnummern [13, S. 214]. So werden z. B. gemischte Siedlungsabfälle (20 03 01) in vier Abfallschlüssel-Nummern unterteilt [13, S. 227]:

20 03 01 00	Gemischte Siedlungsabfälle nicht differenzierbar
20 03 01 01	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt werden
20 03 01 02	Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die getrennt vom Hausmüll angeliefert oder eingesammelt werden
20 03 99	Siedlungsabfälle, anderweitig nicht genannt

Bei den jährlichen Erhebungen zur Abfallstatistik durch die statistischen Landesämter handelt es sich um eine Totalerhebung (keine Stichprobe) bei den Betreibern von Abfallentsorgungsanlagen. Nach Auskunft des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung (LfStaD) [15] wurden im Jahr 2011 für das Berichtsjahr 2010 rd. 4.600 Fragebögen an die Betreiber von Abfallentsorgungsanlagen versandt. Maßgebend für die Befragung ist nach [13, S. 185] die Genehmigung der Entsorgungsanlagen nach der 4. BImSchV [16]. Dazu kommen weitere Entsorgungsanlagen, die aufgrund länderspezifischer Genehmigungsgrundlagen zu befragen sind, und als zusätzliche Quellen Verbandsangaben und Internetangebote.

Nach [15] wurden in Bayern im Jahr 2010 in 70 Anlagen 517.747 Mg gemischte hausmüllähnliche Gewerbeabfälle – getrennt vom Hausmüll eingesammelt – behandelt. An Abfällen aus Produktion und Gewerbe (Definition nach Statistischem Bundesamt: alle Abfallarten außer Siedlungsabfälle, Bauabfälle und Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der physikalischen und chemischen Behandlung von Bodenschätzen entstehen) fielen im Jahr 2010 rd. 13,6 Mio. Mg an [17].

Da Abfälle häufig in mehreren Anlagen behandelt werden, sind Mehrfachnennungen möglich. Diesem Sachverhalt wird dadurch entgegengewirkt, dass Input-Mengen mit einer Nummer aus dem AVV-Kapitel 19 (Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen) nicht berücksichtigt werden [18]. Da diese Abfälle aus der Output-Fraktion einer anderen Anlage stammen, sind sie in den erhobenen Daten der Erstbehandlungsanlage bereits enthalten. Trotzdem sind Mehrfachnennungen nicht auszuschließen.

Nach den Erhebungen des Statistischen Bundesamtes ist das Abfallaufkommen von der Wirtschaftsleistung entkoppelt, wie die von [19] veröffentlichte Grafik anhand des Nachhaltigkeitsindikators Abfallintensität [9, S. 19] zeigt. Als Nachhaltigkeitsindikator versteht man den Quotienten Abfallaufkommen dividiert durch preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt; dieser wird in der Einheit [kg/(1.000 €)] angegeben. Der Indikator sank auf einer normierten Skala (100 % = Jahr 2000) von 79,3 % im Jahr 2007 auf einen Wert von 75,6 % im Jahr 2009 [19].

4 Stoffströme und Behandlung von Abfällen aus Gewerbebetrieben in Bayern

4.1 Vorgehensweise bei der Erhebung

Im Unterschied zu den andienungspflichtigen Abfällen ist die Datenlage zum Aufkommen und Entsorgungsweg (Behandlungs-, Verwertungstechniken) von nicht gefährlichen Gewerbeabfällen bei den Umweltfachbehörden meist unvollständig.

Aufgrund der Vielzahl und Vielfältigkeit der Gewerbeabfälle erfolgte die Erhebung – es handelt sich um eine Momentaufnahme im Jahr 2010/11 – stichprobenartig an beispielhaft ausgewählten Entsorgungsfachbetrieben. Dazu wurden diverse Betriebe telefonisch befragt und anhand von Fragebögen und Ortseinsichten Daten erhoben. Folgende Fragestellungen zum Gewerbeabfall standen im Fokus:

1. Wie verlaufen die Stoffströme nach der Sammlung bis zu deren Verwertung oder Beseitigung?
2. Welche Verfahren werden zu deren Behandlung eingesetzt?
3. Welche Qualitätsanforderungen stellen die Verwerter an die Sekundärrohstoffe?

Von den rund 80 dem BayLfU bekannten Entsorgungsfachbetrieben in Bayern, die eine Abfallsortieranlage im Sinn der GewAbfV [6] betreiben, wurden in dieser Studie ca. 70 Unternehmen kontaktiert. In Abbildung 3 ist die Verteilung der Betriebe auf ganz Bayern dargestellt; die Mehrzahl der Betriebe hat ihren Sitz in Südbayern. Ebenso sind in der Abbildung die verschiedenen Arten der „Kontakte“ – nur telefonisch, Ortseinsicht, Auswertung Stoffstrombilanz, Sortieranalyse – gekennzeichnet. Darüber hinaus wurden fünf Verwertungsbetriebe von aus Gewerbeabfällen aufbereiteten Sekundärrohstoffen in die Untersuchungen mit einbezogen. Zwei Betriebe verwerteten die Sekundärrohstoffe energetisch, drei stofflich (Papier, Kunststoffe, Glas).

Je nach Kooperations- und Auskunftsbereitschaft der Anlagenbetreiber konnten allgemeine Betriebsdaten erfasst, Stoffstrombilanzen eingesehen, die Abnehmer der Outputfraktionen abgefragt sowie die Anlagentechnik zur Abfallbehandlung besichtigt und dokumentiert werden.

Insgesamt wurden bei 41 Betrieben Daten zu Stoffströmen und Behandlungstechniken erhoben, 25 Betriebe wurden besichtigt und 10 Betriebe gewährten einen detaillierteren Einblick anhand von Daten zu den Stoffstrombilanzen.

Bei den Erhebungen stellte sich heraus, dass den Entsorgern einige Abfallfraktionen als Mischung kommunaler und gewerblicher Abfälle vorliegen. Dabei kann der kommunale Anteil des angenommenen Gewerbeabfalls den gewerblichen Anteil durchaus übersteigen, wie dies z. B. bei gemischt angelieferten Abfällen aus Wertstoffhöfen der Fall ist. Bei der Behandlung des Gewerbeabfalls wird meist nicht nach dessen Ursprung unterschieden.

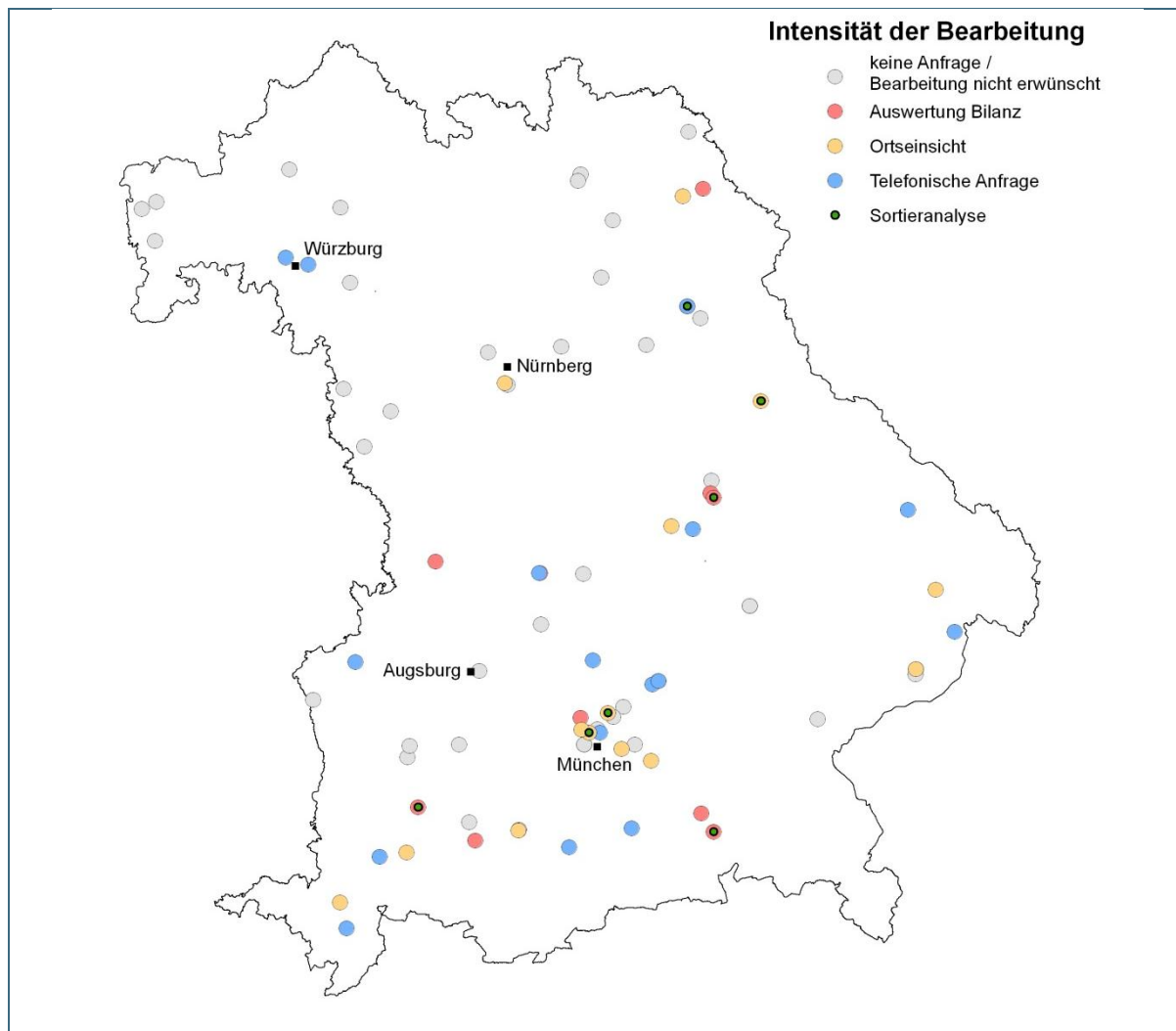


Abb. 3: Übersicht über die Verteilung der Entsorgungsfachbetriebe nach GewAbfV [6] mit einer Sortieranlage für Gewerbeabfälle auf Bayern und Kennzeichnung der Beteiligung am Projekt.

4.2 Stoffströme von Gewerbeabfällen

4.2.1 Begrifflichkeiten

Die Vielfalt der marktwirtschaftlichen Ordnung spiegelt sich auch in der Abfallwirtschaft wider. Entlang der „Wertschöpfungskette“ haben sich die Betriebe auf bestimmte Aspekte der Abfallbehandlung und -verwertung, der Sekundärrohstoffgewinnung und der Abfallbeseitigung spezialisiert.

Für die Akteure auf diesem Gebiet werden in dem Bericht folgende Begrifflichkeiten – sie sind nicht immer identisch mit den Definitionen in Gesetzen und Verordnungen – verwendet:

Gewerbebetriebe: Das produzierende und verarbeitende Gewerbe ist Erzeuger der Gewerbe- und Produktionsabfälle.

Entsorger: Zur Abfallentsorgung im Sinne des § 3 KrWG [1] betreiben Entsorger Anlagen zur Verwertung und Beseitigung einschließlich der dazu notwendigen Vorbereitung.

Die Entsorger stellen die Logistik zur Entsorgung der Abfälle zur Verfügung und bieten u. a. die Entsorgung der Abfälle bzw. die Vermarktung der Sekundärrohstoffe an. Auch die Erstellung von Entsorgungskonzepten als Dienstleistung gehört zum Angebotsspektrum vieler zertifizierter Entsorgungsfachbetriebe.

- Händler:** Händler von Abfällen im Sinne des § 3 KrWG [1] sind natürliche oder juristische Personen, die gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmen oder öffentlicher Einrichtungen Abfälle erwerben und weiterveräußern, oftmals ohne diese tatsächlich physisch in Besitz zu nehmen. Händler verfügen somit nicht zwingend über eine Logistik.
- Behandler:** Behandler sind Betriebe, die Abfälle oder Sekundärrohstoffe behandeln bzw. aufbereiten, ohne diese stofflich oder energetisch zu verwerten oder zu beseitigen. Behandlungsschritte sind z. B. eine Sortierung von Abfällen zur Abtrennung von Wert-/Störstoffen, mechanische Verfahren wie Kompaktierung oder Zerkleinerung von Sekundärrohstoffen.
- Verwerter:** Darunter fallen alle Betriebe, die Abfälle stofflich und/oder bei einem Heizwert größer gleich 11 MJ/kg (§ 8 Abs. 3 KrWG [1]) energetisch verwerten.
- Beseitiger:** Beseitiger im Sinne des § 3 KrWG [1] sind Betriebe, die Abfälle dem Wertstoff-Kreislauf entsprechend den gesetzlichen Vorgaben entziehen (z. B. die Verbrennung von Abfällen mit einem Heizwert kleiner 11 MJ/kg entsprechend der 17. BImSchV [20] oder die Deponierung von Abfällen entsprechend der DepV [21]). Diese Verfahren sind keine Verwertung, auch wenn Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden.

Die Unternehmen der Entsorgungsbranche treten oftmals in mehrfacher Funktion auf. So stellen Entsorger z. B. den Gewerbebetrieben Sammelbehältnisse zur Verfügung und übernehmen u. a. den Transport der Abfälle und der Sekundärrohstoffe. Daneben vermarkten sie die Abfälle und Wertstoffe, fungieren also gleichzeitig als Händler. Meist führen die Entsorger zusätzlich eine Behandlung der Abfälle (z. B. Abfallsortierung) durch – und sind dann gleichzeitig Behandler.

4.2.2 Entsorgungswege der Gewerbeabfälle

Die möglichen Entsorgungswege von Gewerbeabfällen lassen sich prinzipiell in dem in Abbildung 4 gezeigten Schema darstellen. In diesem verallgemeinerten Schema wird kein Unterschied zwischen Abfall erzeugendem Gewerbebetrieb und Sekundärrohstoff einsetzendem Verwerter gemacht.

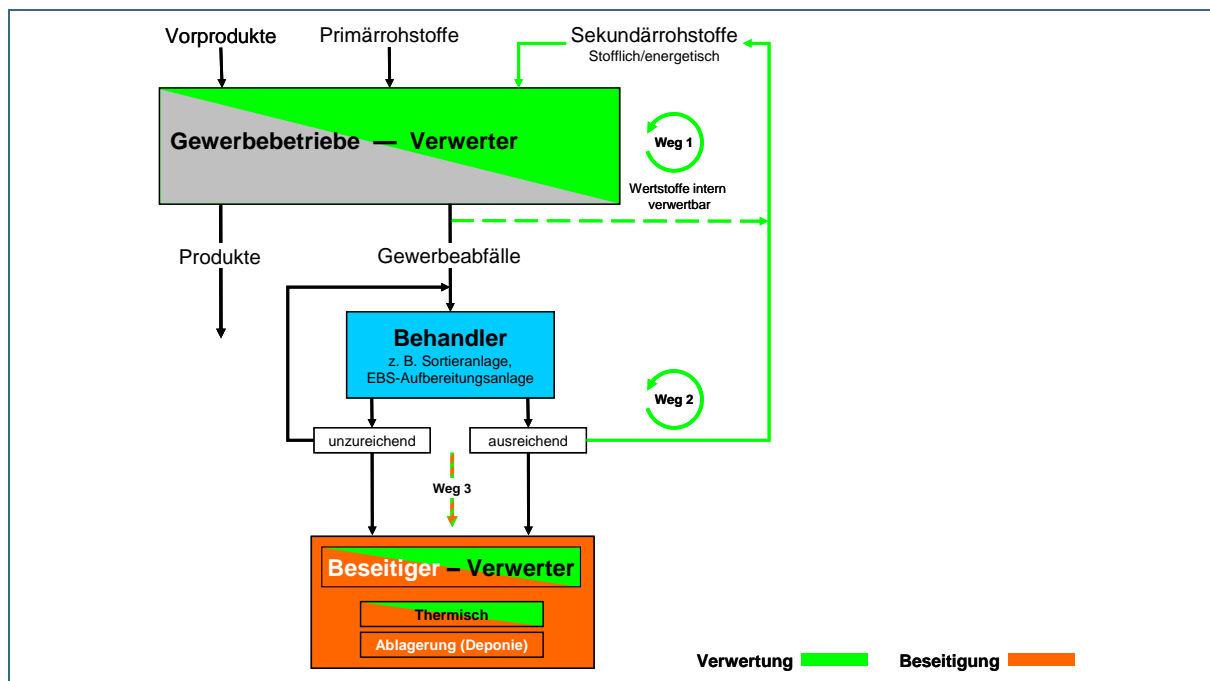


Abb. 4: Schema der möglichen Entsorgungswege von Gewerbeabfällen – Verwertung: Weg 1, 2 bzw. 3, thermisch, falls Heizwert ≥ 11 MJ/kg – Beseitigung: Weg 3, thermisch, falls Heizwert < 11 MJ/kg.

Hauptakteure in der Entsorgungskette sind Gewerbebetriebe, Verwerter, Behandler und Beseitiger. Dazwischen fungieren Entsorger und Händler (in Abb. 4 nicht eingezeichnet). Abhängig u. a. von der betriebsinternen Erfassung gelangen Gewerbeabfälle grundsätzlich auf drei Wegen zur Verwertung oder Beseitigung:

- Weg 1:** Bei einer sortenreinen Erfassung der Abfälle (Monochargen) können diese unter Umständen wieder in den Produktionsprozess des Abfallerzeugers oder Dritter (evtl. über Händler) integriert werden (stoffliche Verwertung als Re- oder Downcycling).
- Weg 2:** Abfälle in einem nicht direkt verwertbaren Zustand gelangen (evtl. über Entsorger/Händler) zu Behandlern, die das Abfallkonglomerat für eine Verwertung (stofflich/energetisch) aufbereiten und entstehende Sortierreste der Beseitigung zuführen. Dabei handelt es sich i. d. R. um mehrstufige, teilweise wiederkehrende Verfahrensabläufe.
- Weg 3:** Abfälle zur Beseitigung sind andienungspflichtig und den öRE zu überlassen, die diese ordnungsgemäß beseitigen.

Bei den Gesprächen mit den Verantwortlichen der Betriebe wurde auch deutlich, dass auf dem Weg der Abfälle von der Entstehung bei den Gewerbebetrieben bis zur Verwertung oder Beseitigung mehrere Entsorgungsfachbetriebe beteiligt sind.

Diese Situation ist am Beispiel der Abfallfraktion „Brennbare Abfälle“ (AVV-Nr. 19 12 10 [10]) des Entsorgungsfachbetriebs 21 in Abbildung 5 dargestellt. Diese in der ersten Entsorgungsebene anfallende Fraktion gibt der Betrieb 21 an insgesamt elf unterschiedliche Abnehmer (Ebene II) weiter: Etwa ein Achtel der Masse geht an vier Verwertungsbetriebe. Der Rest wird an andere Entsorger bzw. Behandler weitergegeben; dabei durchlaufen die Abfälle mindestens eine weitere Ebene, bevor sie endgültig einer Verwertung zugeführt werden. Ab der zweiten Ebene fehlen dem Betrieb 21 bereits Kenntnisse über den weiteren Entsorgungsweg.

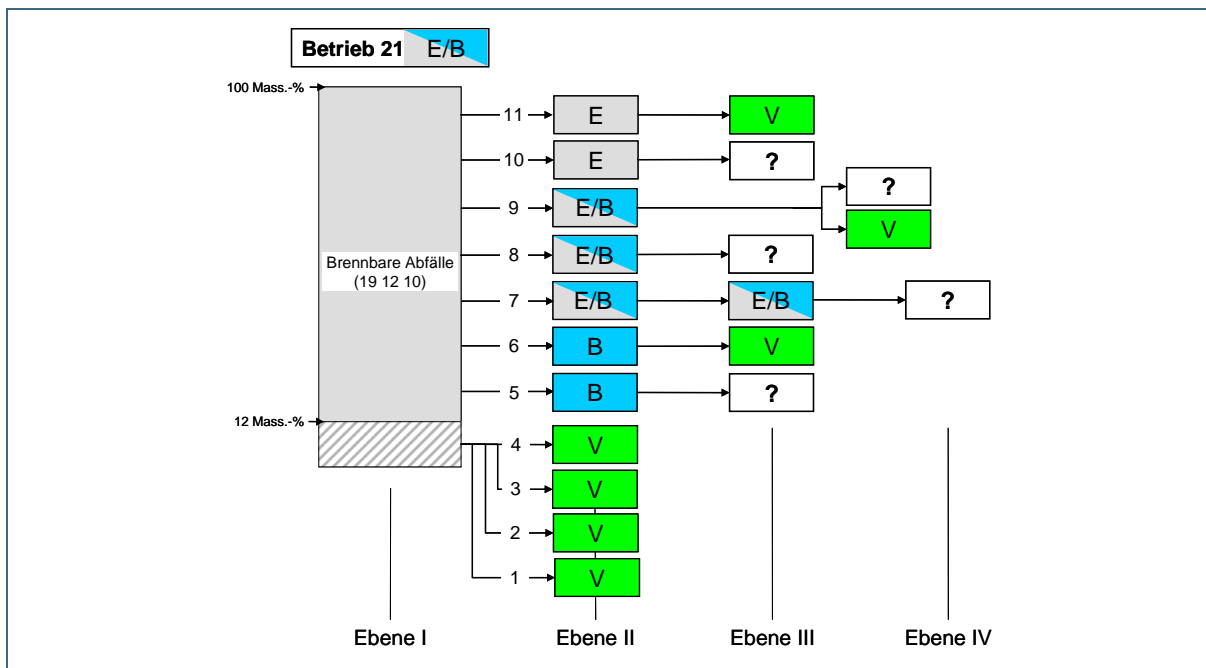


Abb. 5: Entsorgungswege der bei Betrieb 21 (Entsorgungsebene I) entstehenden Fraktion „Brennbare Abfälle“ (AVV-Nr. 19 12 10 [10]); Abkürzungen: B – Behandler, E – Entsorger, V – Verwerter.

Von der Entsorgung von Gewerbeabfällen über mehrere Ebenen berichtet auch [22]. So erfolgt die Entsorgung der Abfallfraktion „Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen“ (AVV-Nr. 19 12 12 [10]) über mindestens drei Ebenen.

Die o. g. Entsorgungswege werden von verschiedenen Faktoren bestimmt.

Ausgangspunkt ist stets der einzelne Gewerbebetrieb, in dem die Abfälle entweder sortenrein (homogen, quasi-homogen) oder gemischt (verschiedene Abfallarten) zur Entsorgung vorliegen. In der Regel ist davon auszugehen, dass sortenreine Abfälle billiger zu entsorgen sind und eher ein Verkaufserlös – falls sie zur (stofflichen) Wiederverwertung geeignet sind und der Sekundärrohstoffmarkt danach verlangt – zu erzielen ist als bei gemischten Abfällen. Die Bereitstellung „sortenreiner“ Abfälle hängt in einem Betrieb sowohl von der anfallenden Abfallart (hochlegierte Stähle, Aluminium, Gusseisen, ..., Verpackungen aus Kartonage, Styropor etc.), von der jeweiligen Abfallmenge (Masse), die je nach Produktionsprozess kontinuierlich, (quasi-)kontinuierlich oder diskontinuierlich anfällt, und von dem jeweiligen Entsorgungspreis ab. In diesen Kontext fallen auch die betriebsinternen Kosten (aufwändigere Logistik, Platzbedarf, Kosten für Sammelbehälter etc.) für die von der GewAbfV [6] geforderte Getrennthaltung der Abfälle.

Bei nicht gegebener betriebsinterner Wiederverwendung oder Verwertung gehen die Monochargen an externe Verwerter. Nach unseren Erkenntnissen findet eine Direktvermarktung kaum statt. Gründe hierfür sind: (i) Die Entsorger/Händler verfügen über einen besseren Überblick über den Sekundärrohstoffmarkt, (ii) sie „besitzen“ i. d. R. die Logistik zur Sammlung, zum Transport und zum Zwischenlagern (Puffer) der Abfall(Mono)chargen und (iii) können dadurch einen höheren Marktpreis aufgrund der zu handelnden Sekundärrohstoffmenge erzielen.

Die Transportwege von Abfällen werden in der Öffentlichkeit immer wieder kontrovers diskutiert; vor allem dann, wenn Gewerbeabfälle aus Deutschland im außereuropäischen Ausland auftauchen. Daher war es uns wichtig, bei den Befragungen die Transportentfernungen zwischen Abfallerzeuger und Entsorgungsfachbetrieb bzw. Entsorgungsfachbetrieb und Verwerter zu ermitteln.

Der weitaus überwiegende Teil der Entsorger gab an, die Inputmaterialien aus einem Einzugsgebiet mit einem Radius von nicht mehr als 100 km zu beziehen. Aus Wettbewerbsgründen ist man bestrebt, die Transportkosten zu minimieren; d. h., man akquiriert bevorzugt Abfälle aus der Region. Ein Bedarf an „überregionalen“ Abfällen entsteht immer dann, wenn das regionale Gewerbeabfallaufkommen nicht ausreicht, bestehende Lieferverträge mit Großabnehmern zu erfüllen. Bei Betrieben, die eine bestimmte Inputfraktion (z. B. Flaschen aus Polyethylenterephthalat) behandeln, war eine überregionale Beschaffung festzustellen, solange das regionale Angebot einen wirtschaftlichen Betrieb der Behandlungskapazitäten nicht zulässt.

Für den Output gelten hinsichtlich der Transportkosten ähnliche Aussagen. Vor allem auf dem globalen Kunststoffmarkt kann der erzielbare Preis stark variieren. Dies kann dazu führen, dass eine Abfallfraktion trotz der anfallenden Transportkosten gewinnbringend nach z. B. Asien verkauft werden kann, während die Abgabe derselben Abfallfraktion an einen regionalen Verwerter unter Umständen einer Zuzahlung bedurft hätte.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Verwertungsart und „-ort“ der wichtigsten Gewerbeabfälle. Die Angaben beruhen auf den mehrheitlichen Aussagen der befragten Entsorgungsfachbetriebe und stellen eine Momentaufnahme der Entsorgungssituation in den Jahren 2010/11 dar.

Altholz. Abnehmer sowohl zur stofflichen als auch energetischen Verwertung finden sich in der Regel in einem Umkreis von weniger als 150 km. Neben bayerischen Verwertern wurden auch Betriebe in Österreich genannt.

Brennstoffe aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen (BPG). Die heizwertreichen BPG substituieren in Zementwerken fossile Brennstoffe. Die beiden Produzenten haben exklusive Lieferverträge mit je einem Zementwerk in der unmittelbaren Nähe von weniger als 30 km.

Tab. 2: Übersicht über die Verwertung der wichtigsten Gewerbeabfallstoffströme unter Angabe der Zielländer.
k. A.: keine Angabe.

Stoffstrom	Verwertungsart	Anlagentyp	Land	Transportdistanz
Altholz	stofflich	Holzwerk	Bayern	< 150 km
	energetisch	Verbrennung	Bayern	< 150 km
Brennstoffe aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen (BPG)	energetisch	Zementwerk	Bayern	< 50 km
Ersatzbrennstoffe (EBS)	energetisch	EBS-Kraftwerk Zementwerk	Bayern	meist < 150 km
Gemischte Abfälle zur energetischen Verwertung	energetisch	Müllverbrennung	Bayern	< 100 km
Glas	stofflich	Glasschmelze	Bayern	< 150 km
Kunststoffe	stofflich	k. A.	China	» 1.000 km
	energetisch	k. A.	Deutschland	< 1.000 km
... höherwertiges Material	stofflich	k. A.	Deutschland, Österreich, Schweiz	< 1.000 km
Papier/Pappe/Kartonage	stofflich	Papierfabrik	Bayern, Deutschland, Österreich	< 1.000 km
Schrott (Fe)	stofflich	Hochofen	Italien , Deutschland, Luxemburg, Türkei	< 5.000 km

Ersatzbrennstoffe (EBS). Je nach Qualität werden die aus Gewerbeabfällen aufbereiteten Ersatzbrennstoffe in Zementwerken oder EBS-Kraftwerken energetisch verwertet. Dabei handelt es sich überwiegend um regionale Abnehmer und zu einem kleinen Teil um Abnehmer in anderen deutschen Bundesländern.

Gemischte Abfälle zur energetischen Verwertung (AzV) werden überwiegend an regionale thermische Behandlungsanlagen abgegeben. Aufgrund der Preisunterschiede findet auch eine Verwertung in anderen Bundesländern statt.

Glas geht fast ausschließlich in die Glasschmelze. Die Betriebe befinden sich meist in Bayern, aber auch in anderen Bundesländern sowie in europäischen Nachbarländern.

Kunststoffe. Minderwertige Kunststoffe (z. B. verunreinigte Mischkunststoffe) haben einen großen Absatzmarkt in Asien, vor allem in China. Qualitativ höherwertiges Material (z. B. sortenreine Kunststoffe, Produktionsabfälle) wird vorrangig an Aufbereiter und stoffliche Verwerter in Deutschland, aber auch in die Schweiz und nach Österreich abgegeben. Kunststoffe zur energetischen Verwertung finden ihre Abnehmer vorrangig in Deutschland (z. B. Heizkraftwerke, Zementwerke).

Papier/Pappe/Kartonage (PPK) geht vor allem zur stofflichen Verwertung an nah gelegene Papierfabriken in Bayern, in den angrenzenden Bundesländern und in Österreich.

Schrott wird einer stofflichen Verwertung vorrangig in Italien, aber auch in Deutschland, Luxemburg und der Türkei zugeführt.

4.2.3 Stoffstrombilanzen am Beispiel dreier Entsorgungsfachbetriebe

Nach [23] ist für viele Abfallfraktionen aus Sicht des Ressourcenschutzes und der Energieeffizienz die stoffliche im Vergleich zur energetischen Verwertung höher zu bewerten. Dem tragen auch die §§ 6ff. KrWG [1] Rechnung. Die Vorgaben der GewAbfV [6] zu einer Nachsortierung bei nicht ausreichender gewerbebetriebs-interner Vorsortierung (vgl. Abb. 2) zielen unter anderem darauf ab, eine möglichst hochwertige Verwertung der Abfälle zu gewährleisten.

In Tabelle 3 sind die ausgewerteten Betriebsdaten der Entsorgungsfachbetriebe dargestellt.

Tab. 3: Daten verschiedener Entsorgungsfachbetriebe zum Ausstoß ausgewählter im Jahr 2010 behandelter Abfallströme (Monochargen, Gemische) und deren weiteren Entsorgungsweg.

Entsorgungsfachbetrieb – Ebene I Nr.	Output [Mg/a]	Händler	Behandler	Verwerter		Beseitiger	
				stofflich	energetisch		
Monochargen							
2	Altpapier	125.000	0 %	0 %	95 %	< 5 %	< 1 %
5	Altpapier, Kunststoffverpackungen	67.477	14 %	0 %	86 %	1 %	0 %
8	Altglas	120.000	15 %	0 %	85 %	0 %	0 %
12	Metalle, Altpapier	31.350	19 %	22 %	59 %	0 %	0 %
Gemische							
17	Gem. Gewerbeabfälle	66.184	19 %	51 %	0 %	30 %	0 %
21	Gem. Gewerbeabfälle, Altpapier	27.766	28 %	42 %	4 %	24 %	1 %
25	Gem. Gewerbeabfälle	2.848	0 %	21 %	6 %	73 %	0 %
33	Gem. Gewerbeabfälle, Altpapier	22.889	0 %	7 %	33 %	44 %	16 %
Kunststoffgemische							
13	Produktionsabfälle aus Kunststoff	25.000	0 %	< 1 %	0 %	> 99 %	0 %
14	Produktionsabfälle aus Kunststoff	50.000	0 %	< 1 %	0 %	> 99 %	0 %

Die Daten zeigen, dass Monochargen nach der Erstbehandlung zu über 58 Mass.-% an stoffliche Verwerter und kaum in die Beseitigung gehen. Bei Mischfraktionen unterschiedlicher Materialien geben die Entsorgungsfachbetriebe der Ebene I in einem deutlich geringeren Maß (max. 33 Mass.-%) die aufbereitete Abfallfraktion direkt an stoffliche Verwerter weiter; die energetische Verwertung des Materials (24 – 73 Mass.-%) und die Weitergabe an zusätzliche Behandler überwiegt. Heizwertreiche Produktionsabfälle aus Kunststoff gehen fast vollständig in die energetische Verwertung. Weiterführende Recherchen haben ergeben, dass von einer hohen Abschöpfungsrate von Wertstoffen zur stofflichen Verwertung durch die nachfolgenden Behandler nicht auszugehen ist.

Exemplarisch werden die ein- und ausgehenden Stoffströme an drei in Tabelle 3 genannten Entsorgungsfachbetrieben (Nr. 17, 21 und 33) anhand der Abfallschlüsselnummern [10] näher betrachtet.

Entsorgungsfachbetrieb 17. Der Betrieb hat sich auf die Gewinnung von Ersatzbrennstoffen aus Abfallgemischen mittels Sortierung spezialisiert; d. h. der Fokus liegt nicht auf der Sortierung von Wertstoffen zur stofflichen Verwertung.

Im Inputmaterial waren kaum Monofractionen zu finden. Der Großteil des Inputmaterials (vgl. Tab. 4) von knapp 70 Tsd. Mg besteht aus gemischten Abfällen wie z. B. „gemischte Siedlungsabfälle“ (AVV-Nummer 20 03 01 [10]), „brennbare Abfälle“ (19 12 10), „gemischte Verpackungen“ (15 01 06) oder „Spuckstoffe aus der Papierindustrie“ (03 03 07).

Tab. 4: Sämtliche Stoffströme (Input, Output, weiterer Entsorgungsweg) mit Angabe der AVV-Nummer [10] des

Material AVV-Nr.	Kurzbezeichnung	Input	Output
03 03 07	mechanisch abgetrennte Abfälle aus Auflösung von Papier-/Pappabfällen	3.476	–
15 01 02	Verpackungen aus Kunststoff	–	28
15 01 06	gemischte Verpackungen	5.209	493
17 03 02	Bitumengemische	–	34
17 06 03*	anderes Dämmmaterial mit gefährlichen Stoffen	–	2
17 09 04	gemischte Bau- und Abbruchabfälle	514	–
19 10 04	Schredderleichtfraktionen und Staub	1.363	–
19 12 02	Eisenmetalle	–	1.274
19 12 03	Nichteisenmetalle	–	129
19 12 04	Kunststoff und Gummi	1.748	397
19 12 07	Holz	–	1.258
19 12 08	Textilien	–	97
19 12 09	Mineralien (z. B. Sand, Steine)	–	326
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	11.263	34.176
19 12 12	sonstige Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen	5.015	26.666
20 01 36	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte	–	2
20 01 39	Kunststoffe	155	–
20 03 01	gemischte Siedlungsabfälle	42.569	1.303
Gesamt		71.313	66.184

Durch die Sortierung werden 4.038 Mg an stofflich verwertbaren Wertstoffen („Eisenmetalle“ (19 12 02), „Nichteisenmetalle“ (19 12 03), „Holz“ (19 12 07), „gebrauchte elektrische und elektronische Geräte“ (20 01 36), „Textilien“ (19 12 08), verschiedene Kunststoffe und mineralisches Material) zurückgewonnen. Daraus errechnet sich eine Abschöpfquote von Sekundärrohstoffen von 5,8 %. Im Vergleich dazu werden 93,9 % des Outputs als „brennbare Abfälle“ (19 12 10), „sonstige Abfälle“ (19 12 12) und „gemischte Siedlungsabfälle“ (20 03 01) ausgewiesen. Davon werden 19.916 Mg (32 %) zur energetischen Verwertung abgegeben, der Rest (42.229 Mg) wird an Händler oder andere Behandler veräußert. Inwieweit diese nochmals stofflich verwertbare Materialien abschöpfen, ist nicht bekannt.

Entsorgungsfachbetriebs 17 im Jahr 2010. Alle Massenströme in Mg/a.

Output	Händler	Behandler	Verwerter		Beseitiger	Material AVV-Nr.
			stofflich	energetisch		
–	–	–	–	–	–	03 03 07
28	28	–	–	–	–	15 01 02
493	40	452	–	–	–	15 01 06
34	34	–	–	–	–	17 03 02
2	–	–	–	–	2	17 06 03*
–	–	–	–	–	–	17 09 04
–	–	–	–	–	–	19 10 04
1.274	–	1.274	–	–	–	19 12 02
129	–	129	–	–	–	19 12 03
397	332	65	–	–	–	19 12 04
1.258	–	1.258	–	–	–	19 12 07
97	–	97	–	–	–	19 12 08
326	–	326	–	–	–	19 12 09
34.176	4.835	20.707	–	8.523	–	19 12 10
26.666	7.257	9.202	–	10.090	–	19 12 12
2	2	–	–	–	–	20 01 36
–	–	–	–	–	–	20 01 39
1.303	–	–	–	1.303	–	20 03 01
66.184	12.529	33.509	–	19.916	2	Gesamt

Entsorgungsfachbetrieb 21. Die Massenströme der meisten Abfallfraktionen bewegen sich im Output in derselben Größenordnung wie im Input (Tab. 5). Eine deutliche Ab- bzw. Zunahme ist bei vier gemischten Abfallfraktionen auszumachen (grau hinterlegt). Durch die Sortierung gehen die insgesamt 9.774 Mg „gemischten Bau- und Abbruchabfälle“ (AVV-Nr. 17 09 04 [10]) und „gemischten Siedlungsabfälle“ (20 03 01) in den 9.981 Mg „brennbaren“ (19 12 10) und „sonstigen Abfällen“ (19 12 12) auf. Da der Betrieb ausschließlich Gewerbeabfälle annimmt, sind die „gemischten Siedlungsabfälle“ den „gemischten Gewerbeabfällen“ gleichzusetzen.

Bei der Berechnung der Wertstoffabschöpfquote wurde davon ausgegangen, dass die Zuwächse bei den wertstoffhaltigen Fraktionen aus den Mischfraktionen „gemischte Bau- und Abbruchabfälle“ (17 09 04) und „gemischte Siedlungsabfälle“ (20 03 01) stammen. In Summe wurden demnach 536 Mg „Altreifen“ (16 01 03), „Holz“ (17 02 01), „Holz + Holz aus Sperrmüll“ (17 02 01/20 03 07), „Glas“ (17 02 02), „Kunststoff“ (17 02 03), „Aluminium“ (17 04 02), „gemischte Metalle“ (17 04 07),

Tab. 5: Sämtliche Stoffströme (Input, Output, weiterer Entsorgungsweg) mit Angabe der AVV-Nummer [10] des

Material		Input	Output
AVV-Nr.	Kurzbezeichnung		
08 01 11*	Farb-, Lackabfälle mit organ. Lösemitteln oder anderen gefährlichen Stoffen	–	–
14 06 03*	andere Lösemittel und Lösemittelgemische	–	–
15 01 02	Verpackungen aus Kunststoff	562	421
15 01 06	gemischte Verpackungen	65	–
16 01 03	Altreifen	–	8
16 07 09*	Abfälle, die sonstige gefährliche Stoffe enthalten	–	–
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik	210	165
17 02 01	Holz	691	829
17 02 01/ 20 03 07	Holz + Holz aus Sperrmüll	4.032	4.098
17 02 02	Glas	33	51
17 02 03	Kunststoff	4	7
17 02 04*	Glas, Kunststoff, Holz mit gefährlichen Stoffen	495	505
17 03 01*	kohlenteerhaltige Bitumengemische	47	38
17 03 02	Bitumengemische	–	12
17 03 03*	Kohlenteer und teerhaltige Produkte	491	372
17 04 02	Aluminium	–	6
17 04 07	gemischte Metalle	26	152
17 06 03*	anderes Dämmmaterial	410	413
17 06 05*	asbesthaltige Baustoffe	315	306
17 08 02	Baustoffe auf Gipsbasis	453	400
17 09 04	gemischte Bau- und Abbruchabfälle	3.222	–
19 12 10	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	–	7.981
19 12 12	sonstige Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen	–	2.000
20 01 01	Papier und Pappe	9.825	9.979
20 01 35*	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte mit gefährlichen Stoffen	2	6
20 01 36	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte	12	19
20 03 01	gemischte Siedlungsabfälle	6.552	–
Gesamt		27.447	27.766

„Papier und Pappe“ (20 01 01) sowie „gebrauchte elektrische und elektronische Geräte“ (20 01 36) aus den o. g. Gemischen aussortiert. Damit ergibt sich eine Abschöpfquote von Wertstoffen aus den „gemischten Bau- und Abbruchabfällen“ (17 09 04) und „gemischten Siedlungsabfällen“ (20 03 01) von 5,5 %. Der Betrieb gibt vor allem Baustoffe und einen Teil von Papier/Pappe/Kartonage direkt an stoffliche Verwerter ab. Absolut gesehen handelt es sich dabei um eine geringe Menge (1.064 Mg, entspricht 3,8 % der Outputmasse). Holz geht nach Angaben des Betriebs in die energetische Verwertung, die anderen aussortierten Wertstoffe (insgesamt 332 Mg, entspricht 1,2 % der Outputmasse) werden zusammen mit den angelieferten stoffgleichen Monofractionen an Händler oder andere Behandler abgegeben. Auch ein Großteil der „brennbaren“ und „sonstigen“ Abfälle wird an Händler oder andere Behandler veräußert (9.040 Mg, entspricht 33 % des Outputs), ohne dass über den weiteren Entsorgungsweg Genaueres bekannt ist.

Entsorgungsfachbetriebs 21 im Jahr 2010. Alle Massenströme in Mg/a.

Output	Händler	Behandler	Verwerter		Beseitiger	Material AVV-Nr.
			stofflich	energetisch		
–	0,1	–	–	–	–	08 01 11*
–	0,1	–	–	–	–	14 06 03*
421	421	–	–	–	–	15 01 02
–	–	–	–	–	–	15 01 06
8	8	–	–	–	–	16 01 03
–	–	–	–	–	0,1	16 07 09*
165	–	–	165	–	–	17 01 07
829	–	–	–	829	–	17 02 01
4.098	–	–	–	4.098	–	17 02 01/ 20 03 07
51	–	51	–	–	–	17 02 02
7	–	7	–	–	–	17 02 03
505	–	–	–	505	–	17 02 04*
38	–	–	–	–	38	17 03 01*
12	–	12	–	–	–	17 03 02
372	–	–	–	372	–	17 03 03*
6	6	–	–	–	–	17 04 02
152	152	–	–	–	–	17 04 07
413	–	413	–	–	–	17 06 03*
306	–	–	–	–	306	17 06 05*
400	–	–	400	–	–	17 08 02
–	–	–	–	–	–	17 09 04
7.981	3.759	3.281	–	941	–	19 12 10
2.000	–	2.000	–	–	–	19 12 12
9.979	3.493	5.987	499	–	–	20 01 01
6	–	6	–	–	–	20 01 35*
19	–	19	–	–	–	20 01 36
–	–	–	–	–	–	20 03 01
27.766	7.837	11.776	1.064	6.745	344	Gesamt

Entsorgungsfachbetrieb 33. Ein anderes Bild ergibt die Stoffstrombilanz dieses Betriebs (vgl. Tab. 6). Etwa ein Drittel des Outputs wird direkt an stoffliche Verwerter abgegeben. Ein Großteil des Materials (etwa 85 %), das direkt in die stoffliche Verwertung geht, stammt aus der Mono-Inputfraktion „Papier und Pappe“ (AVV-Nummer 20 01 01 [10]), der Rest wird aus den angelieferten Abfallgemischen aussortiert. Dieses Beispiel belegt, dass aus Abfallgemischen nur ein geringfügiger Teil aussortiert und direkt einer stofflichen Verwertung zugeführt wird. Aus den Mischfraktionen „gemischte Bau-

Tab. 6: Sämtliche Stoffströme (Input, Output, weiterer Entsorgungsweg) mit Angabe der AVV-Nummer [10] des

Material AVV-Nr.	Kurzbezeichnung	Input	Output
15 01 02	Verpackungen aus Kunststoff	486	-
17 09 04	gemischte Bau- und Abbruchabfälle	3.510	-
19 12 02	Eisenmetalle	-	628
19 12 04	Kunststoff und Gummi	-	110
19 12 05	Glas	-	110
19 12 07	Holz	-	931
19 12 08	Textilien	118	-
19 12 09	Mineralien (z. B. Sand, Steine)	-	1.091
19 12 12	sonstige Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen	-	13.667
20 01 01	Papier und Pappe	6.515	6.321
20 01 02	Glas	31	31
20 02 01	biologisch abbaubare Abfälle	4.765	-
20 03 01	gemischte Siedlungsabfälle	11.086	-
20 03 07	Sperrmüll	1.326	-
Gesamt		27.837	22.889

In Abbildung 6 sind die acht Input- und acht Outputströme grafisch dargestellt. In dem Bild wird anhand der AVV-Nummern [10] die massenmäßige Verlagerung der Stoffströme der Kapitel 15 (Verpackungsabfall), 17 (Bau- und Abbruchabfälle) und 20 (Siedlungsabfälle) auf die Stoffströme der Kapitel 19 (Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen) und 20 (Siedlungsabfälle) deutlich.

und Abbruchabfälle“ (17 09 04), „gemischte Siedlungsabfälle“ (20 03 01) und „Sperrmüll“ (20 03 07) werden die Wertstoffe „Eisenmetalle“ (19 12 02), „Kunststoff und Gummi“ (19 12 04), „Glas“ (19 12 05) und „Holz“ (19 12 07) sowie die stofflich verwertbare Fraktion „Mineralien“ (19 12 09) aussortiert. Die Massen der abgeschöpften Fraktionen summieren sich auf 2.870 Mg, woraus sich bei einer Gemischmenge von 15.922 Mg eine Abschöpfquote von 18,0 % ergibt.

Entsorgungsfachbetriebs 33 im Jahr 2010. Alle Massenströme in Mg/a.

Output	Händler	Behandler	Verwerter		Beseitiger	Material AVV-Nr.
			stofflich	energetisch		
-	-	-	-	-	-	15 01 02
-	-	-	-	-	-	17 09 04
628	-	628	-	-	-	19 12 02
110	-	-	110	-	-	19 12 04
110	-	110	-	-	-	19 12 05
931	-	931	-	-	-	19 12 07
-	-	-	-	-	-	19 12 08
1.091	-	-	1.091	-	-	19 12 09
13.667	-	-	-	9.954	3.713	19 12 12
6.321	-	-	6.321	-	-	20 01 01
31	-	31	-	-	-	20 01 02
-	-	-	-	-	-	20 02 01
-	-	-	-	-	-	20 03 01
-	-	-	-	-	-	20 03 07
22.889	-	1.700	7.522	9.954	3.713	Gesamt

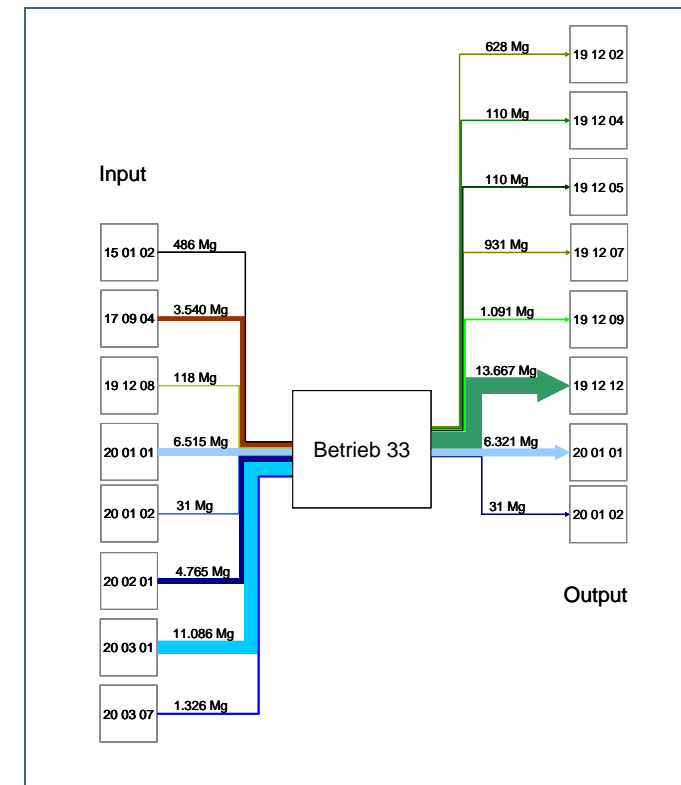


Abb. 6: Mit AVV-Nummern [10] bezeichnete Stoffströme (Input, Output) des Entsorgungsfachbetriebs 33 im Jahr 2010.

Die Auswertung der Stoffströme diverser Entsorgungsfachbetriebe und die Gespräche mit den Betreibern der Behandlungsanlagen zeigen, dass

- vor allem bei Monofractionen und einem funktionierenden Sekundärrohstoffmarkt (PPK, Metalle, Kunststoffe) eine stoffliche Verwertung der Gewerbeabfälle im Vordergrund steht; hierzu trägt insbesondere die sortenreine Erfassung der Abfälle bei den Gewerbebetrieben bei
- eine Behandlung der Abfallgemische beim (Erst-)Entsorger den Anteil der stofflichen Verwertung in der Regel kaum (Abschöpfquoten meist < 10 %, max. < 20 %) erhöht, sondern die Abfälle an Händler oder andere Behandler weitergegeben werden
- Abfallgemische mit geringem Heizwert letztlich energetisch beseitigt werden, während Abfallgemische mit heizwertreichen Bestandteilen als aufbereiteter Ersatzbrennstoff in die energetische Verwertung gehen (Abschöpfquoten rund 30 %)
- die Getrennterfassung bzw. Vorsortierung am Ort der Abfallentstehung (Gewerbebetriebe) entscheidend für eine stoffliche oder energetische Verwertung der Gewerbeabfälle ist
- eine intensivere Behandlung der Abfallgemische zur Erhöhung der Abschöpfquote von Sekundärrohstoffen sich wirtschaftlich rechnen muss.

4.3 Qualitätsanforderungen an den zu verwertenden Output von Gewerbeabfallbehandlungsanlagen

Die Qualitätsanforderungen der Verwerter an die Sekundärrohstoffe bestimmen die Intensität und die Art der Gewerbeabfallbehandlung.

4.3.1 Qualitätsparameter

Ein Kriterium für die Verwertbarkeit des Sekundärrohstoffs ist der **Anteil an Fremd-/Störstoffen**. Der Fremd-/Störstoffgehalt wird durch die vorhandene Verfahrenstechnik, die i. d. R. auf Primärrohstoffe ausgelegt ist, und die geforderte Produktqualität begrenzt. Daneben darf die Verwertung keine Beeinträchtigungen der Umwelt hervorrufen. So geben der Gesetzgeber und die Verwerter für die Annahme von Sekundärrohstoffen aus Gewerbeabfällen „Grenzwerte“ vor. Zu nennen sind hier z. B. bei der stofflichen Verwertung die Verpackungsverordnung (VerpackV) [24] und die Altholzverordnung (AltholzV) [25], bei der energetischen Verwertung die TA Luft [26], 17. BImSchV [20] etc. Die dort genannten Werte sind in den Genehmigungsbescheiden der Verwertungsanlagen umgesetzt und wirken sich (in)direkt auf die Qualität der Sekundärrohstoffe aus.

Bei der Verwertung von **Altglas** führen Fremdstoffe wie z. B. Porzellan mit einem gegenüber der Schmelztemperatur des Glases deutlich höheren Schmelzpunkt zu unerwünschten Einschlüssen im Glas. Auch Aluminium, Eisen und organische Anteile beeinträchtigen die Eigenschaften der Schmelze und damit das Produkt. Beispielhaft zeigt Tabelle 7 die Vorgaben eines besichtigten Glasherstellers für die Annahme von Altglas.

Tab. 7: Annahmegrenzwerte eines Glasherstellers für Altglas.

Fremd-/Störstoffe	Annahmegrenzwert	Fremd-/Störstoffe	Annahmegrenzwert
Keramik, Stein, Porzellan	25 ppm	Eisen	5 ppm
Aluminium	5 ppm	Organik	400 ppm
Blei (lose)	1 ppm	Fehlfarbenanteil, Weißglas	3 Mass.-%

Auch die stoffliche Verwertung von **Altpapier** erfordert einen möglichst von Verunreinigungen freien Sekundärrohstoff. Dies bedingt aufwändige, mehrstufige Reinigungsprozesse mit einem erhöhten Arbeits- und Energieaufwand sowie Materialverschleiß bei den Aufbereitungsaggregaten. Um den Aufbereitungsaufwand zu begrenzen, wird z. B. bei Gewerbeabfall, der aus einer haushaltsnahen Erfassung stammt, ein Störstoffanteil von maximal 2,5 Mass.-% toleriert [27].

Neben dem geringen Anteil an Fremd-/Störstoffen kann für die Verwertung von Sekundärrohstoffen die **Sortenreinheit** für die Qualität des neuen Produkts entscheidend sein. Die **Kunststoffsorten** (Thermoplaste) Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol und Polyvinylchlorid unterscheiden sich in ihrer Molekülstruktur (amorph, teil-kristallin) und besitzen für den jeweiligen Einsatzzweck spezifische Materialeigenschaften durch die Zugabe von Füllstoffen, Stabilisatoren, Weichmachern etc. [28]. Aufgrund dieser Unterschiede beschränkt sich die stoffliche Verwertung meist auf sortenreine Kunststoffe; trotz des Einsatzes von Verträglichkeitsverbesserern führt die Verarbeitung von Kunststoffgemischen zu Qualitätseinbußen.

Auch **einheitliche optische Eigenschaften** von Monochargen können die Verwertbarkeit verbessern. Im o. g. Beispiel (siehe Tab. 7) fordert der Glashersteller bei weißem Altglas einen maximalen Fehlfarbenanteil von 3 Mass.-%, um Weißglas in der geforderten Qualität produzieren zu können. Auch bei Kunststofffolien sind einheitliche Farbeigenschaften ein Qualitätskriterium, das den erzielbaren Preis beeinflusst. Transparente Folien mit einem Fehlfarbenanteil von maximal 2 Mass.-% (so genannte 98/2-Folie) erzielen höhere Erlöse als Kunststofffolien der Kategorie 95/5.

Für die Verwertung sind Sekundärrohstoffe oftmals in einer bestimmten **Geometrie und Größe** notwendig, um sie in den jeweiligen Produktionsprozess einschleusen zu können. So erfordert beispielsweise bei der Zementherstellung die Nutzung der installierten Verfahrenstechnik das Einblasen von Brennstoffen aus Abfällen (EBS oder BPG) in die Drehrohröfen. Dazu müssen sie in „einblasfähiger“ zweidimensionaler Form (so genannter „Fluff“) vorliegen.








Ein weiteres Beispiel sind große und sperrige Abfallfraktionen, z. B. Altholz aus Bauabfällen, die in dieser Größe unter Umständen nicht verwertet werden können. Die richtige, auf die jeweilige Verwertung abgestimmte Größe kann ein Kriterium für die Annahme sein.

Im Rahmen der Produkthaftung sind an Produkte bei Einsatz von Sekundärrohstoffen (stoffliche bzw. energetische Verwertung) die gleichen Qualitätsanforderungen zu stellen wie an Produkte aus Primärrohstoffen. Dies gilt insbesondere für **Schadstoffgehalte**. Für die stoffliche Verwertung von Altholz beispielsweise gibt [25] konkrete Schadstoffobergrenzen für Schwermetalle, Chlor, Fluor, Pentachlorphenol und polychlorierte Biphenyle vor. Bei einer energetischen Verwertung ist anhand einer Sortieranalyse sicherzustellen, dass der Anteil an Althölzern einer höheren als der zulässigen Kategorie nicht mehr als 2 Mass.-% beträgt.

Auch für die Verwertung von Ersatzbrennstoffen enthalten die Genehmigungsbescheide der Verwertungsanlagen (Zementwerke, EBS-Kraftwerke) konkrete Grenzwerte (vgl. z. B. die Empfehlungen in Nordrhein-Westfalen [29, S. 10ff und 69ff]).

4.3.2 Behandlung der Abfälle aus Gewerbebetrieben

Bei insgesamt 41 Entsorgungsfachbetrieben konnten Daten erhoben werden (vgl. Abschnitt 4.1 und Tab. A–1 im Anhang). Die bei den Betrieben vorgefundene Aufbereitungstechnik wurde in Anlehnung an [5, S. 46ff.] in sieben Komplexitätsstufen (KS-0 bis KS-VI) unterteilt (Abb. 7), wobei ab KS-I die nächst höhere Komplexitätsstufe alle Behandlungsschritte und Aggregate der darunter liegenden Stufen beinhalten kann. In einigen Betrieben findet eine manuelle Nachsortierung vom Band statt (siehe auch Angaben in Tab. A–1 im Anhang).

Komplexitätsstufen KS		Optional	Behandlungsumfänge	Aggregate
• KS-0			Keine Behandlung, nur Umschlag	Bagger, Radlader
• KS-I			Manuell oder maschinell durchgeführte Entnahme großstückiger Teile *)	Bagger, Radlader („Bodensortierung“)
• KS-II		KS-I	Mechanische Bearbeitung (Kompaktierung, Zerkleinerung) *)	Baggerschere, Presse
• KS-III		KS-I, -II	Abtrennung von Fe-Metallen *)	Magnetabscheider
• KS-IV		KS-I, -II, -III	automatisierte mechanisch-physikalische Aufbereitung *)	Querstromzerspinner, Sieb, Windsichter, Zyklon
• KS-V		KS-I, -II, -III, -IV	Abtrennung von Nicht-Fe-Metallen *)	Wirbelstromabscheider
• KS-VI		KS-I, -II, -III, -IV und/oder -V	automatisierte sensorische / andere komplexere Aufbereitungsverfahren *)	Flotation, Nah-Infrarot-Abscheidung

*) eventuell: manuelle Nachsortierung am Band

Abb. 7: Unterteilung der bei Entsorgungsfachbetrieben vorgefundenen Aufbereitungstechnik für Gewerbeabfälle in sieben Komplexitätsstufen.

Behandlungstechniken für Monochargen

Mit welchem Aufwand die Behandlung von Monochargen erfolgt, richtet sich zum einen nach dem Anteil an zu entfernenden Fremdstoffen und zum anderen nach der Verwertungsart mit den zugehörigen Qualitätsanforderungen. So können z. B. bei der energetischen Verwertung von Altholz mit Schadstoffen belastete Fremdstoffe (Kitte, Metall-, Kunststoffbeschläge, Reste von Fensterglas) unproblematisch sein, für die stoffliche Verwertung stellen sie jedoch einen nicht tolerierbaren Störstoff dar. Das Spektrum der eingesetzten Behandlungstechniken für Monochargen reicht somit von KS-0 (keine Behandlung) bis KS-VI (mehrstufige Behandlung). Die bei den Entsorgungsfachbetrieben installierten Techniken werden im Folgenden für massenmäßig relevante Monochargen dargestellt.

Altglas als Monocharge wird in der Regel von spezialisierten Aufbereitern behandelt. Mittels einer Negativ-Sortierung und hohem technischem Aufwand (z. B. Betrieb 8, KS-VI, siehe Tab. A–1) werden alle relevanten Störstoffe als Vorbereitung zur direkten stofflichen Verwertung entfernt.

Altholz. Für die stoffliche Verwertung sind nach der Altholzverordnung [25] Hölzer der Kategorie I bis III der vierstufigen Einteilung zugelassen. Bei Altholzgemischen führen die Entsorgungsfachbetriebe lediglich eine Bodensortierung – das Altholzhauwerk wird für die Sortierung am Boden auseinandergezogen – durch, bei der nicht zur stofflichen Verwertung geeignete Hölzer per Augenschein aussortiert werden; hierzu liefert [25] im Anhang III Hinweise.

Entsorgungsfachbetriebe, die Althölzer sowohl für die stoffliche als auch für die energetische Verwertung aufbereiten, setzen auf eine aufwändigere Anlagentechnik, um die geforderten Qualitäten zu erreichen. Die Abbildung 8 zeigt das Anlagenschema vom Entsorgungsfachbetrieb 6 (Komplexitätsstufe V). Dabei werden insbesondere Metalle entfernt, das Holz wird zerkleinert und in marktgängige Größen klassiert.

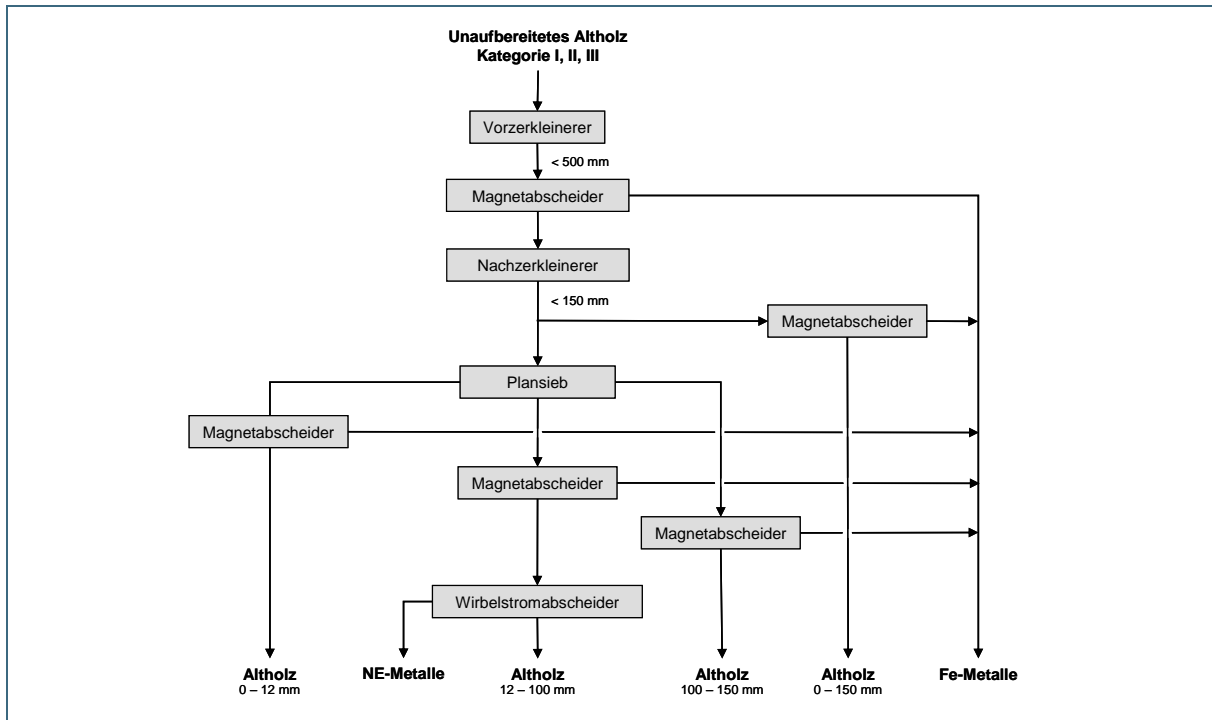


Abb. 8: Schema der Aufbereitung von Altholz mit KS-V (Betrieb 6).

Altkunststoffe. Der Verwertungsweg und die damit verbundene Behandlung der Kunststoffe hängen stark davon ab, ob die Ware sortenrein oder gemischt vorliegt. Viele gängige Thermoplaste können in sortenreiner Form sehr gut stofflich verwertet werden. Die Behandlung von sortenreinen Monochargen konzentriert sich v. a. auf die Entfernung von Fremd- und Störstoffen sowie auf die geforderte Stückigkeit (Geometrie, Größe). Dabei kommen komplexe, mehrstufige Anlagen zum Einsatz (siehe Abb. 9). Nach Auskunft der Entsorgungsfachbetriebe stellt die energetische Verwertung von sortenreinen, qualitativ hochwertigen Kunststoffen keine wirtschaftlich lukrative Alternative dar.

Komplexer gestaltet sich die Situation bei der Aufbereitung von Kunststoffgemischen. Grundsätzlich steht die Technik zur sensorgesteuerten Sortierung zur Verfügung und wird vor allem auf Kunststoffgemische (Leichtverpackungen) aus dem Dualen System [24] angewandt. Gemischte Kunststoffe aus dem Gewerbe fallen entweder als Verbundmaterialien oder als Sortierfraktion aus der Behandlung von gemischten Gewerbeabfällen an. Während erstere oftmals sich nur schwer in sortenreine Stoffe auf trennen lassen, weisen letztere häufig ein hohes Maß an Fremdstoffen und Anhaftungen an der Oberfläche auf. Dies erhöht den verfahrenstechnischen Aufwand zur Sortierung und Aufbereitung der Kunststoffe für eine stoffliche Verwertung beträchtlich. Daher besteht in Deutschland kaum eine Nachfrage für die stoffliche Verwertung von verunreinigten und gemischten Kunststoffabfällen minderer

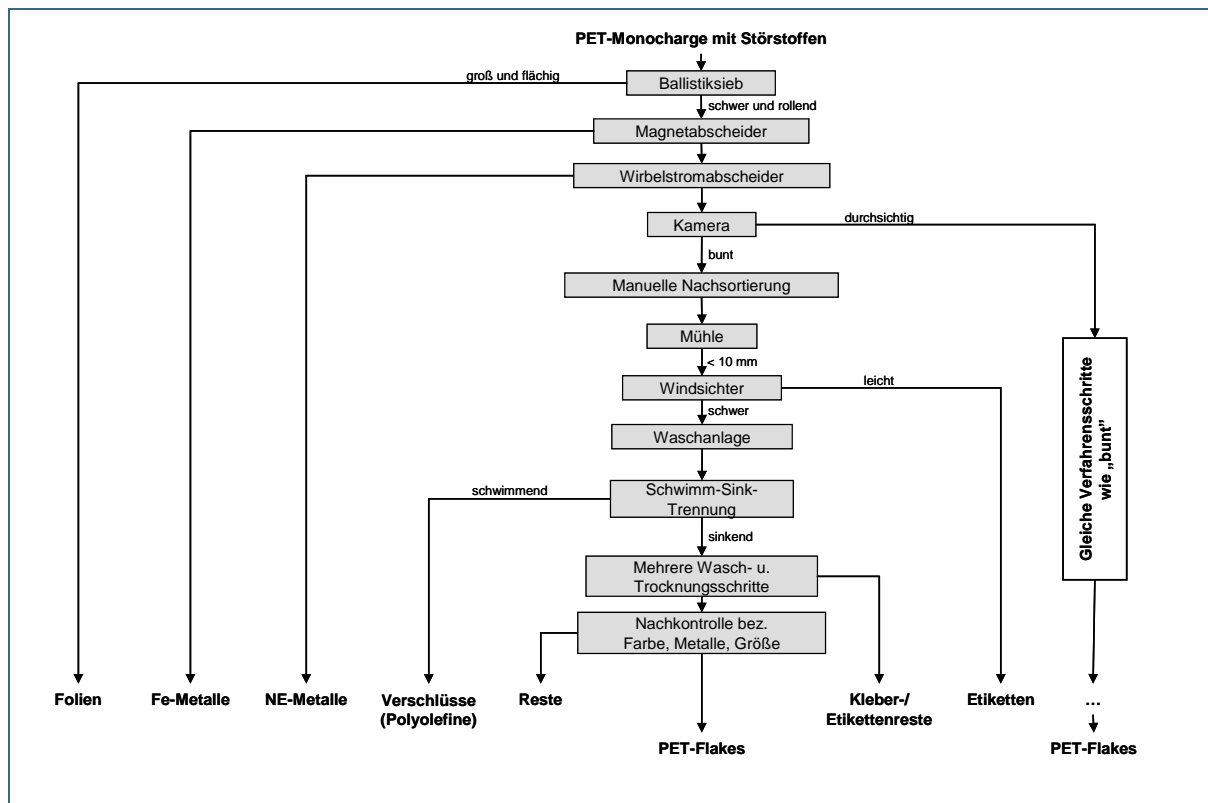


Abb. 9: Schema der Abtrennung von Störstoffen aus einer PET-Monocharge mit KS-VI (Betrieb 10).
 PET: Polyethylenterephthalat.

Qualität sowie Verbunden. Aufgrund ihres hohen Heizwerts gehen o. g. Stoffe überwiegend in die Produktion von Ersatzbrennstoffen. Für die Sortierung setzt beispielsweise der Entsorgungsbetrieb 14 eine Anlagentechnik mittlerer Komplexität ein (vgl. Abb. 10).

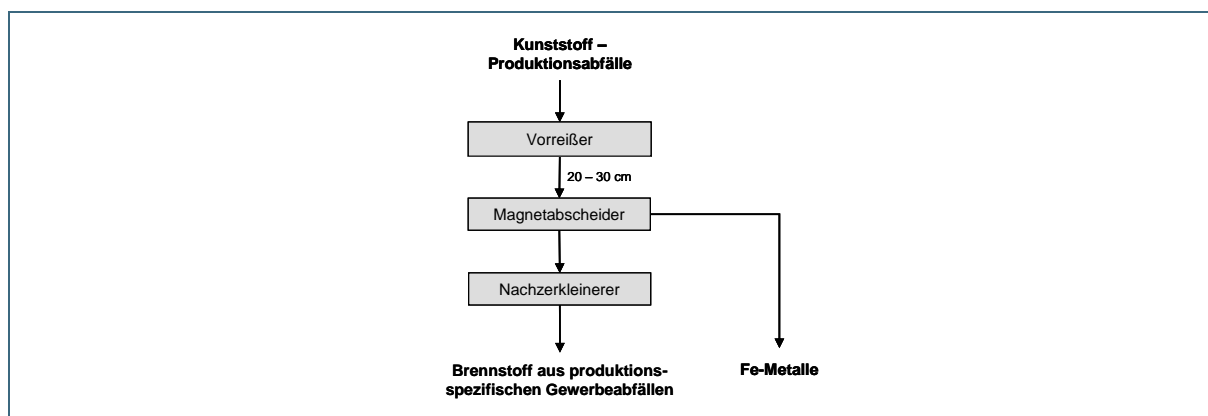


Abb. 10: Schema der Produktion von Brennstoffen aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen (BPG) mit KS-III (Betrieb 14).

Qualitativ minderwertige Kunststoffgemische gehen zur (stofflichen) Verwertung vor allem an Aufbereiter in Asien, speziell nach China. Kunststoffgemische einer höheren Qualität (z. B. Fehlchargen aus der Automobilindustrie) werden durchaus in Deutschland sortiert oder zu Mischkunststoffprodukten verarbeitet.

Altmetalle. Produktionsabfälle liegen i. d. R. sortenrein und frei von störenden Fremdstoffen vor. Altmetalle als Sortierfraktion aus der Behandlung von anderen Abfallgemischen sind oft als Verbund mit anderen Materialien anzutreffen. Die Metalle werden durch den Einsatz von z. B. Baggerscheren und Schweißbrennern oder Querstromzerspanern aus den Verbunden gelöst, um ein sortierfähiges Haufwerk zu bekommen. Mit Magnet- (Fe-Metalle) oder Wirbelstromabscheidern (NE-Metalle) werden die Metalle aussortiert. Ein geringer Anteil von Störstoffen wird beim Einschmelzen des Metallschrotts toleriert.

Altpapier. Den auf Altpapier spezialisierten Entsorgungsfachbetrieben liegt Papier meist nicht sortenrein, sondern als Gemisch aus Zeitungspapier, Kartonagen, Illustrierten und Büropapieren (Papiertonne) vor. Neben der Entfernung von Störstoffen zielt die Behandlung des Papiergemisches auf die Gewinnung der Deinking-Ware (Sorte 1.11 [30]) ab. Als Nebenprodukte fallen Kartonagen (Sorte 1.04) sowie Mischpapier (Sorte 1.02) an. Zur Sortierung setzen die Entsorgungsfachbetriebe entweder auf eine komplexe, mehrstufige Anlagentechnik oder auf eine intensive manuelle Sortierung. Die Abbildung 11 zeigt als Beispiel das Verfahrensschema des Betriebs 2. Die Anlage mit der Komplexitätsstufe KS-VI beinhaltet sowohl mechanisch-physikalische Sortierschritte (Siebe) als auch Nah-Infrarot-Technik (NIR). Die Feinsiebfraktion (F-Mix) wird dem Mischpapier zugeschlagen. Als letzte Qualitätskontrolle für die hochwertige Sorte „Deinking-Papier“ wird manuell nachsortiert (Sortierkabine).

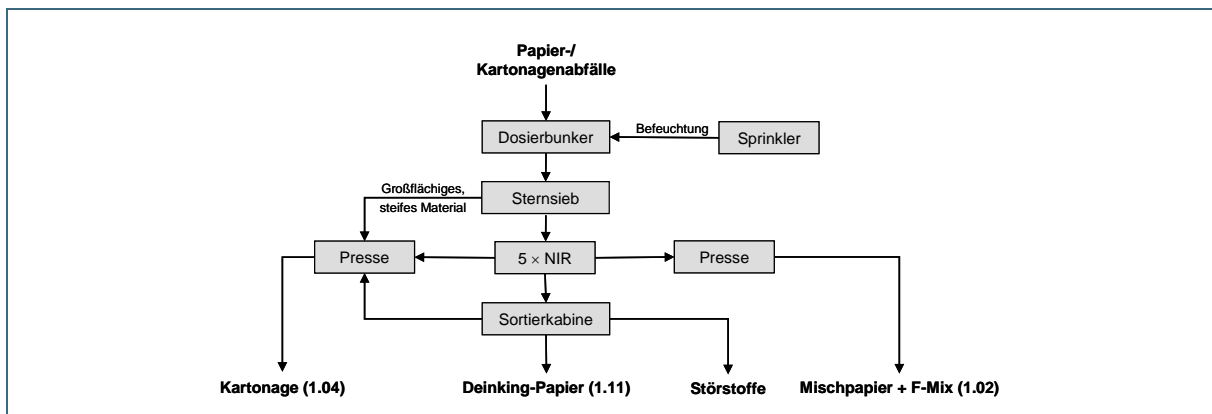


Abb. 11: Schema der Aufbereitung von gemischtem Altpapier mit KS-VI (Betrieb 2).
F-Mix: Feinsiebfraktion; NIR: Nah-Infrarot-Abscheidung.

Behandlung von Abfallgemischen

Neben Monochargen behandeln die Entsorgungsfachbetriebe Gemische aus Abfällen verschiedener Stoffgruppen wie z. B. gemischte Verpackungsabfälle (AVV-Nr. 15 01 06 [10]), gemischte Bau- und Abbruchabfälle (17 09 04) oder gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle (20 03 01).

Im Folgenden werden die gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle detaillierter betrachtet:

Von 41 befragten Entsorgungsfachbetrieben nehmen 29 gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle (= gemischte Gewerbeabfälle) an. Über ein Drittel (34 %) geben die gemischten Gewerbeabfälle – entgegen den Vorgaben der GewAbfV [6] – ohne Behandlung (KS-0) weiter (vgl. Abb. 12), häufig an Müllverbrennungsanlagen. Mehr als drei Viertel (76 %) der Betriebe führen maximal eine oberflächliche Bodensortierung (KS-0, -I) durch. Eine mehrstufige Behandlung (KS-V, -VI) der gemischten Gewerbeabfälle nehmen 17 % der Betriebe vor. Eine zusätzliche manuelle Nachsortierung am Band, die das Sortierergebnis in der Regel signifikant verbessert, findet bei fünf Betrieben statt (Behandlungstechnik von größer KS-II, vgl. Tab. A–1).

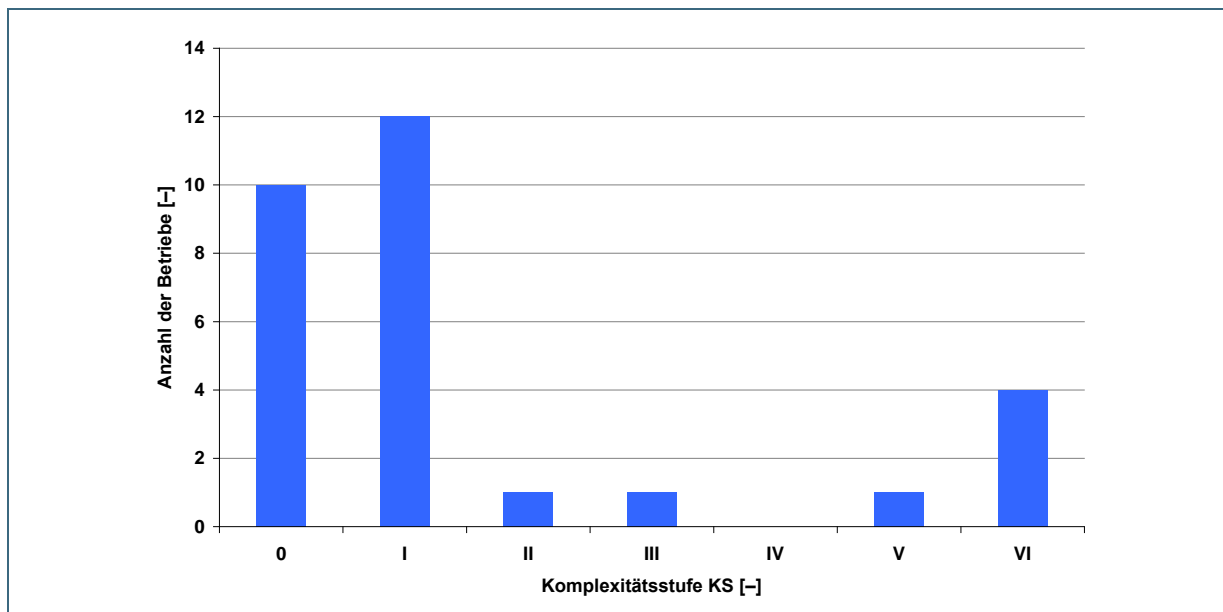


Abb. 12: Behandlungsaufwand für gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle durch die befragten Entsorgungsfachbetriebe (n = 29), dargestellt nach den Komplexitätsstufen nach Abbildung 7.

Entsorgungsfachbetriebe, die Anlagen mit einer niedrigen Komplexitätsstufe (v. a. KS-I) betreiben, entfernen aus dem Konglomerat gemischte Gewerbeabfälle leicht abschöpfbare, großstückige Wertstoffe (z. B. große Plastikhohlkörper, Metall- oder Holzteile, saubere Folien) und geben den Rest an thermische Behandlungsanlagen weiter. Die weitgehende Abschöpfung der enthaltenen Wertstoffe ist dadurch kaum möglich und nicht Ziel dieser Behandlungsmethode.

Fünf Betriebe, die über eine komplexere Anlagentechnik (> KS-III) verfügen, setzten diese in den Jahren 2010/11 aus wirtschaftlichen Gründen nicht ein, sondern beschränkten sich bei den gemischten Siedlungsabfällen auf eine Behandlung der Komplexitätsstufe 0 oder I. Mindestens zwölf der 22 Betriebe mit KS-0 oder -I gaben die gemischten Gewerbeabfälle zur thermischen Verwertung direkt an Abfallverbrennungsanlagen weiter. Dies belegt, dass gemischte Gewerbeabfälle häufig gänzlich ohne bzw. mit nur geringfügiger Behandlung ohne zusätzliche Heizwertbestimmung einer thermischen Verwertung zugeführt werden.

Das Ziel der Behandlung aller befragten Entsorgungsfachbetriebe, die eine komplexere Anlagentechnik zur Sortierung von gemischten Gewerbeabfällen einsetzen, ist die Herstellung von Ersatzbrennstoffen.

Die Abbildung 13 zeigt ein Verfahrensschema der Komplexitätsstufe VI, wie es der Betrieb 17 einsetzt. Neben der Abschöpfung von Wertstoffen wie Fe- und NE-Metalle – im Fall von Betrieb 17 auch Holz – konzentriert sich die Behandlung vor allem auf die Entfernung von Störstoffen. Wichtigster Störstoff ist das weit verbreitete Thermoplast Polyvinylchlorid, das durch seinen hohen Chlorgehalt (57 Mass.-%) in den Verbrennungsanlagen zu Korrosionsschäden führen kann. Die meisten EBS-Anlagen fordern einen Chlorgehalt des Brennstoffs von < 1 Mass.-%. Ziel der Aufbereitung ist es, halogenfreie Kunststoffe wie Polyethylen, -propylen, -styrol etc. aus den gemischten Gewerbeabfällen abzutrennen. Der Betrieb 17 gewinnt neben der hochkalorischen EBS-Fraktion (Heizwert zwischen 25 und 30 MJ/kg_{TM}) eine Fraktion „Mittelkalorik“ mit einem Heizwert zwischen 15 und 20 MJ/kg_{TM}. Fe- und NE-Metalle sowie Holz gehen in die stoffliche Verwertung, die Restfraktion und die aussortierten Störstoffe werden beseitigt (Müllverbrennung, Deponie).

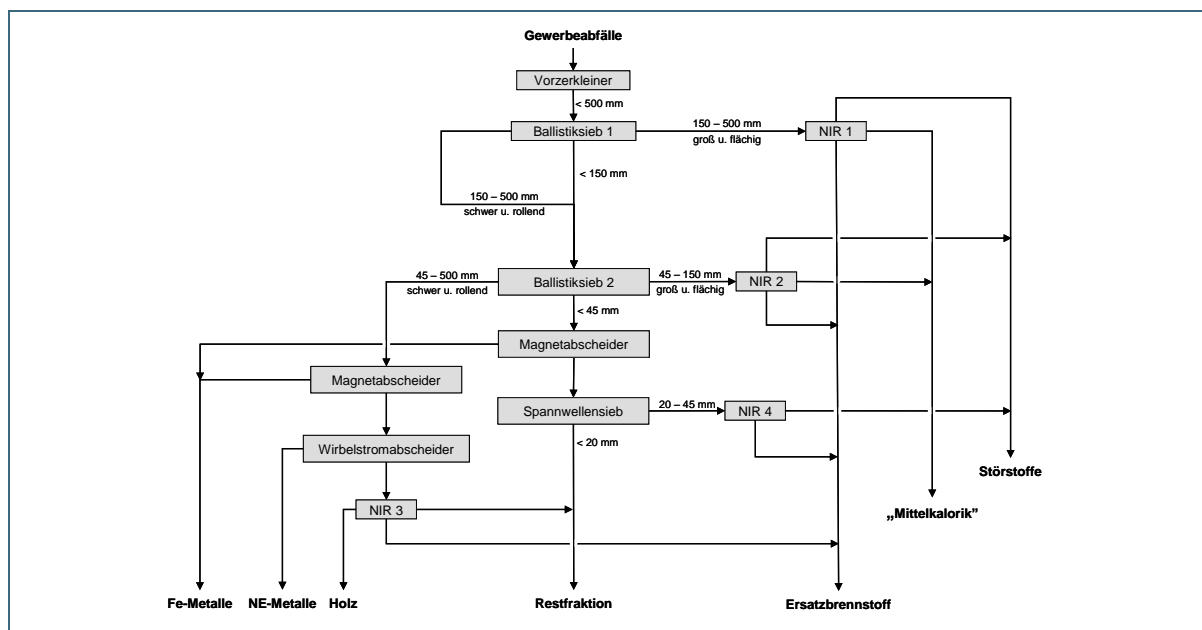


Abb. 13: Schema zur Behandlung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen mit KS-VI (Betrieb 17).
NIR: Nah-Infrarot-Abscheidung.

Auch Papier und Kartonagen, die sich aufgrund des hohen Verschmutzungsgrades im Abfallgemisch für die stoffliche Verwertung nicht eignen, sowie Altholz werden in vielen Betrieben der energetischen Verwertung zugeführt.

4.4 Fazit

Die durchgeführten Erhebungen bei bayerischen Entsorgungsfachbetrieben als Momentaufnahme für die Jahre 2010/11 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Monochargen gehen – nach einem oder mehreren Aufbereitungsschritten – vorwiegend in die stoffliche Verwertung.
- Die Behandlung von gemischten Gewerbeabfällen erfolgt i. d. R. über mehrere Ebenen bei verschiedenen Entsorgungsfachbetrieben.
- Wichtige Stoffströme wie Altholz, BPG, EBS, gemischte Abfälle zur energetischen Verwertung, Papier/Pappe/Kartonage und höherwertige Kunststoffe werden in Bayern oder in angrenzenden Ländern verwertet, minderwertige Kunststoffe gehen vor allem nach China.
- Die Verwerter (stofflich, energetisch) stellen branchenspezifische Anforderungen an die Qualität der Sekundärrohstoffe.
 - Diese Kriterien umfassen Materialeigenschaften wie etwa den Anteil an Fremd- und Störstoffen, die Sortenreinheit, einheitliche optische Eigenschaften oder eine entsprechende Form.
 - Für einige Verwertungsarten werden vom Gesetzgeber oder vom Betreiber der Verwertungsanlage direkt oder indirekt „Grenz“werte vorgegeben.

- Die Behandlung gemischter Gewerbeabfälle zielt primär auf eine energetische Verwertung ab.
 - Die Abschöpfung aller zur stofflichen Verwertung geeigneten Werkstoffe ist – unabhängig von der Komplexität der Abfallbehandlung – sekundär.
 - Der Einsatz komplexerer Sortiertechniken dient vor allem der Anreicherung von heizwertreichem Material für die Produktion von EBS.
 - Bis auf den Energieinhalt gehen damit dem Stoffkreislauf wieder nutzbare Rohstoffe (Recycling, Downcycling) verloren.

5 Ungenutztes Potenzial an Sekundärrohstoffen in behandelten gemischten Gewerbeabfällen (Abfallsortierung)

Die Ortseinsichten innerhalb des Projekts (Zeitraum: 2010/11) lassen bei der teilweise geringen Behandlungstiefe bei der Aufbereitung von gemischten Gewerbeabfällen ein erhebliches Potenzial an Sekundärrohstoffen in den Abfällen erwarten. Eine thermische Behandlung an Stelle einer stofflichen Verwertung stellt deshalb aus Gründen der Nachhaltigkeit mitunter nicht zwingend den optimalen Verwertungsweg dar.

Anhand einer Sortieranalyse von bereits behandelten Gewerbeabfällen wurde deshalb der darin enthaltene Massenanteil an Sekundärrohstoffen untersucht.

5.1 Nachsortierung der behandelten Gewerbeabfälle von ausgewählten Entsorgungsbetrieben

Die Nachsortierung behandelter Gewerbeabfälle fand vom 17. bis 28.10.2011 am Josef-Vogl-Technikum des Bayerischen Landesamtes für Umwelt statt. Sieben bayerische Entsorgungsfachbetriebe (siehe Abb. 3 in Abschnitt 4.1) stellten dafür behandelte Abfälle zur Verfügung, die einer thermischen Behandlungsanlage zugeführt werden sollten. Im Folgenden werden diese Abfälle als „Restabfälle“ bezeichnet. Die jeweiligen Behandlungsschritte der Entsorgungsfachbetriebe wurden dokumentiert und den Komplexitätsstufen nach Abbildung 7 (siehe Abschnitt 4.3.2) zugeordnet.

Vor der Probenahme wurden die stets als Haufwerk gelagerten Restabfälle mit einem Bagger oder Radlader durchmischt. Anschließend wurden bei jedem Entsorgungsfachbetrieb mit dem Bagger 4 – 6 m³ Probenmaterial entnommen, in „Big Bags“ (Volumen 1 m³) verpackt und nach Augsburg transportiert.

Mit Hilfe der Sortieranlage des BayLfU, bestehend aus einem Aufgabeband sowie einer zweistufigen Siebtrommel, wurden insgesamt 3.430 kg Restabfall der sieben Entsorgungsfachbetriebe in Fein- (≤ 10 mm), Mittel- (10 – 40 mm) und Grobfraction (> 40 mm) klassiert. Die Fein- und Mittelfraction wurden über seitlich auslaufende Förderbänder unter der Siebtrommel ausgetragen und in 240 l-Behältern gesammelt. Die Grobfraction gelangte über ein Förderband auf den Sortiertisch. Sie wurde manuell in 31 Einzelfractionen sortiert (Abb. 14). Die Vorgehensweise und die Bezeichnung der Sortierfraktionen lehnten sich an [31] an; dabei werden unter der Stoffgruppe „Organik“ biogene Abfälle verstanden.



Abb. 14: Entnahme großstückiger Bestandteile (Grobfraction) vor der Aufgabe auf das Förderband (links) sowie Sortierung der Grobfraction auf dem Sortiertisch (rechts).

Die Mittelfraktion wurde repräsentativ beprobt und manuell sortiert. Dazu wurde die Mittelfraktion gut durchmischt und eine Teilprobe von mindestens 1 Mass.-% der Mittelfraktion (ca. 10 l) entnommen. Zur Reduzierung des Zeitaufwandes wurden Bestandteile mit einer Kantenlänge < 20 mm mit einem Handsieb klassiert, so dass sich die Sortierergebnisse (20 Stoff- bzw. Untergruppen) der Mittelfraktion auf eine Größenklasse von 20 – 40 mm beziehen.

Nach der Sortierung der gesamten Restabfälle eines Entsorgungsfachbetriebs wurden alle Sortierfraktionen (einschl. Mittel- und Feinfraktion) mit einer Bodenwaage (Genauigkeit 0,01 kg) verwogen.

5.2 Zusammensetzung und Wertstoffpotenzial behandelter Gewerbeabfälle zur energetischen Verwertung

5.2.1 Charakterisierung der überlassenen Abfälle

Die sieben Entsorgungsfachbetriebe (Erstbehandler) stellten die Abfallschlüsselnummern der angelieferten und zur Weiterbehandlung abgegebenen Gewerbeabfälle inklusive der Verwertungsart zur Verfügung; die Behandlungsverfahren wurden anhand eigener Anschauung beurteilt (vgl. Abb. 7).

Tab. 8: Übersicht über die bei den einzelnen Betrieben beprobten gemischten Gewerbeabfälle nach der Erstbehandlung (Output). AVV: Abfallverzeichnis nach [10], KS: Komplexitätsstufe (siehe Abb. 7), MS: manuelle Sortierung am Band.

Betrieb Nr.	Input AVV-Nr.	Behandlungsaufwand		Output AVV-Nr.	Verwertungsart durch Dritte
		KS	MS		
15	20 03 01, 15 01 06	V	ja	19 12 12	thermisch
16	20 03 01	VI	ja	19 12 10	thermisch
17	20 03 01	VI	nein	19 12 12	thermisch
18	15 01 06, 17 09 04	VI	ja	19 12 12	thermisch
21	20 03 01	I	nein	19 12 10	thermisch
25	20 03 01	I	nein	20 03 01	thermisch
38	20 03 01, 15 01 06	0	nein	19 12 12	thermisch

Die Proben stammen von Abfällen, die bei der Erstbehandlung aus folgenden Abfällen entstanden sind (vgl. Tab. 8): (i) gemischte Siedlungsabfälle (AVV-Nr. 20 03 01), daneben (ii) gemischte Verpackungen (15 01 06), (iii) gemischte Bau- und Abbruchabfälle (17 09 04) mit Ausnahme derjenigen, die Quecksilber (17 09 01*), PCB wie z. B. PCB-haltige Dichtungsmassen, Bodenbeläge auf Harzbasis, Isolierverglasungen, Kondensatoren (17 09 02*) und gefährliche Stoffe (17 09 03*) enthalten.

Nach der Behandlung verlassen sie die Entsorgungsfachbetriebe als (i) brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen) – 19 12 10, (ii) sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen – 19 12 12 – mit Ausnahme derjenigen, die gefährliche Stoffe – 19 12 11* – enthalten oder als (iii) gemischte Siedlungsabfälle – 20 03 01. Sie werden von den Abnehmern als Abfälle zur Verwertung angenommen.

Bei drei Betrieben werden die angelieferten Gewerbeabfälle durch eine Anlage höchster Komplexitätsstufe (KS-VI) behandelt, bei einem Betrieb mit Komplexitätsstufe V. Eine zusätzliche manuelle Sortierung vom Band wurde in drei dieser Betriebe durchgeführt. Bei den Betrieben 21 und 25 wurde als Behandlung eine Bodensortierung der Abfälle (KS-I) durchgeführt, der Betrieb 38 gibt die Abfälle ohne Behandlung zur energetischen Verwertung weiter.

5.2.2 Ergebnisse der Sortierung

Der direkte Vergleich der unterschiedlichen Abfallzusammensetzungen erfolgt in Mass.-%. Die angegebenen Mittelwerte wurden nicht nach dem Abfallaufkommen der einzelnen Betriebe gewichtet.

Insgesamt. Die Restabfallzusammensetzung schwankt relativ stark zwischen den einzelnen Entsorgungsfachbetrieben. Verantwortlich dafür sind sowohl die unterschiedliche Zusammensetzung der Gewerbeabfälle vor der Behandlung als auch die unterschiedlichen Behandlungsweisen durch die Entsorger (vgl. Tab. 8). Dies wird auch in den Ergebnissen der Klassierung deutlich: die Grobfraction (Summe Sortierfraktionen) weist im Mittel einen Massenanteil von $72 \pm 14 \%$ (Mittelwert \pm Standardabweichung), die Mittel- bzw. Feinfraktion einen Anteil von $18 \pm 7 \%$ bzw. $11 \pm 7 \%$ auf (vgl. Tab. 9). Im „Extremfall“ machen die beiden Klassierfraktionen gut die Hälfte der Restabfallmasse aus (Betrieb Nr. 16); in den anderen Beispielen bewegen sich die Anteile meist auf dem Niveau der bei Restmüllanalysen aus Haushaltungen festgestellten Werte (rund $\frac{1}{4}$ der Abfallmasse) [32].

Tab. 9: Massenanteile von Fein-, Mittel- und Grobfraction der sortierten Restabfälle aus sieben Entsorgungsfachbetrieben.

Größenklasse	Entsorgungsfachbetrieb Nr.							Bereich
	15	16	17	18	21	25	38	
Feinfraktion (< 10 mm)	4,2 %	22,8 %	6,2 %	11,2 %	3,8 %	18,1 %	8,6 %	3,8 – 22,8 %
Mittelfraktion (10 – 40 mm)	15,2 %	27,7 %	12,2 %	24,0 %	5,8 %	17,6 %	21,3 %	5,8 – 27,7 %
Grobfraktion (> 40 mm)	80,7 %	49,5 %	81,6 %	64,8 %	90,4 %	64,4 %	70,0 %	49,5 – 90,4 %
Behandlungsaufwand								
Komplexitätsstufe (lt. Abb. 7)	V	VI	VI	VI	I	I	0	
Manuelle Sortierung	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	

Einen Überblick über die Zusammensetzung (Klassierfraktionen und Stoffgruppen) der untersuchten Restabfallströme (Mittelwerte) gibt Abbildung 15.

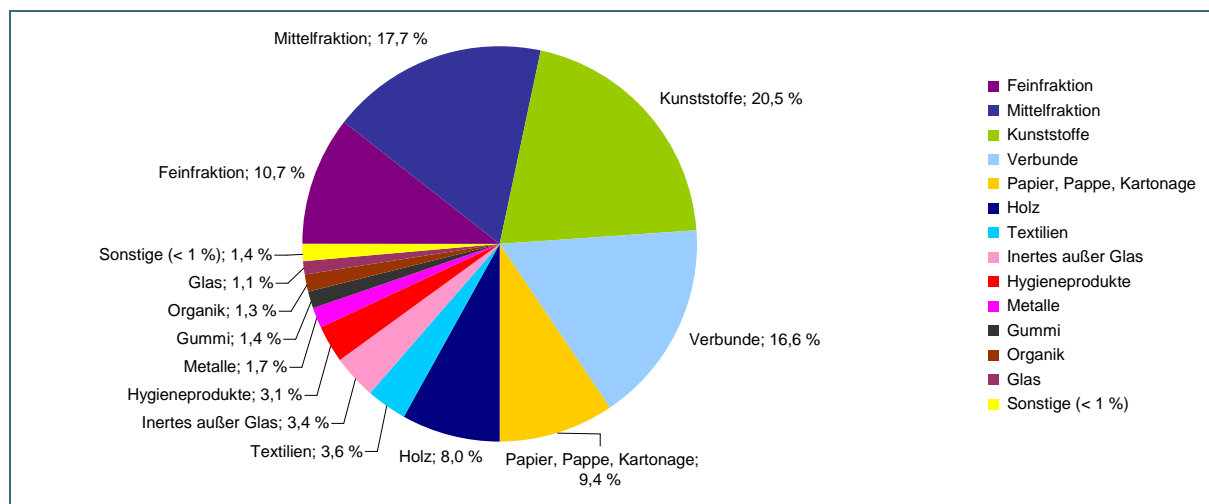


Abb. 15: Zusammensetzung (Mass.-%) der Restabfälle (Mittelwerte).

Neben den oben diskutierten Klassierfraktionen Fein- und Mittelfraktion bilden die heizwertreichen Stoffgruppen Kunststoffe (durchschnittlich $\frac{1}{5}$ der Gesamtmasse), Verbunde ($\frac{1}{6}$), Papier/Pappe/Kartonage ($\frac{1}{10}$) und Holz ($\frac{1}{12}$) die Hauptbestandteile; sie machen insgesamt 83 % der Restabfälle aus.

Tab. 10: Prozentuale Zusammensetzung der sortierten Restabfälle der Entsorgungsbetriebe. MW: Mittelwert.

Stoff- und Untergruppe	Entsorgungsbetrieb Nr.							MW
	15	16	17	18	21	25	38	
Feinfraktion	4,2 %	22,8 %	6,2 %	11,2 %	3,8 %	18,1 %	8,6 %	10,7 %
Mittelfraktion	15,2 %	27,7 %	12,2 %	24,0 %	5,8 %	17,6 %	21,3 %	17,7 %
Kunststoffe	29,9 %	9,0 %	15,5 %	19,0 %	20,1 %	10,7 %	39,4 %	20,5 %
Sonstige Kunststoffartikel	13,9 %	5,1 %	13,5 %	15,0 %	5,1 %	5,4 %	15,0 %	10,4 %
Kunststofffolien transparent	5,6 %	0,9 %	0,3 %	1,4 %	9,9 %	1,8 %	8,8 %	4,1 %
Kunststofffolien bunt / weiß	3,7 %	2,3 %	0,8 %	1,9 %	2,8 %	2,1 %	13,9 %	3,9 %
geschäumter Kunststoff	3,8 %	0,4 %	0,5 %	0,4 %	0,3 %	0,6 %	0,9 %	1,0 %
Styropor	2,6 %	0,1 %	0,4 %	0,1 %	0,1 %	0,6 %	0,4 %	0,6 %
Umreifungsbänder	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	1,8 %	0,1 %	0,4 %	0,4 %
Verbunde	17,6 %	6,9 %	19,5 %	34,5 %	19,9 %	7,1 %	10,8 %	16,6 %
Heizwertreiche Verbunde	12,3 %	6,6 %	17,8 %	30,9 %	14,7 %	5,3 %	9,0 %	13,8 %
Sonstige Verbunde	4,6 %	0,1 %	1,2 %	2,0 %	4,7 %	0,9 %	0,3 %	2,0 %
Metallverbunde	0,7 %	0,2 %	0,5 %	1,6 %	0,4 %	1,0 %	1,5 %	0,8 %
Papier/Pappe/Kartonage	9,2 %	14,1 %	3,8 %	2,4 %	24,3 %	10,1 %	2,1 %	9,4 %
Papier	5,4 %	11,8 %	2,1 %	0,5 %	18,0 %	6,5 %	0,7 %	6,4 %
Pappe, Kartonage	3,9 %	2,4 %	1,7 %	1,9 %	6,3 %	3,6 %	1,4 %	3,0 %
Holz	14,4 %	1,8 %	22,5 %	2,2 %	3,1 %	9,6 %	2,4 %	8,0 %
Pressspanplatten beschichtet	5,4 %	0,7 %	4,9 %	0,0 %	0,0 %	7,3 %	1,2 %	2,8 %
anderes Holz unbeschichtet	4,7 %	0,5 %	14,6 %	1,7 %	1,9 %	1,6 %	1,1 %	3,7 %
Pressspanplatten unbesch.	4,2 %	0,6 %	2,4 %	0,4 %	1,2 %	0,6 %	0,2 %	1,4 %
anderes Holz beschichtet	0,1 %	0,0 %	0,5 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,0 %	0,1 %
Textilien	2,9 %	2,7 %	1,3 %	1,8 %	2,8 %	9,5 %	3,9 %	3,6 %
Inertes außer Glas	2,2 %	2,2 %	13,1 %	0,4 %	0,3 %	5,0 %	0,6 %	3,4 %
Hygieneprodukte	2,0 %	4,3 %	0,2 %	0,5 %	12,3 %	2,3 %	0,3 %	3,1 %
Metalle	0,9 %	1,2 %	1,3 %	0,4 %	0,7 %	2,5 %	5,1 %	1,7 %
Fe-Metalle	0,2 %	0,3 %	0,2 %	0,4 %	0,5 %	1,9 %	4,7 %	1,2 %
NE-Metalle	0,7 %	0,9 %	1,1 %	0,0 %	0,2 %	0,5 %	0,4 %	0,6 %
Gummi	1,0 %	0,7 %	0,9 %	2,6 %	0,8 %	0,2 %	3,7 %	1,4 %
Organik	0,1 %	2,1 %	1,3 %	0,0 %	3,2 %	2,5 %	0,0 %	1,3 %
Glas	0,1 %	3,3 %	0,8 %	0,0 %	0,5 %	2,5 %	0,5 %	1,1 %
Behälterglas	0,0 %	3,3 %	0,1 %	0,0 %	0,4 %	2,0 %	0,5 %	0,9 %
Sonstiges Glas	0,1 %	0,0 %	0,6 %	0,0 %	0,0 %	0,4 %	0,0 %	0,2 %
Elektronikschrott	0,2 %	0,3 %	1,2 %	0,2 %	0,5 %	1,3 %	0,8 %	0,6 %
Sonstige Stoffe	0,1 %	1,0 %	0,0 %	0,8 %	0,1 %	0,4 %	0,1 %	0,4 %
Problemabfall	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	1,5 %	0,7 %	0,2 %	0,4 %
Faserreiche Baustoffe	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,5 %	0,1 %	0,2 %	0,3 %
Batterien	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,4 %	0,0 %	0,1 %
Medikamente	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %
Sonderabfall	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Tierkadaver	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Behandlungsaufwand								
Komplexitätsstufe (lt. Abb. 7)	V	VI	VI	VI	I	I	0	
Manuelle Sortierung	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	

Die manuelle Sortierung der Grobfraction der verschiedenen Reststoffströme aus den sieben Entsorgungsfachbetrieben lieferte die in Tabelle 10 dargestellten Werte.

Es fällt auf, dass Abfallfraktionen, die gemäß GewAbfV [6] in den Vorbehandlungsanlagen zertifizierter Entsorgungsfachbetriebe auszusortieren sind, in relativ hohen Anteilen in den Reststoffströmen enthalten sind. Diese Aussage gilt insbesondere für die Stoffgruppen

- Kunststoffe (durchschnittlich $\frac{1}{5}$ der Gesamtmasse)
- Papier/Pappe/Kartonage ($\frac{1}{10}$)
- Holz ($\frac{1}{12}$),

während die Stoffgruppen

- Metalle
- Organik
- Glas

mehr oder minder unabhängig vom Behandlungsaufwand mit Durchschnittswerten < 2 % auftreten.

Die Kunststofffraktion besteht im Durchschnitt zur Hälfte aus der Untergruppe Sonstige Kunststoffartikel und zu $\frac{2}{5}$ aus Kunststofffolien.

Mittelfraktion. Die klassierten Mittelfractionen (Größenklasse 20 – 40 mm) wurden manuell in 20 Stoff- und Untergruppen sortiert (Ergebnisse vgl. Tab. 11). Die Stoffgruppen Verbunde, Holz, PPK und Glas wurden aus Zeitgründen nicht weiter unterteilt.

In Abbildung 16 ist die mittlere Zusammensetzung der Mittelfraktion dargestellt. Die Hauptmasse mit knapp 54 % bilden Kunststoffe und die mineralischen Fraktionen Inertes und Glas. Die weiteren Sortierfraktionen bewegen sich im einstelligen Prozentbereich.

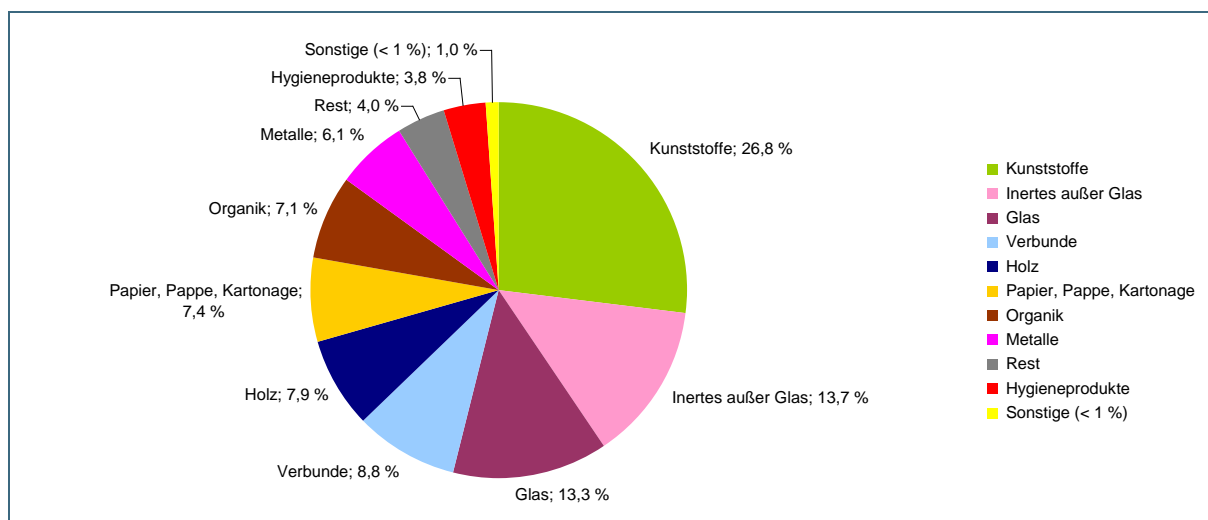


Abb. 16: Zusammensetzung (Mass.-%) der Mittelfraktion (20 – 40 mm), gemittelt über die untersuchten Stoffströme aus sieben Entsorgungsfachbetrieben.

Die Tabelle 11 gibt einen differenzierten Einblick in die einzelnen Sortierergebnisse.

Tab. 11: Prozentuale Zusammensetzung der Mittelfraktion (20 – 40 mm) der sortierten Restabfälle der Entsorgungsbetriebe. MW: Mittelwert.

Stoff- und Untergruppen	Entsorgungsfachbetrieb Nr.							MW
	15	16	17	18	21	25	38	
Kunststoffe	31,1 %	5,4 %	22,4 %	24,8 %	39,7 %	13,4 %	51,2 %	26,8 %
Sonstige Kunststoffartikel	19,6 %	3,7 %	18,9 %	22,2 %	36,1 %	11,6 %	29,6 %	20,3 %
Kunststofffolien bunt / weiß	2,5 %	0,8 %	0,8 %	0,2 %	0,4 %	0,1 %	9,8 %	2,1 %
Kunststofffolien transparent	3,7 %	0,5 %	0,2 %	0,3 %	0,1 %	0,3 %	7,3 %	1,8 %
Styropor	2,6 %	0,4 %	1,8 %	0,9 %	0,1 %	0,7 %	1,6 %	1,2 %
geschäumter Kunststoff	1,3 %	0,1 %	0,6 %	1,1 %	2,8 %	0,4 %	0,9 %	1,0 %
Umreifungsbänder	1,4 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,2 %	0,1 %	2,0 %	0,5 %
Inertes außer Glas	4,6 %	10,0 %	27,3 %	25,2 %	2,8 %	25,9 %	0,0 %	13,7 %
Glas	0,0 %	44,4 %	8,6 %	11,7 %	2,7 %	20,9 %	5,0 %	13,3 %
Verbunde	10,8 %	5,5 %	9,7 %	13,1 %	9,0 %	3,6 %	10,0 %	8,8 %
Holz	20,3 %	0,7 %	10,3 %	9,3 %	5,3 %	8,2 %	1,0 %	7,9 %
Papier/Pappe/Kartonage	16,3 %	11,5 %	4,1 %	3,0 %	4,5 %	9,5 %	2,6 %	7,4 %
Organik	0,8 %	11,0 %	14,3 %	1,3 %	16,7 %	5,8 %	0,2 %	7,1 %
Metalle	0,3 %	1,2 %	0,5 %	3,0 %	7,6 %	8,8 %	21,6 %	6,1 %
Fe-Metalle	0,0 %	0,1 %	0,4 %	0,9 %	5,0 %	5,1 %	21,2 %	4,7 %
NE-Metalle	0,3 %	1,1 %	0,1 %	2,1 %	2,5 %	3,7 %	0,4 %	1,5 %
Rest	7,7 %	1,4 %	1,3 %	2,9 %	6,4 %	0,8 %	7,0 %	4,0 %
Hygieneprodukte	7,1 %	7,3 %	1,1 %	3,6 %	3,7 %	2,8 %	1,3 %	3,8 %
Elektronikschrott	1,0 %	1,7 %	0,2 %	1,9 %	1,5 %	0,2 %	0,0 %	0,9 %
Problemabfall	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,1 %	0,2 %	0,1 %	0,0 %	0,1 %
Faserreiche Baustoffe	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,1 %	0,2 %	0,1 %	0,0 %	0,1 %
Batterien	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Medikamente	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Behandlungsaufwand								
Komplexitätsstufe (lt. Abb. 7)	V	VI	VI	VI	I	I	0	
Manuelle Sortierung	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	

Die Ergebnisse belegen, dass die Mittelfraktion der „gemischten“ Abfallströme

- bei den Entsorgungsfachbetrieben, die die Gewerbeabfälle mit geringem Aufwand behandeln, mitunter einen hohen Anteil an Kunststoffen und Metallen,
- bei sämtlichen Entsorgungsfachbetrieben keine Batterien und im Bereich von kleiner 2 Prozent kleinteiligen Elektronikschrott

enthält. Die Kunststoffe in der Mittelfraktion werden überwiegend von den Sonstigen Kunststoffartikeln gebildet, wogegen kleinteilige Kunststofffolien und -verpackungsmaterialien kaum vertreten sind.

Gehalte an ungenutzten bzw. nicht optimal genutzten Sekundärrohstoffen

Sämtliche bei der Sortieranalyse untersuchten Restabfälle waren für die thermische Behandlung bestimmt. Die brennbaren Anteile des Abfallkonglomerats werden dabei energetisch genutzt {Kraft-(Wärme-)Kopplung} und dem Wertstoffkreislauf entzogen. Bei der Betrachtung der Restabfallzusammensetzung fällt auf, dass sowohl die Grob- als auch die Mittelfraktion Stoffgruppen enthalten, für die eine thermische Behandlung hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit mitunter nicht den optimalen Verwertungsweg darstellt.

Im Folgenden werden für die wichtigsten Wertstofffraktionen die Vor- und Nachteile der thermischen Verwertung kurz angesprochen:

- E-Schrott:** Elektro- und Elektronikaltgeräte enthalten erhebliche Mengen an Wertstoffen wie sortenreine Kunststoffe und Metalle. Darunter befinden sich auch hochwertige und für Innovationstechnologien relevante Rohstoffe wie z. B. Gold, Silber und Seltene Erden. Bei der thermischen Behandlung werden die Kunststoffe oxidiert (Gaspfad), während die Metalle in der Verbrennungsasche verbleiben.
- Glas:** Das Recycling von Hohlglas (= Behälterglas) erspart erhebliche Mengen an Primärrohstoffen (u. a. Quarzsand, Soda, Kalkstein, Dolomitstein) und an Primärenergie, wodurch CO₂-Emissionen vermieden werden [33].
- Kunststoffe:** Bei dieser Stoffgruppe weist die stoffliche gegenüber der energetischen Verwertung eine höhere Energieeffizienz auf [34, 23]; Voraussetzung dafür ist, dass die Kunststoffe sortenrein in der geforderten Qualität vorliegen. Insgesamt wird die stoffliche Verwertung von Kunststoffen als weniger klimaschädlich eingestuft [23].
- Metalle:** Obwohl Fe- und NE-Metalle bei der thermischen Behandlung keinen nennenswerten Beitrag zur Energiegewinnung liefern, werden beim Verbrennungsprozess „Anhaftungen“ (Isolierungen, Beschichtungen etc.) „weg“oxidiert. Die oberflächlich oxidierten Metalle gehen in die Verbrennungsasche und werden nachträglich abgeschieden. Eine direkte Abschöpfung der Metalle aus den Restabfällen wäre aber nach [23] aus Sicht der Ressourcen- und Energieeffizienz höherwertiger.
- Organik:** Die thermische Behandlung biogener Abfälle (hoher Wassergehalt, d. h. niedriger Heizwert) ist kein optimaler Entsorgungsweg, berücksichtigt aber zumindest hygienische Aspekte. Die stofflichen Verwertungsverfahren haben sich bewährt und tragen auch dem Klimaschutz Rechnung, insbesondere wenn sie wie die Vergärung den Energieinhalt nutzen [23, 35, S. 122].
- PPK:** Ökologische Vorteile der stofflichen gegenüber der energetischen Verwertung sind eine höhere Energieeffizienz und die daraus resultierende Reduzierung der CO₂-Emissionen sowie ein verringerter Prozesswasserbedarf und die reduzierte Abwassermenge [36].

In Tabelle 12 sind die aus den Sortieranalysen berechneten Wertstoffanteile angegeben. Sie beinhalten alle oben genannten Stoffgruppen zuzüglich Metallverbunde; sonstiges Glas und Altholz blieben unberücksichtigt. Bezüglich des Klimaschutzes schneidet das stoffliche und energetische Recycling von Altholz in etwa gleich ab [37], was auch im § 4 (Hochwertigkeit der Verwertung) der AltholzV [25] zum Ausdruck kommt.

Tab. 12: Prozentuale Wertstoffgehalte (Masse) der Grob- und Mittelfractionen sowie der Restabfälle_{gesamt} laut Sortieranalysen (ohne sonstiges Glas und Altholz).

Fraktion	Entsorgungsbetrieb Nr.						
	15	16	17	18	21	25	38
Grobfraktion (> 40 mm)	46 %	60 %	28 %	36 %	55 %	47 %	69 %
Mittelfraktion (20 – 40 mm)	50 %	75 %	50 %	46 %	73 %	59 %	81 %
Restabfälle _{gesamt}	49 %	51 %	30 %	31 %	54 %	40 %	67 %

Die Sortieranalysen zeigen, dass die aus den gemischten Gewerbeabfällen entstandenen Restabfälle $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ an stofflich verwertbaren Materialien enthalten (vgl. Tab. 12). Über alle Entsorgungsbetriebe gemittelt stammten etwa $\frac{3}{4}$ (57 – 92 %) aus der Grob- und etwa $\frac{1}{4}$ (8 – 43 %) aus der Mittelfraktion. Die Mittelfraktion wies einen Wertstoffanteil von 46 – 81 %, die Grobfraktion von 28 – 69 % auf. Kunststoffe waren die Stoffgruppe mit dem höchsten Massenanteil innerhalb der Wertstoffe.

Qualität der aussortierten Sekundärrohstoffe

Für eine spätere stoffliche Verwertung ist der Verschmutzungsgrad entscheidend.

Bei der gemeinsamen Erfassung der Gewerbeabfälle in den Betrieben infiltrieren andere Abfallstoffe wie z. B. Bioabfälle (die laut GewAbfV [6] nicht in den gemischten Gewerbeabfällen enthalten sein dürfen), nicht vollständig entleerte Getränkebecher oder -flaschen das Altpapier. Dieses wird feucht und verliert dadurch seine ursprüngliche Form. Außerdem nimmt es unterschiedliche Gerüche an, die sich im Aufbereitungsprozess oftmals schwer eliminieren lassen. In dieser Form (vgl. Abb. 17 links) ist das aussortierte Gemisch unterschiedlichster Papier- und Kartongesorten stofflich kaum verwertbar, wie uns in diversen Gesprächen bestätigt worden ist.



Abb. 17: Aus gemischten Gewerbeabfällen abgetrennte Fraktionen: Papier/Pappe/Kartonage (links), transparente Kunststofffolien (Mitte), Sonstige Kunststoffe (rechts).

Im Unterschied dazu spielen Verschmutzungen bei separierten Kunststoffen einer Sorte (vgl. Abb. 17 Mitte) bei der stofflichen Verwertung eine untergeordnete Rolle, beeinflussen aber durchaus den zu erzielenden Erlös. Auch das Kunststoffgemisch „Sonstige Kunststoffe“ (vgl. Abb. 17 rechts) lässt sich nach Expertenaussage durchaus stofflich verwerten (Downcycling).

5.3 Limitierende Faktoren bei der Wertstoffabschöpfung

Der Wertstoffanteil in den Restabfällen der Entsorgungsfachbetriebe ist mit Werten zwischen 30 und 67 % relativ hoch (vgl. Tab. 12). Die Abhängigkeit von der Behandlungsintensität bei den einzelnen Betrieben zeigt Abbildung 18.

Wie erwartet, geht der Wertstoffanteil in den Restabfällen mit steigender Behandlungskomplexität zurück. Die Streuung innerhalb einer Komplexitätsstufe ist in der unterschiedlichen Zusammensetzung der zu behandelnden Gewerbeabfälle sowie in den eingesetzten Verfahrenstechniken innerhalb einer Komplexitätsstufe, evtl. ergänzt durch eine manuelle Sortierung, begründet.

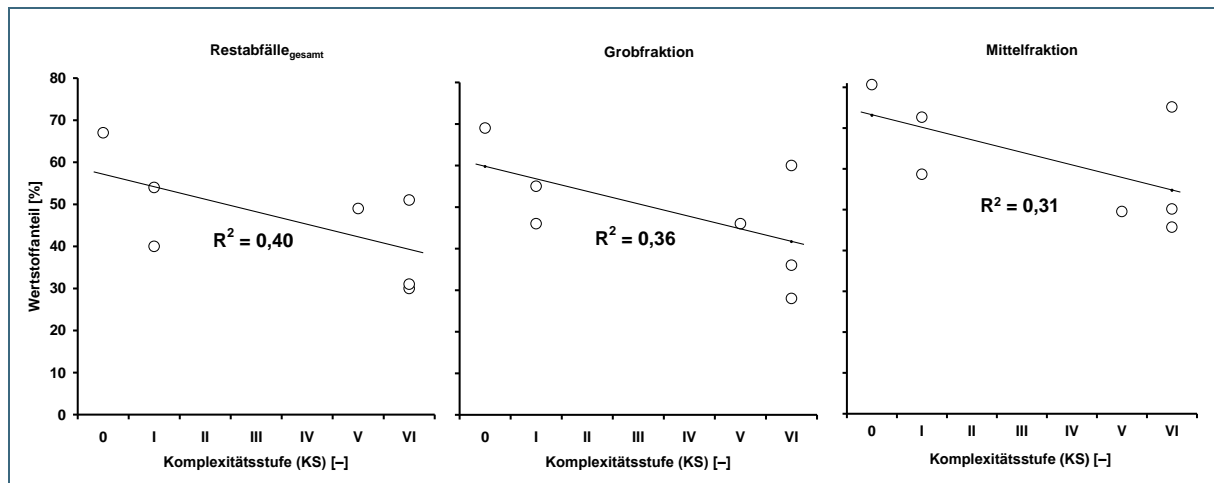


Abb. 18: Wertstoffanteil in Abhängigkeit von der Komplexitätsstufe (vgl. Abb. 7) der Behandlung der gemischten Gewerbeabfälle in den gesamten Restabfällen sowie in den Klassierfraktionen Grob- und Mittelfraktion.

Durch eine weitere Steigerung der Behandlungsintensität bei den Entsorgungsfachbetrieben, wie es im Extremfall die durchgeführte Sortieranalyse (vgl. Abschnitte 5.1 und 5.2) darstellt, würden die Wertstoffe nicht in die Restabfälle gelangen. In der Praxis wurde uns von Vertretern der Entsorgungsbranche eine Erhöhung der Abschöpftrate durch Steigerung der Behandlungsintensität oftmals als wirtschaftlich unrentabel dargestellt. Diese Aussage wird beispielhaft an den uns zur Verfügung gestellten Daten des Entsorgungsfachbetriebs 21 überprüft (siehe Tab. 13).

Ausgangspunkt bilden die Wertstofflöse, die durch den Verkauf vermarktbarer Wertstoffe vom Entsorgungsfachbetrieb erzielt werden können. Berücksichtigt wurden dabei die Wertstoffe der sortierten Grobfraktion der Restabfälle mit Ausnahme der Stoffgruppe PPK; diese wurde aufgrund des Verschmutzungsgrads (vgl. 5.2.2) als nicht vermarktbar eingestuft. Die Untergruppen der Stoffgruppe Holz sind in der Mischkategorie (A I – A III) zusammengefasst. Bei den Kunststoffen wurden die „Umreifungsbänder“ den „Sonstigen Kunststoffen“ zugeschlagen; bei den Metallen besteht die Stoffgruppe „Fe-Schrott“ aus den Untergruppen „Metallverbunde“ und „Fe-Metalle“.

Die Angaben für Erlöse und Kosten (Stand Dezember 2011) stammen vom Entsorgungsfachbetrieb 21. Im Vergleich zu den Ergebnissen eigener Recherchen ist das Zahlenmaterial als plausibel einzustufen. Die Position Behandlungskosten beinhaltet die zur Vermarktung notwendige Aufbereitung von bereits sortierten Wertstoffen (z. B. Zerkleinerung, Kompaktierung) und beschränkt sich auf die Kunststoffe. Mischholz, Kunststofffolien und Styropor können ab Lager verkauft werden; bei den anderen Stoffgruppen ist eine Lieferung frei Haus notwendig, um die Sekundärrohstoffe auf dem Markt unterzubringen. Die Angaben zum Wertstoffanteil im Restabfall beziehen sich auf die Sortierergebnisse der gemischten Siedlungsabfälle des Entsorgungsfachbetriebs 21 (vgl. Abschn. 5.2.2).

Tab. 13: Erlöse und Kosten der Wertstoffe aus der Grobfraktion der Restabfälle des Entsorgungsbetriebs 21. k. A.: keine Angabe.

Stoff- oder Untergruppe	Wertstoff- erlös	Behandlungs- kosten	Saldo aus Erlös und Behandlungskosten	Transport- kosten
Altholz				
Mischholz (A I – A III)	0 €/Mg	0 €/Mg	0 €/Mg	0 €/Mg ¹⁾
Elektronikschrott	0 €/Mg	0 €/Mg	0 €/Mg	-20 €/Mg
Glas				
Behälterglas	0 €/Mg	0 €/Mg	0 €/Mg	-15 €/Mg
Sonstiges Glas	0 €/Mg	0 €/Mg	0 €/Mg	-15 €/Mg
Kunststoffe				
Sonstige Kunststoffartikel	0 €/Mg	k. A.	0 €/Mg	-30 €/Mg
Kunststofffolien bunt / weiß	120 €/Mg	-45 €/Mg	75 €/Mg	0 €/Mg ¹⁾
Kunststoff geschäumt	150 €/Mg	-45 €/Mg	105 €/Mg	-40 €/Mg
Styropor	300 €/Mg	-45 €/Mg	255 €/Mg	0 €/Mg ¹⁾
Kunststofffolien transparent (98/2)	350 €/Mg	-45 €/Mg	305 €/Mg	-30 €/Mg
Metalle				
Fe-Schrott	160 €/Mg	0 €/Mg	160 €/Mg	-15 €/Mg
NE-Metalle	1.250 €/Mg	0 €/Mg	1.250 €/Mg	-15 €/Mg

¹⁾ ab Lager

Die Aufstellung (vgl. Tab. 10, Entsorgungsbetrieb Nr. 21) zeigt, dass die Wertstoffe (wegen Verschmutzung ohne Papier/Pappe/Kartonage) ¼ der Grobfraktion der Restabfälle ausmachen. Für etliche Wertstoffe – v. a. Kunststoffe und Metalle – kann trotz der Behandlungskosten ein positiver Saldo aus Erlös und Gesamtkosten erzielt werden. Zum Reinerlös von 31,28 €/Mg Restabfälle trägt aufgrund eines Anteils von knapp 10 Mass.-% zu über 85 % die Stoffgruppe „Transparente Kunststofffolien“ bei.

Für die thermische Behandlung der gemischten Gewerbeabfälle in einer Müllverbrennungsanlage werden ca. 75 €/Mg verlangt (Stand Dezember 2011), vgl. Tabelle 14.

Tab. 14: Kosten/Erlös-Vergleich für die Entsorgung (thermische Behandlung ohne/mit Abschöpfung der Wertstoffe) der Restabfälle (Grobfraktion) aus der Behandlung der gemischten Gewerbeabfälle am Beispiel des Zahlenmaterials des Entsorgungsbetriebs 21.

		Masse	Kosten/Erlös	Saldo	Delta
Therm. Restabfallbehandlung	Restabfall _{gesamt}	1,00 Mg	-75,00 €	-75,00 €	
Therm. Restabfallbehandlung	Erforderlicher Sortieraufwand ¹⁾	1,00 Mg	-55,56 €		
./. vermarktbar Wertstoffe	Wertstoffe	0,25 Mg	31,28 €		
	Restabfall	0,75 Mg	-56,06 €	-80,34 €	-5,34 €

¹⁾ Sortierdauer 4 Stunden, Stundensatz 13,89 €

Die Abschätzung der Kosten für die Abtrennung der Wertstoffe aus den Resten der behandelten gemischten Gewerbeabfälle basiert auf der durchgeführten Abfallsortierung. Insgesamt wurden 391,25 kg Restabfälle des Betriebs 21 klassiert und die Grobfraktion durch drei Sortierkräfte in ca. drei Stunden sortiert. Die Auftrennung von einem Mg Restabfälle würde mit der hier angewandten Sortiertiefe (31 Untergruppen) 23 Mannstunden dauern. Die Positiv-Sortierung der 11 vermarktbar Wertstofffraktionen (vgl. Tab. 13) sollte demgegenüber deutlich schneller vonstatten gehen. In Anbetracht der Positiv-Sortierung mit reduziertem Sortierkatalog, einem Wertstoffanteil von

Saldo aus Erlös und Gesamtkosten	Wertstoffanteil im Restabfall	Reinerlös/Kosten	Stoff- oder Untergruppe
Altholz			
0 €/Mg	3,13 %	0,00 €/Mg ¹⁾	Mischholz (A I – A III)
-20 €/Mg	0,52 %	-0,10 €/Mg ¹⁾	Elektronikschrott
Glas			
-15 €/Mg	0,45 %	-0,07 €/Mg ¹⁾	Behälterglas
-15 €/Mg	0,01 %	-0,00 €/Mg ¹⁾	Sonstiges Glas
Kunststoffe			
-30 €/Mg	6,94 %	-2,08 €/Mg ¹⁾	Sonstige Kunststoffartikel
75 €/Mg	2,78 %	2,09 €/Mg ¹⁾	Kunststofffolien bunt / weiß
65 €/Mg	0,35 %	0,23 €/Mg ¹⁾	geschäumter Kunststoff
255 €/Mg	0,08 %	0,21 €/Mg ¹⁾	Styropor
275 €/Mg	9,91 %	27,24 €/Mg ¹⁾	Kunststofffolien transparent (98/2)
Metalle			
145 €/Mg	0,90 %	1,31 €/Mg ¹⁾	Fe-Schrott
1.235 €/Mg	0,20 %	2,46 €/Mg ¹⁾	NE-Metalle
	25,25 %	31,28 €/Mg ¹⁾	Gesamt

¹⁾ Restabfall

25 % in der Grobfraktion und einer Optimierung sämtlicher Arbeitsabläufe wird von einem absoluten Mindestzeitaufwand von 4 Mannstunden ausgegangen. Als Personalkosten (inkl. Arbeitgeberanteil) werden 2.500 € angesetzt, woraus sich bei einer Regelarbeitszeit von 180 Stunden pro Monat Kosten von 13,89 €/h ergeben. Bei einer Sortierdauer von 4 Stunden errechnet sich ein finanzieller Aufwand für den Entsorgungsbetrieb von 55,56 €/Mg. In diesem Beispiel ließe sich durch die Einzelvermarktung pro Mg aussortierter Wertstoffe ein Erlös von 31,28 € erzielen, vgl. Tabelle 13. Zusätzlich verringert sich durch die Abschöpfung der Wertstoffe die thermisch zu behandelnde Restabfallmasse. Hierfür reduzieren sich die aufzuwendenden Kosten von 75,00 € auf 56,06 €. In Summe ergeben sich für die thermische Behandlung bei Abschöpfung der Wertstoffe Behandlungskosten von 80,34 €, die um 5,34 € über den Kosten der thermischen Behandlung der gesamten Restabfälle liegen (siehe Tab. 14).

Dieses Beispiel anhand der Marktsituation Ende des Jahres 2011 zeigt, wie eng der Kostenrahmen für einen Entsorgungsbetrieb ist, um über das bisherige Maß hinaus Wertstoffe aus den gemischten Gewerbeabfällen abzutrennen. Diese Aussage ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass es sich um eine konservative Kostenschätzung handelt, bei der der zusätzliche Aufwand für Anlageninvestitionen und -abschreibungen, Infrastruktur, Energiebedarf etc. unberücksichtigt blieb. Ebenso fehlt in der Betrachtung der zu tätige Aufwand, um möglichst nicht verschmutzte Wertstofffraktionen dem Sekundärrohstoffmarkt anzubieten.

Dieses Ergebnis bestätigte auch die Mehrzahl der befragten Entsorgungsfachbetriebe, solange sich die Kosten für die thermische Abfallbehandlung von gemischten Gewerbeabfällen auf diesem niedrigen Niveau bewegen. Diese Gegebenheit wird anhand Abbildung 19 verdeutlicht. Darin sind die Kosten für den erforderlichen Sortieraufwand anhand obigem Zahlenbeispiel in Abhängigkeit der Kosten für die thermische Behandlung dargestellt. Eine fiktive Erhöhung der Kosten für die thermische Behandlung um 100 € ließe um ca. 25 € erhöhte Kosten für die Sortierung der Restabfälle zu. Ob dieser Betrag für die Rentabilität ausreicht, bleibt dahingestellt.

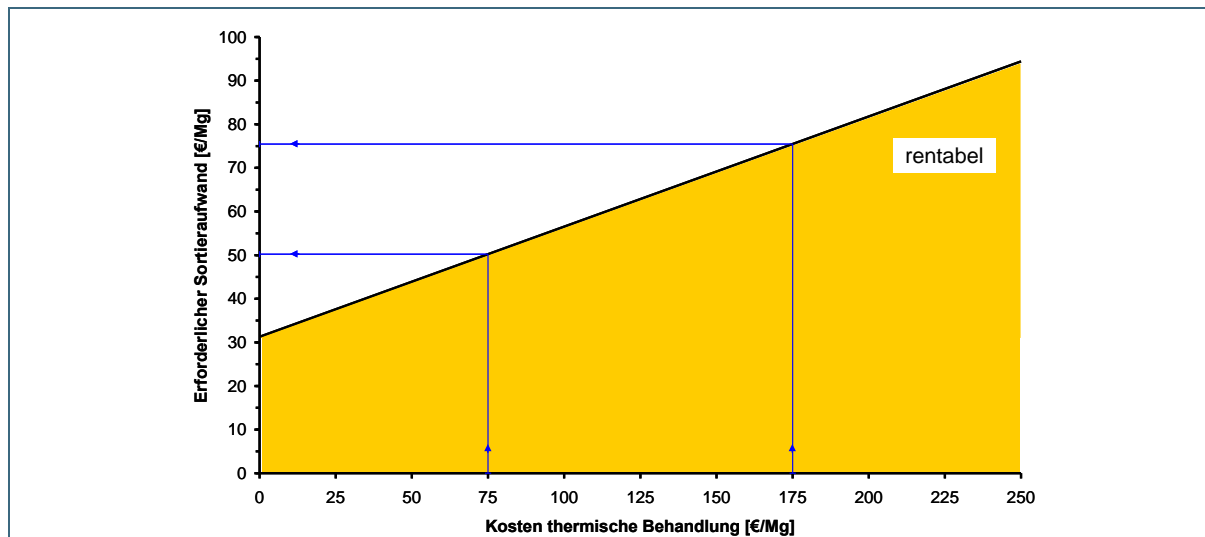


Abb. 19: Grafische Darstellung (Daten laut Tab. 14) der Abhängigkeit der Kosten für den erforderlichen Sortieraufwand von den Kosten für die thermische Behandlung der Restabfälle am Beispiel des Entsorgungsfachbetriebs 21.

5.4 Fazit

Die Sortieranalyse der aus den behandelten gemischten Gewerbeabfällen entstandenen Restabfälle von sieben Entsorgungsfachbetrieben belegt, dass

- der Wertstoffanteil insgesamt zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ der Restabfallmasse ausmacht. In der Grobfraktion (> 40 mm) liegt er in einem vergleichbaren Bereich, in der Mittelfraktion (sortierter Anteil: 20 – 40 mm) deutlich höher. Kunststoffe bilden die Stoffgruppe mit dem höchsten Masseanteil.
- eine Abschöpfung der Wertstoffe aus der Grobfraktion der Restabfälle im Vergleich zur thermischen Behandlung des Abfallgemisches dann rentabel ist, wenn die Differenz zwischen Sortieraufwand und erzielbarem Erlös aus der Vermarktung der Wertstoffe kleiner dem Produkt aus Wertstoffanteil und thermischen Behandlungskosten ist.
- bei den derzeitigen Preisen von 75 €/Mg für die thermische Behandlung eine weitergehende Aufbereitung nicht rentabel ist.

6 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

In den vorigen Abschnitten wurde deutlich, dass eine weitergehende Wertstoffabschöpfung aus den gemischten Gewerbeabfällen möglich ist. Dafür, dass dem nicht so ist, gaben die befragten Entsorgungsbetriebe folgende Gründe an: Im Zuge der Wirtschaftskrise 2008 hätten (i) die erzielbaren Erlöse für Sekundärrohstoffe massiv nachgegeben und (ii) sich die thermische Entsorgung der gemischten Gewerbeabfälle aufgrund zunehmender thermischer Behandlungskapazitäten stark verbilligt. Eine Abschöpfung der Wertstoffe sei derzeit wirtschaftlich wenig rentabel. Im Folgenden wird die Preisentwicklung für Sekundärrohstoffe sowie für die thermische Behandlung gemischter Gewerbeabfälle näher betrachtet.

Das Einsetzen der Wirtschaftskrise im Herbst 2008 hatte nach der Überhitzung der Märkte gravierende Auswirkungen auf den Sekundärrohstoffmarkt. Mit dem globalen Rückgang der industriellen Produktion brach die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen massiv ein und die Preise stürzten ab [38]. Davon waren besonders Altpapier und Altkunststoffe betroffen.

Als Reaktion auf die wirtschaftliche Entwicklung gingen im Januar 2009 die Preise für diese Sekundärrohstoffe stark zurück

Papier. Für Altpapier als gemischte Ballen wurden im Januar 2009 kaum noch Erlöse erzielt (vgl. Abb. 20), während für die Deinking-Ware die Preise auf ein Niveau von 40 €/Mg fielen (vgl. Abb. 21). Im Jahr 2010 erholte sich der Markt für Altpapier, so dass bis zur stärker werdenden €-Krise im Jahr 2011 das Preisniveau vor der Wirtschaftskrise 2008 erreicht werden konnte.

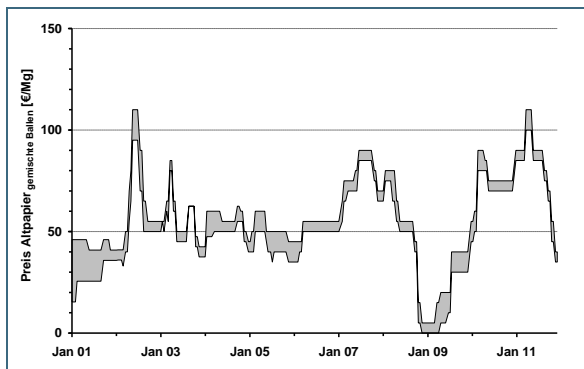


Abb. 20: Bandbreite der Preisentwicklung in den Jahren 2001 bis 2011 für Altpapier als gemischte Ballen (Daten aus [39]).

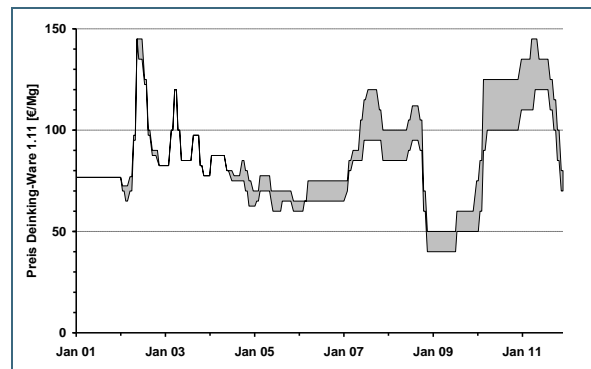


Abb. 21: Bandbreite der Preisentwicklung in den Jahren 2001 bis 2011 für Deinking-Ware (Daten aus [39]).

Kunststoffe. Auch bei den Kunststoffen zeigte sich der Preisverfall, der im Januar 2009 seinen Tiefpunkt erreichte. Während in dem dargestellten Zeitraum für Kunststofffolien aus Polyethylen (PE) stets positive Erlöse erzielt wurden (vgl. Abb. 22), waren für Kunststoff-Hohlkörper aus Hochdruck-PE (HDPE) zeit-/teilweise Zuzahlungen für die Unterbringung auf dem Sekundärrohstoffmarkt notwendig (vgl. Abb. 23). Die Preise erholten sich im Jahr 2010, wobei bei den Kunststofffolien das Preisniveau der Jahre 2005/2006 nicht mehr erreicht werden konnte.

Im Unterschied zum Papier ist bei den Kunststoffen (v. a. Hohlkörper-Ware) die Preisspanne deutlich ausgeprägter.

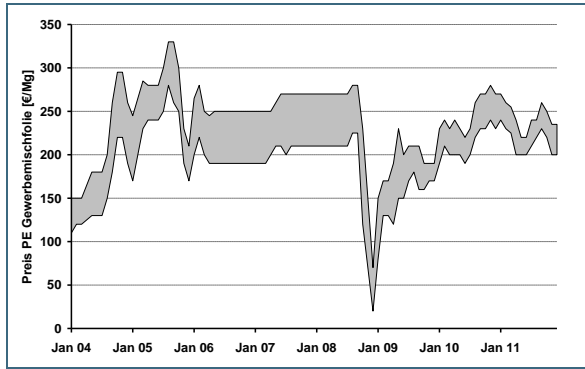


Abb. 22: Bandbreite der Preisentwicklung in den Jahren 2004 bis 2011 für PE Gewerbeschfolie 90/10 (Daten aus [39]).

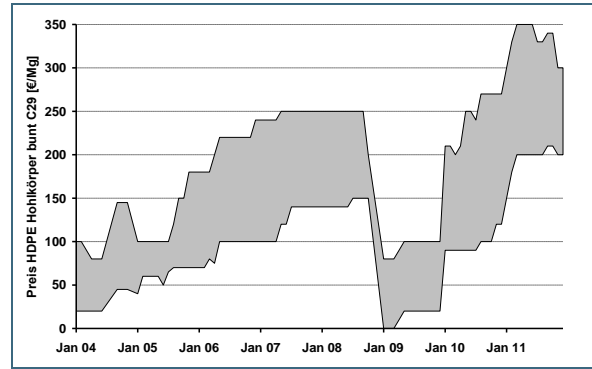


Abb. 23: Bandbreite der Preisentwicklung in den Jahren 2004 bis 2011 für HDPE Hohlkörper C29 (Daten aus [39]).

Metalle. Der Preis für Altmetalle verzeichnete kurz vor Beginn der Wirtschaftskrise in QIII 2008 einen starken Anstieg, wie der Verlauf des durchschnittlichen Schrottpreisindex der europäischen Industrienationen für die Jahre 2001 bis 2012 verdeutlicht (vgl. Abb. 24). Mit der Wirtschaftskrise brach der Index stark ein, um sich ab Ende 2009 deutlich zu erholen.

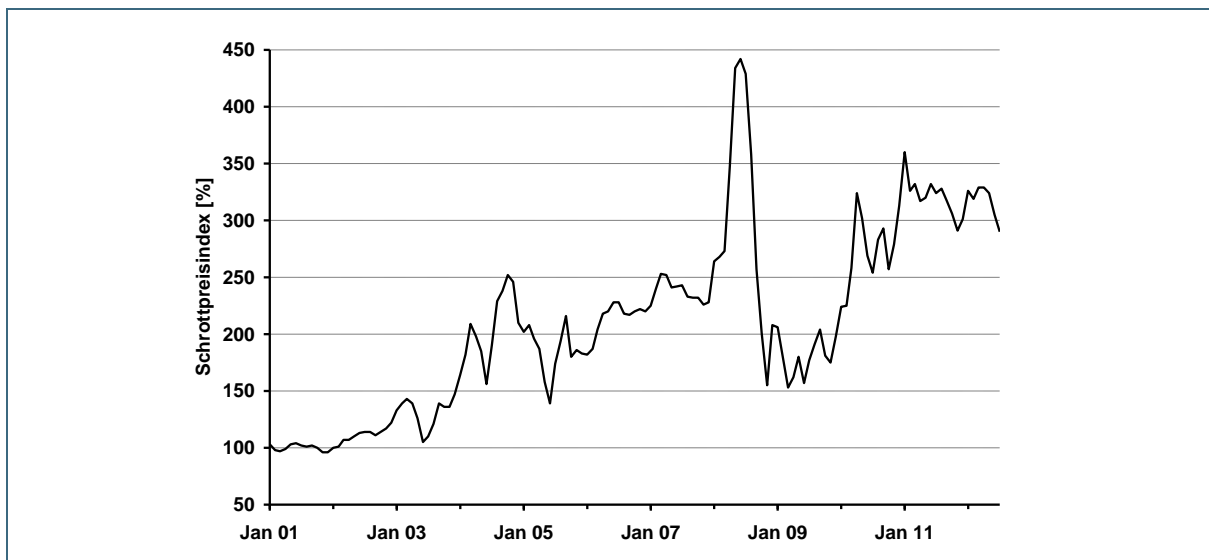


Abb. 24: Entwicklung des Schrottpreisindex (2001 = 100 %) der Jahre 2001 bis 2012, berechnet anhand der Durchschnittspreise der europäischen Industrienationen Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien und Spanien [40].

Altholz. Im Vergleich zu den extremen Schwankungen bei Altpapier, Altkunststoffen und Altmetallen beeinflusste die wirtschaftliche Entwicklung die Preise für Altholz zur stofflichen und energetischen Verwertung kaum (vgl. Abb. 25 und Abb. 26). Das Preisniveau blieb zwischen 2004 und 2009 in etwa gleich, erst ab 2010 ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Für kontaminiertes Altholz zur energetischen Verwertung sind teilweise keine Zuzahlungen mehr zu leisten.

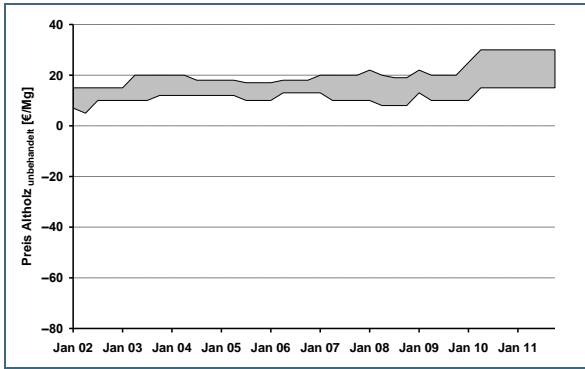


Abb. 25: Bandbreite der Preisentwicklung frei Verwerter in den Jahren 2002 bis 2011 für vorgebrochenes (0 – 300 mm), unbehandeltes Altholz im süddeutschen Raum (Daten aus [39]).

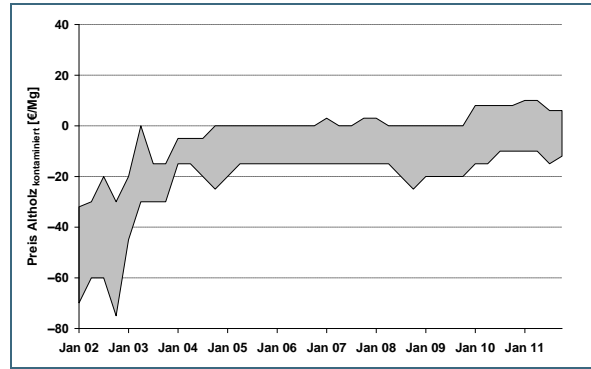


Abb. 26: Bandbreite der Preisentwicklung frei Verwerter in den Jahren 2002 bis 2011 für vorgebrochenes (0 – 300 mm), kontaminiertes Altholz im süddeutschen Raum (Daten aus [39]).

Die vier Beispiele zeigen, dass die Preise für Sekundärrohstoffe starken Schwankungen unterliegen. Die Volatilität ist z. B. bei Papier, Kunststoffen und Metallen stark von der weltwirtschaftlichen Lage (geprägt von den Entwicklungen in Europa, den USA sowie in den BRIC-Staaten) und dem jeweiligen Konsumklima abhängig. Auf diese Entwicklungen hat die Entsorgungswirtschaft zeitnah zu reagieren, um die Existenz der Betriebe nicht zu gefährden.

Einen wesentlichen Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb von Behandlungs-, vor allem von Sortieranlagen, üben die Annahmepreise der thermischen Behandlungsanlagen für gemischte Gewerbeabfälle aus. Im vergangenen Jahrzehnt wurde die Kapazität an thermischen Behandlungsanlagen erweitert; insbesondere wurde der Ausbau von thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit dem Haupteinsatzstoff Ersatzbrennstoff (EBS) seit 2005 vorangetrieben. So waren Ende 2011 in Deutschland nach [41] Kapazitäten von 4,56 Mio. Mg installiert, wie Abbildung 27 zeigt. Nach [42] war in Deutschland bereits im Jahr 2009 eine Verbrennungsüberkapazität zu verzeichnen. Unter diesen Gegebenheiten ist davon auszugehen, dass sich die Kosten für die thermische Behandlung kaum erhöhen werden.

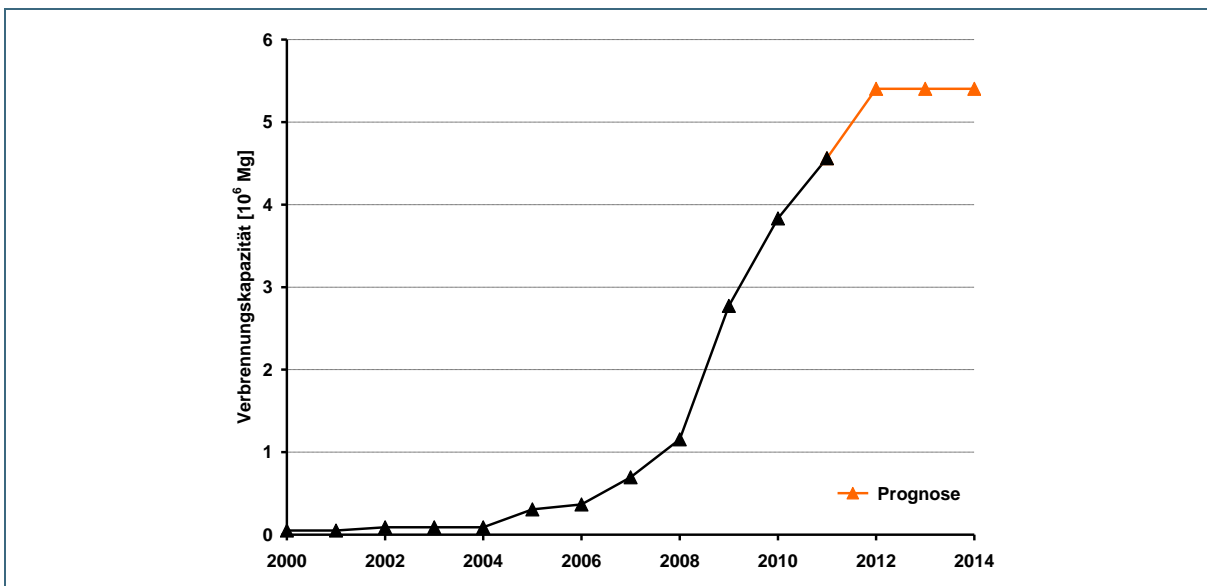


Abb. 27: Entwicklung der Kapazität der thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit Ersatzbrennstoff (mittel- und hochkalorische Fraktion) in Deutschland [41]; Prognose: Kapazität der im Dezember 2011 in Bau befindlichen Anlagen.

Mit der Kapazitätserweiterung ging ein Preisrückgang für die Annahme von Gewerbeabfall zur thermischen Behandlung einher. Während die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen im Jahr 2005 bundesweit zwischen 70 und 340 €/Mg kostete [43], konnten Gewerbeabfälle 2011 am Spotmarkt bereits für 35 – 100 €/Mg entsorgt werden [44].

Die Zahlen zur wirtschaftlichen Entwicklung auf dem Sekundärrohstoffmarkt der letzten Jahre bestätigen die Aussagen der befragten Entsorgungsbetriebe. Sowohl der Rückgang des Preisniveaus auf dem Sekundärrohstoffmarkt als auch die niedrigen Preise für die thermische Behandlung führen weg vom stofflichen Recycling, da heizwertreiche Abfälle wie Kunststoffe kostengünstiger verbrannt als für die stoffliche Verwertung aufbereitet werden [38].

7 Zusammenfassung

Der Bericht gibt einen Einblick in die Entsorgungssituation für gemischte Gewerbeabfälle in Bayern – etwa 0,5 Mio. Mg/a – in den Jahren 2010/2011.

Dazu wurden knapp 70 zertifizierte Entsorgungsfachbetriebe – die meisten verfügen über eine eigene Behandlungsanlage – und fünf Verwertungsbetriebe (drei Betriebe verwerten stofflich, zwei energetisch) von Sekundärrohstoffen aus Gewerbeabfällen befragt.

Dank der Kooperationsbereitschaft der Mehrzahl der befragten Betreiber konnten (i) die Betriebsdaten (Mitarbeiterzahl etc.) erfasst, (ii) Stoffstrombilanzen eingesehen, (iii) die Abnehmer der Outputfraktionen abgefragt und (iv) die Anlagentechnik zur Abfallbehandlung besichtigt und dokumentiert werden. Zudem wurden von sieben Entsorgungsfachbetrieben die für die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen bestimmten Restabfälle von bereits behandelten gemischten Gewerbeabfällen auf die im Abfallgemisch verbliebenen Sekundärrohstoffe mittels einer Sortieranalyse untersucht. Relevante Sekundärrohstoffgehalte in den Restabfällen lassen Rückschlüsse auf die Behandlungsintensität zu. Wenn die im gemischten Gewerbeabfall enthaltenen Sekundärrohstoffe intensiv genug abgetrennt werden, sollte in den Restabfällen mindestens eine Fraktion gänzlich fehlen.

Ein wichtiger Aspekt des Vorhabens war die Frage, welcher Verwertungsart – stofflich oder energetisch – die Gewerbeabfälle nach deren Behandlung zugeführt werden und was dafür die entscheidenden (Qualitäts)kriterien sind. Inwieweit sich die in Folge der Wirtschafts- und der Europäischen Staatsschuldenkrise erzielten Ergebnisse als Momentaufnahme auf die gesamte Entsorgungsbranche übertragen oder verallgemeinern lassen, war nicht Gegenstand des Vorhabens.

Die uneinheitliche Zuordnung von Abfällen zu Abfallschlüsselnummern durch die verschiedenen Akteure (Abfallerzeuger, -besitzer, -makler, -entsorger etc.) bringt es mit sich, dass die Abfallströme im Detail kaum nachvollzogen und nachverfolgt werden können.

Eine zusätzliche Schwierigkeit bei der Untersuchung von (gemischten) Gewerbeabfällen ist, dass die chargenweise und zeitversetzte Abarbeitung der an den Behandlungsanlagen ankommenden Abfallströme keine eindeutige Zuordnung des Anlagenoutputs zum Input mehr zulässt und die unterschiedlichen Chargen der diversen Anlieferer zu starken zeitlichen Schwankungen in der Zusammensetzung der Abfallströme führen.

Die Analyse der Stoffstrombilanzen und der Behandlungsweisen durch die Entsorgungsfachbetriebe bzw. Behandler zeigt, dass eine *Vorsortierung bei den abfallerzeugenden Gewerbebetrieben der entscheidende Faktor für den weiteren Verwertungsweg* – stofflich oder energetisch – ist.

An der „mehrstufigen Behandlung“ des gemischten Gewerbeabfalls sind in der Regel mehrere Entsorgungsfachbetriebe beteiligt, wobei sich der genaue Weg bis zum Verwertungsbetrieb kaum nachvollziehen lässt. Je nach Geschäftsmodell und den momentanen wirtschaftlichen Randbedingungen (Nachfrage, Angebot) ist die Behandlungstiefe in den einzelnen Betrieben recht verschieden.

(Quasi)homogene Abfall-Monochargen werden meist durch darauf spezialisierte Entsorgungsfachbetriebe für die stoffliche Verwertung durch geeignete Behandlungsschritte (z. B. Zerkleinern, Kompaktieren etc.) vorbereitet. Der Verwerter der Sekundärrohstoffe schließt mit der Herstellung neuer Produkte den Stoffkreislauf.

Den als gemischte Gewerbeabfälle in den Entsorgungsfachbetrieben ankommenden Abfällen werden die für die stoffliche oder energetische Verwertung geeigneten Inhaltsstoffe entzogen. Jeder dritte der befragten Betriebe, die gemischte Gewerbeabfälle behandeln, setzt auf eine komplexere Anlagentechnik wie z. B. NIR-Verfahren. Eine weitgehende Auftrennung in die ursprünglichen Stoffströme, wie

sie die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) fordert, findet dennoch kaum statt. Falls das Abfallgemisch mehrstufig behandelt wird, dient dies meist zur Gewinnung von (Ersatz)brennstoffen.

Falls keine Behandlung, sondern nur ein Umschlag der gemischten Gewerbeabfälle durch den Entsorgungsfachbetrieb erfolgt, gehen die Abfallgemische entsprechend ihrem Heizwert in thermische Abfallbehandlungsanlagen als Abfall zur Verwertung (≥ 11 MJ/kg) oder Beseitigung (< 11 MJ/kg). Da aus Kostengründen in der Regel vor Ort keine Heizwertbestimmung repräsentativer Mischproben erfolgt, handelt es sich hierbei um eine formale Einstufung, die auch unter Kostengesichtspunkten zu sehen ist.

Die Betrachtung der Zusammensetzung der bei den Entsorgungsfachbetrieben ankommenden Gewerbeabfallmassenströme führt zu dem Ergebnis, dass die Abfallerzeuger (\equiv Gewerbebetriebe) und/oder die zuständigen Behörden die Vorgaben der GewAbfV – Getrennthaltung, gemischte Gewerbeabfälle ohne Organikbestandteile – zu wenig beachten. Dies ist sicherlich den vielen Ausnahmeregelungen (Zumutbarkeit) der GewAbfV geschuldet.

Die durchgeführten Sortieranalysen der behandelten, zur thermischen Verwertung bzw. Beseitigung bestimmten Restabfälle zeigten, dass ein bis zwei Drittel der Abfallmasse stofflich verwertbare Sekundärrohstoffe – Elektro-/Elektronikaltgeräte, Behälterglas, Kunststoffe, Metalle/-verbunde, Organik (= biogene Abfälle), Papier/Pappe/Kartonage – sind. Diese Aussage gilt, wenn man die Verschmutzung der einzelnen Stoffgruppen bei einer gemeinsamen Erfassung außer Acht lässt. Kunststoffe wiesen dabei den höchsten Masseanteil auf. Dieses Ergebnis belegt, dass in der Praxis die Möglichkeiten der Wertstoffabschöpfung aus Abfallgemischen nicht konsequent ausgeschöpft werden, wie sie das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) gefordert hat und das in 2012 in Kraft getretene Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) verstärkt fordert.

Auch wenn man aus der Analyse des Restabfalls nicht auf die Zusammensetzung des Gewerbeabfallgemisches zurückschließen kann, sind die in den Restabfällen gefundenen Gehalte an Kunststoffen, Papier und Pappe sowie Holz ein deutliches Indiz dafür, dass die Vorgaben der GewAbfV zur Aussortierung von enthaltenen Wertstoffen unzureichend eingehalten werden.

So war bei keinem der besichtigten Entsorgungsfachbetriebe eine den Vorgaben der GewAbfV genügende Auftrennung der gemischten Gewerbeabfälle in die einzelnen Wertstofffraktionen (gleiche Menge, stoffliche Reinheit) festzustellen. Als Grund gaben die Entsorgungsfachbetriebe wirtschaftliche Gründe an; vor allem der zum Zeitpunkt der Untersuchung von den Verbrennungskapazitäten (EBS-Kraftwerke, Müllverbrennungsanlagen) ausgehende Preisdruck und die zu erlösenden Sekundärrohstoffpreise ließen aus Kostengründen eine weitere Aufbereitung, sprich Auftrennung der Gewerbeabfälle in die Wertstofffraktionen nicht zu. Der schmale Bereich, um die Gewerbeabfallbehandlung kostenmäßig gewinnbringend durchzuführen, wurde anhand der damaligen Preissituation verdeutlicht.

Fazit

Aufgrund der festgestellten Situation und der damit einhergehenden Defizite ist der Umsetzung der GewAbfV bei den Gewerbebetrieben verstärkt Beachtung zu schenken. Um den bei der Abfallentsorgung mit einer fünfstufigen Abfallhierarchie gesetzlich verankerten Zielen näher zu kommen, sind die Ausnahmetatbestände der GewAbfV auf das Wesentliche zu beschränken. Dadurch würde das Gewerbe nicht anders als Privathaushalte hinsichtlich der Trennung der Abfälle am Ort der Entstehung behandelt. Die sich ständig fortentwickelnden ökobilanziellen Methoden stellen Bewertungsinstrumente zur Verfügung, wie unter Abwägung der verschiedenen Gesichtspunkte der ökologisch beste Entsorgungsweg für die einzelnen Stoffströme aussieht. Dabei gilt es in den Köpfen zu verankern, dass nichtmineralische Abfälle nicht nur Energieträger, sondern ein Konglomerat aus teilweise endlichen Rohstoffen sind.

Danksagung

Unser verbindlicher Dank gilt den Verantwortlichen der Entsorgungsfachbetriebe, die unserem Anliegen, die Situation der Gewerbeabfallentsorgung zu erfassen, positiv gegenüberstanden und uns dabei tatkräftig durch informative Gespräche, Ortseinsichten etc. unterstützt haben. Sie haben damit die Grundlage für die Bearbeitung des Vorhabens gelegt.

Ebenso danken wir den Verantwortlichen im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, die das Vorhaben befürwortet, finanziell gefördert und begleitet haben.

Anhang

Tab. A-1: Übersichtsdaten der besuchten oder per Telefon (mit ☎ indiziert) kontaktierten Entsorgungsfachbetriebe: Tätigkeitsschwerpunkt, angenommene Abfallmassen inkl. prozentuale Aufteilung auf einzelne Gewerbeabfallarten (unvollständig), Komplexitätsstufe der Abfallbehandlung.

Betrieb-Nr.	Tätigkeitsschwerpunkt	Input [Mg/a]	Ausgewählte Fraktionen, deren Anteil am Gesamtinput sowie Komplexitätsstufe (KS) der Behandlung		
			Fraktion	Anteil	KS
1	Altpapiersortierung	k. A.	Papier, Kartonage	k. A.	VI ¹⁾
			gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
2	Altpapiersortierung	125.000	Papier, Kartonage	95 %	VI ¹⁾
			gemischte Gewerbeabfälle, Schrott, Altholz	5 %	0
3 [☎]	Altpapiersortierung	110.000	Papier/Pappe/Kartonage	91 %	k. A.
			gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	I
4	Altpapiersortierung	30.000	Papier/Pappe/Kartonage	99 %	II ¹⁾
			gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
			sonstige Abfälle	1 %	II
5	Altpapiersortierung	66.761	Papier/Pappe/Kartonage	88 %	VI ¹⁾
			Verpackung Kunststoff	11 %	I
			gemischte Gewerbeabfälle	0,1 %	0
6	Altpapiersortierung, Altholz- und Bauabfallaufbereitung	300.000	Altholz	17 %	V
			Papier/Pappe/Kartonage	17 %	IV ¹⁾
			gemischte Gewerbeabfälle	3 %	I
7 [☎]	Aufbereitung Altholz	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	I
8	Aufbereitung Altglas	130.000	Altglas	100 %	VI
			gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
9	Aufbereitung Kunststoff und Kunststoffhandel	35.000	Alt-Kunststoff	100 %	IV
			gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
10	Aufbereitung PET	130.000	gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
			Alt-PET	100 %	VI ¹⁾
11 [☎]	Aufbereitung mineralischer Bauschutt	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
			Baumischabfälle	k. A.	0
			mineralischer Bauschutt	k. A.	III
12	Aufbereitung Schrott	31.350	Eisenmetalle	57 %	II
			Papier, Kartonage	31 %	II
			gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
13	BPG-Produktion	25.000	Bau- und Abbruchabfälle	5 %	I
			Produktionsabfälle	100 %	III
			gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
14	BPG-Produktion	50.000	Produktionsabfälle	73 %	III
			Kunststoffe Duales System	14 %	III
			Rejekte aus Papierherstellung	13 %	VI
			gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–

¹⁾ mit manueller Nachsortierung

Tab. A–1 (Forts.): Übersichtsdaten der besuchten oder per Telefon (mit ☎ indiziert) kontaktierten Entsorgungsbetriebe: Tätigkeitsschwerpunkt, angenommene Abfallmassen inkl. prozentuale Aufteilung auf einzelne Gewerbeabfallarten (unvollständig), Komplexitätsstufe der Abfallbehandlung.

Betrieb-Nr.	Tätigkeitsschwerpunkt	Input [Mg/a]	Ausgewählte Fraktionen, deren Anteil am Gesamtinput sowie Komplexitätsstufe (KS) der Behandlung		
			Fraktion	Anteil	KS
15	EBS-Produktion aus gemischten Gewerbe- und Bauabfällen, Altholzaufbereitung	381.253	Altholz	45 %	V
			Bauschutt	28 %	k. A.
			Sperr-, Gewerbe- und Baumüll	18 %	V ¹⁾
16	EBS-Produktion aus gemischten Gewerbe-, Bau- und Abbruchabfällen sowie Sperrmüll, Altholzaufbereitung	116.798	Bau- und Abbruchabfälle	52 %	VI ¹⁾
			Altholz	16 %	V
			Papier, Kartonage	12 %	0
			gemischte Gewerbeabfälle	5 %	VI ¹⁾
17	EBS-Produktion aus gemischten Gewerbeabfällen	71.313	Gewerbeabfälle	60 %	VI ¹⁾
			EBS-Vormaterial	16 %	k. A.
			gemischte Verpackungen	7 %	k. A.
18	EBS-Produktion aus gemischten Gewerbe-, Produktions- und post-consumer Verpackungsabfällen	40.000	gemischte Gewerbeabfälle	6 %	VI ¹⁾
			Produktionsabfälle	k. A.	III
			post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	III
19	EBS-Produktion aus gemischten Gewerbeabfällen	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	VI ¹⁾
20	Wertstoffe aus Monochargen	k. A.	Wertstoffgemische, Monofraktionen	k. A.	I
21	Entsorgung, Altpapiersortierung	27.447	Papier, Kartonage	36 %	II ¹⁾
			gemischte Gewerbeabfälle	24 %	I (IV ¹⁾)
			Altholz	17 %	I
22	Entsorgung	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	II (V ¹⁾)
			Monochargen	k. A.	II
			Vorsortierte Abfälle STF	k. A.	VI
23	Entsorgung	37.353	Papier/Pappe/Kartonage	27 %	I
			Bau- und Abbruchabfälle	25 %	I
			Glas	17 %	I
			gemischte Gewerbeabfälle	4 %	I
24	Entsorgung	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	I (IV ¹⁾)
25	Entsorgung	799	gemischte Gewerbeabfälle	100 %	I (IV ¹⁾)
26	Entsorgung	74.052	gemischte Gewerbeabfälle	11 %	I
27	Erdbewegung, -transporte	k. A.	k. A.	k. A.	IV
			gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
28 [☎]	EBS aus post-consumer Verpackungsabfällen	k. A.	post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	V
			gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	–
29 [☎]	Sortierung post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	–
30 [☎]	Sortierung post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	k. A.
			gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
31 [☎]	Sortierung post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	0 %	–
			post-consumer Verpackungsabfälle	k. A.	–

¹⁾ mit manueller Nachsortierung

Tab. A-1 (Forts.): Übersichtsdaten der besuchten oder per Telefon (mit ☎ indiziert) kontaktierten Entsorgungsfachbetriebe: Tätigkeitsschwerpunkt, angenommene Abfallmassen inkl. prozentuale Aufteilung auf einzelne Gewerbeabfallarten (unvollständig), Komplexitätsstufe der Abfallbehandlung.

Betrieb-Nr.	Tätigkeitsschwerpunkt	Input [Mg/a]	Ausgewählte Fraktionen, deren Anteil am Gesamtinput sowie Komplexitätsstufe der Behandlung		
			Fraktion	Anteil	KS
32 [☎]	Behandlung kommunaler und gewerblicher Abfälle	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
33	Behandlung kommunaler und gewerblicher Abfälle	27.837	Hausmüll	36 %	IV ⁾
			Bioabfälle	17 %	k. A.
			Papier, Pappe	23 %	k. A.
			gemischte Gewerbeabfälle	16 %	I
34 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0 (IV)
35 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	III
36 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
37 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	I
38 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	0
39 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	I ⁾
40 [☎]	k. A.	k. A.	gemischte Gewerbeabfälle	k. A.	I
41 [☎]	k. A.	>47.000	Verpackungsabfälle	30 %	k. A.
			gemischte Gewerbeabfälle	30 %	k. A.
			Altpapier	21 %	k. A.
			Altholz	19 %	k. A.

⁾ mit manueller Nachsortierung

Literaturverzeichnis

- [1] ANONYM:
Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts. Vom 24. Februar 2012.
Artikel 1. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG).
BGBl. I (2012) 10, S. 212–264
- [2] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BAYSTMUGV):
Forschungsvorhaben. Verwertung und Beseitigung von nicht besonders überwachungsbedürftigen Gewerbeabfällen aus Bayern. Fortsetzung. Im Auftrag des StMUGV von Büchl Consult GmbH, München, durchgeführt.
München, Dezember 2006, 59 S.
- [3] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Schreiben „Gewerbeabfallanalyse an der AVA Augsburg“ mit Anlage „Ergebnisbericht der Fa. Fabion GbR, Würzburg“ an das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 28.06.2007, Az. 33-8744.6-19287/2007.
Augsburg, Juni 2007, 8 S. mit Anlage (84 S. Bericht mit 64 S. Anlage und 38 S. Fotodokumentation)
- [4] WEIGAND, H.; MARB, C.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil II: Restmüllzusammensetzung als Funktion von Siedlungsstruktur und Abfallwirtschaftssystem.
Müll und Abfall 37 (2005) 10, S. 522–530
- [5] UMWELTBUNDESAMT:
Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen. Texte 19/2011. Im Auftrag des Umweltbundesamtes von I. Dehne, R. Oetjen-Dehne (Oetjen-Dehne & Partner Umwelt- und Energie-Consult GmbH, Berlin) und M. Kanthak (Kanthak & Adam GbR, Berlin) unter der Forschungskennzahl 3709 33 314, UBA-FB 001458, durchgeführt.
Dessau-Roßlau, April 2011, 179 S.
- [6] ANONYM:
Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV). Vom 19.06.2002.
BGBl. I (2002) 37, S. 1938–1943
Zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 23 des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 29.02.2012.
BGBl. I (2012) 10, S. 257–264
- [7] ANONYM:
Verordnung zur Übertragung von Zuständigkeiten im Bereich der Abfallentsorgung (Abfallzuständigkeitsverordnung – AbfZustV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. November 2005.
BayGVBl. (2005) 23, S. 565–567

- [8] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2010.
Augsburg, 2011, 88 S.
- [9] STATISTISCHES BUNDESAMT:
Nachhaltige Abfallwirtschaft in Deutschland. Ausgabe 2007.
Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2007, 25 S.
- [10] ANONYM:
Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnisses. Vom 10. Dezember 2001.
Artikel 1 der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV).
BGBl. I (2001) 65, S. 3379–3412
Zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes zur Vereinfachung der abfallrechtlichen Überwachung vom 15. Juli 2006.
BGBl. I (2006) 34, S. 1619–1625
- [11] ANONYM:
Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Vom 27. September 1994.
Artikel 1. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG).
BGBl. I (1994) 66, S. 2705–2728
- [12] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL:
Mitteilung 34. Vollzugshinweise zur Gewerbeabfallverordnung. Endfassung vom 26.03.03 (mit redaktionellen Änderung vom März 2008). Herausgegeben im Dezember 2003 von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) unter Vorsitz vom Ministerium für Umwelt und Forsten für das Land Rheinland-Pfalz (2003–2004), Mainz, 2003.
Redaktionell überarbeitet im März 2008 unter Vorsitz vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2007–2008), Dresden, 2008, 29 S.
- [13] STATISTISCHES BUNDESAMT:
Umwelt. Abfallentsorgung 2010. Fachserie 19, Reihe 1. Erschienen am 12.07.2012.
Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2012, 227 S.
- [14] ANONYM:
Gesetz zur Straffung der Umweltstatistik. Vom 16. August 2005,
BGBl. I (2005) 50, S. 2446–2451
Zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012.
BGBl. I (2012), S. 212–264
- [15] FÜRNRÖHR, P. (LFSTAD):
Daten zu Gewerbeabfall. E-Mail vom 23.05.2012, 14:37 h.
München 2012

- [16] ANONYM:
Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV).
Neugefasst durch Bekanntmachung vom 14. März 1997.
BGBl. I (1997) 17, S. 504–522
Zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 13 des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012.
BGBl. I (2012) 10, S. 212–264
- [17] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG:
Statistische Berichte. Abfallwirtschaft in Bayern 2010. Kennziffer Q II 1 j 2010.
München, März 2013, 85 S.
- [18] FÜRNRÖHR, P. (LFSTAD):
Persönliche Mitteilung. Telefonat am 16.05.2012.
München 2012
- [19] UMWELTBUNDESAMT:
Daten zur Umwelt – Umweltzustand in Deutschland → Abfall- und Kreislaufwirtschaft → Abfallaufkommen.
<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=21704>
- [20] ANONYM:
Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen. Vom 14. August 2003.
BGBl. I (2003) 41, S. 1633
Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV).
BGBl. I (2003) 41, S. 1634–1651
Zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung zur Absicherung von Luftqualitätsanforderungen in der Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen und der Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen vom 27. Januar 2009.
BGBl. I (2009) 5, S. 129–132
- [21] ANONYM:
Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV – Deponieverordnung). Vom 27. April 2009.
BGBl. I (2009) 22, S. 900–950
Zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 28 des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012.
BGBl. I (2012) 10, S. 212–264

- [22] OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH:
Überwachung von Abfallentsorgungsanlagen – Recherche und Untersuchungen an Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt und Abgrenzung der Abfallschlüssel 19 12 09 und 19 12 12. Kurzfassung. Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt durchgeführt und vom Landesamt für Umweltschutz in Sachsen-Anhalt fachtechnisch begleitet.
Berlin, Mai 2010, 44 S.
<http://www.uec-berlin.de/aktuelles/dateien/Kurzfassung%20Recherche%20Sachsen-Anhalt.pdf>
- [23] FRICKE, K., BAHR, T., BIDLINGMAIER, W., TURK, T.:
Energieeffizienz der stofflichen und energetischen Verwertung ausgewählter Abfallfraktionen.
Müll und Abfall 42 (2010) 2, S. 63–68
- [24] ANONYM:
Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV). Vom 21. August 1998.
BGBl. I (1998) 56, S. 2379–2389
Zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 19 des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012.
BGBl. I (2012), S. 212–264
- [25] ANONYM:
Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz. Vom 15. August 2002.
BGBl. I (2002) 59, S. 3302–3317
Zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung zur Umsetzung der Dienstleistungsrichtlinie auf dem Gebiet des Umweltrechts sowie zur Änderung umweltrechtlicher Vorschriften vom 9. November 2010.
BGBl. I (2010) 56, S. 1504–1512
- [26] ANONYM:
Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Vom 24. Juli 2002.
GMBI. (2002) 25–29, S. 511–605
- [27] INGEDE E.V.:
Merkblatt für Qualität, Sortierung und Bereitstellung von graphischem Altpapier aus haushaltsnaher Erfassung (Sorte 1.11*).
München, Juni 2000, 4 S.
- [28] WOLTERS, L.; v. MARWICK, J.; REGEL, K.; LACKNER, V.; SCHÄFER, B.:
Kunststoff-Recycling. Grundlagen – Verfahren – Praxisbeispiele.
Carl Hanser München Wien 1997, 290 S.
- [29] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN:
Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen. Inhaltlich (Kap. 4–7) bearbeitet von Prognos AG, Berlin. 2. Auflage.
Düsseldorf, September 2005, 216 S.

- [30] ANONYM
Papier und Pappe – Europäische Liste der Standardsorten für Altpapier und Pappe. Deutsche Fassung EN 643:2001.
Beuth Verlag, Berlin 2002, 10 S.
- [31] MARB, C.; PRZYBILLA, I.; WEIGAND, H.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil I: Methodischer Ansatz.
Müll und Abfall 37 (2005) 9, S. 472–479
- [32] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:
LfU-Restmüllanalysen 1998 – 2008 Ergebnisse.
http://www.lfu.bayern.de/abfall/jvt/restmuellanalysen/doc/restmuell_zusammenfassung.ppt
- [33] BOSSE, H.-R.:
Steine und Erden. Nachhaltiges Wirtschaften durch Hohlglas-Recycling. Bundesanstalt für Gewissenswissenschaften und Rohstoffe (BGR). Ausgabe vom 19. Juli 1999.
Commodity Top News (1999) 4, 4 S.
- [34] FRICKE, K.; BAHR, T.; THIEL, T.; KUGELSTADT, O.:
Stoffliche oder energetische Verwertung – Ressourceneffizientes Handeln in der Abfallwirtschaft. Erfahrungsaustausch Kommunale Abfallwirtschaft. 11. Informationsseminar des Anwaltsbüros Gaßner, Groth, Siederer & Coll. (GGSC).
04./05. Juni 2009, Berlin, 2009, 22 S.
- [35] EDELMANN, W., SCHLEISS, K.:
Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe. Im Auftrag von der Bundesämter für Energie (BFE) sowie Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) ausgearbeitet durch die Arbeitsgemeinschaft Bioenergie, arbi, Baar, und Umwelt- und Kompostberatung Schleiss, Baar.
Baar (CH), Februar 2001, 135 S.
- [36] INSTITUT FÜR ENERGIE UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH (IFEU HEIDELBERG):
Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff. Von U. Gromke, A. Detzel im Auftrag der „Initiative Pro Recyclingpapier“ c/o Burson-Marsteller GmbH & Co. KG, Berlin, ausgearbeitet.
Heidelberg, August 2006, 40 S.
- [37] IFEU, ÖKO-INSTITUT E.V.:
Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft. Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. FKZ 3708 31 302.
Darmstadt/Heidelberg/Berlin, 2010, 138 S.
- [38] TREND:RESEARCH:
Marktperspektiven für Sekundärrohstoffe – Krise setzt der Vorbildbranche enorm zu.
Müll und Abfall 41 (2009) 10, S. 502–506

- [39] EUWID EUROPÄISCHE WIRTSCHAFTSDIENST GMBH:
Märkte online – Aktuelle Marktdaten und Marktpreise.
Gernsbach
www.euwid-recycling.de
- [40] EUROFER ASBL:
Internetseite: „Eurofer → Facts & Figures → Figures → Scrap price index”.
Brussels, August 2012
<http://www.eurofer.eu/index.php/eng/Facts-Figures/Figures/Scrap-price-index>
- [41] UMWELTBUNDESAMT:
Internetseite „Daten zur Umwelt - Umweltzustand in Deutschland → Abfall- und Kreislaufwirtschaft → Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung“. Tabelle „Thermische Abfallbehandlungsanlagen mit Ersatzbrennstoff (mittel- und hochkalorische Fraktion) als hauptsächlichen Einsatzstoff. Stand Dezember 2011.
Dessau-Roßlau, Januar 2012
- [42] PROGNOSE AG:
Der Abfallmarkt in Deutschland und Perspektiven bis 2020. Endbericht. Im Auftrag der NABU (Naturschutzbund Deutschland e. V.) Bundesgeschäftsstelle erstellt.
Prognos AG, Berlin, 2008, 47 S. (mit 27 S. Anhang)
- [43] ANONYM:
Preise und Gebühren der Abfallbehandlung in MVA und MBA in Deutschland. Oktober/November 2007. Ausgabe vom 04.12.2007.
EUWID Recycling und Entsorgung 17 (2007) 49, S. 20
- [44] ANONYM:
Preise und Gebühren der Abfallbehandlung in MVA und MBA in Deutschland 2011. Ausgabe vom 13.12.2011.
EUWID Recycling und Entsorgung 21 (2011) 50, S. 20

