

Ressourcen- und Energiewirtschaft wachsen zusammen

Michael Jakuttis

1. Einleitung

Nicht immer wurde Abfall als Ressource betrachtet. Früher war die Abfallentsorgung bzw. Abfallwirtschaft in Deutschland nicht so organisiert und ausgebaut wie heute. Ende des 19. Jahrhunderts waren die Umstände im städtischen Bereich und dem Umland besonders kritisch, da der Hausmüll hauptsächlich vor der Haustür entsorgt wurde. Dadurch häuften sich sprichwörtlich die Müllberge in der Stadt, wodurch aufgrund der fehlenden Hygiene, Krankheiten wie Cholera ausgelöst wurden. Nachdem sich Krankheiten ja sogar Epidemien in Deutschland häuften, wurde der deutschen Regierung und Bevölkerung bewusst, dass sich an diesem Zustand etwas ändern musste. Zum Schutz der Gesundheit musste die wilde Deponierung von Abfall vermieden und eine geregelte Abfallwirtschaft gefördert werden.



Abbildung 1: Müllverbrennungsanlage am Bullerdeich, Hamburg, 1896

In Hamburg entstand deshalb 1893 die erste Müllverbrennungsanlage (MVA) mit 36 Ofenzellen in Deutschland, die 1896 ihren regulären Betrieb aufnahm. Die Öfen wurden damals per Hand beschickt, wobei die Müllverbrennungsanlage eine thermische Leistung von 15 MW erzielte. Weiterhin wurden zwei Dampferzeuger betrieben, die eine elektrische Leistung von 156 kW erreichten. Bereits 1903 entstand in Kopenhagen eine der ersten MVA, die eine Kraft-Wärme-Kopplung realisierte. Ein Teil des Dampfes wurde verstromt, wohingegen ein Teil der Wärme über einen Tunnel ein Krankenhaus, ein Kinderheim und ein Armenhaus beheizte. Im Laufe des ersten Weltkriegs wurden jedoch fast alle Anlagen wegen zu hoher Betriebskosten, zum Teil aufgrund des energiearmen Abfalls stillgelegt, wodurch wieder vermehrt Abfall deponiert wurde. Mit dem Wirtschaftsaufschwung kam auch die Müllverbrennung zurück. Der Grund war ein heizwertreicherer Abfall durch die Einführung von Kunststoffen.

Heute leistet die Abfallverbrennung nicht nur ihren Entsorgungsauftrag, sondern liefert als positiven Nebeneffekt Strom und Wärme. Dadurch können Ressourcen eingespart und die Umwelt geschützt werden. Die Abfallverbrennung trägt damit zur Grundversorgung der Bevölkerung mit Wärme und vor allem Strom bei.

In folgendem Artikel werden zunächst Abfall sowie Ersatzbrennstoffe als Energieressource in der Müllverbrennung dargestellt. Anschließend werden verschiedene Anlagentypen in der Mono- und Mitverbrennung betrachtet. Im Bereich der Rohstoff- und Energiewirtschaft wird der Beitrag des Abfalls zur Ressourcenschonung diskutiert. Es wird dargestellt, dass sich die thermische Abfallverwertung und sinnvolles Rohstoffrecycling aus Abfall nicht gegenseitig ausschließen.

2. Die Energiequelle Abfall

2009 fielen in Deutschland 344 Mio. Tonnen Abfall an, wobei 48,1 Mio. Tonnen Siedlungsabfall erzeugt wurden. Pro Einwohner entspricht das einer Menge von 587 kg/a. [1] Von der Gesamtmenge an Siedlungsabfall werden circa 34 % thermisch verwertet, das entspricht etwa 16,5 Mio. Tonnen. Circa 48 % werden recycelt und 18 % werden kompostiert. [1]

Die Abfallverbrennung ist innerhalb der Abfallbehandlung das beste Verfahren zur Hygienisierung und Inertisierung von Abfall. Als positiver Nebeneffekt wird dabei zusätzlich Wärme und Strom in nicht unerheblichem Maße erzeugt, wodurch Abfall als Energieressource eingesetzt wird.

Die 69 klassischen Abfallverbrennungsanlagen in Deutschland produzierten 2008 rund 7 Mio. MWh an Strom und lieferten eine Wärmemenge von 14,4 Mio. MWh. Um den produzierten Strom dieser Anlagen zu ersetzen, bräuchte man 74 km² Photovoltaikanlagen (9250 Fußballfelder) oder 3500 Großwindanlagen. [2] Die produzierte Wärme reicht theoretisch aus um 2,1 Mio. Menschen mit Heizenergie zu versorgen. Betrachtet man allerdings die Gesamtstromerzeugung in Deutschland von circa 621 Mio. MWh in 2010, so beträgt der Anteil der Müllverbrennung nur circa 1 %. [3]

2.1 Der Brennstoff Abfall

Der Heizwert von Abfall liegt heutzutage zwischen 10-11 MJ/kg, nicht zuletzt aufgrund eines erhöhten Kunststoffanteils im Abfall, der im Prinzip schnittfestes Öl darstellt. Früher war der Heizwert deutlich niedriger, da der Abfall überwiegend aus Biomasse mit hohen Feuchtigkeitsgehalten bestand. In der Anlage in Hamburg von 1896 betrug der Heizwert des eingesetzten Mülls lediglich 5 MJ/kg. Bei diesem Heizwert kann keine selbstgängige Monoverbrennung der Chargen mehr erwartet werden.

Gegenüber anderen Brennstoffen sind Abfälle wegen ihrer Heterogenität, insbesondere ihrer chemischen Zusammensetzung schwieriger zu Verbrennen.

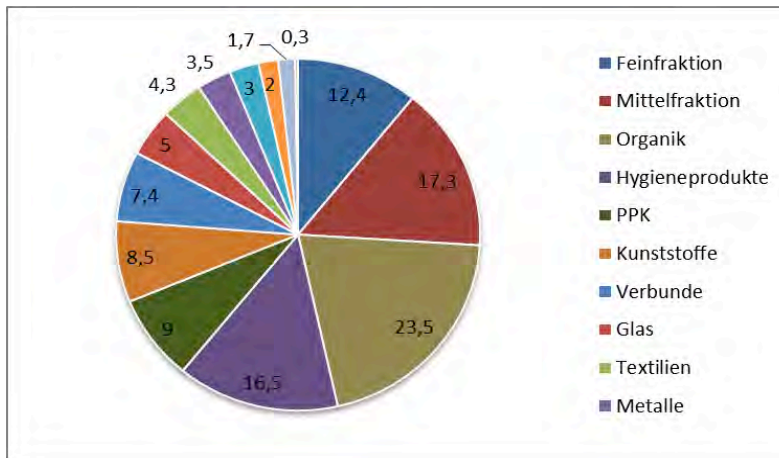


Abbildung 2: Hausmüllzusammensetzung in Bayern, 2002 [4]

Durch diese Unterschiede schwanken oft der Schadstoff- sowie der Wassergehalt und dadurch auch der Heizwert. Unterschiede ergeben sich aber nicht nur in der chemischen sondern auch in der physikalischen Zusammensetzung. So variiert die Größe des Brennstoffs teilweise erheblich, wodurch die

Brennstoffform durch Konditionierung angepasst werden muss, um den Brennstoff fördern zu können, beziehungsweise um einen möglichst vollständigen Ausbrand bei der Verbrennung zu gewährleisten.

2.2. Abfallverbrennungsanlagen

Die Rostfeuerung wird seit Jahren als Standardfeuerung für die thermische Verwertung inhomogener Brennstoffen eingesetzt. Da sich der Heizwert des Hausmülls in den letzten Jahren stetig erhöht hat, musste sich auch die Anlagentechnik weiterentwickeln. Unter anderem wurden aufgrund des erhöhten Heizwerts des Abfalls in neueren Anlagen keine luftgekühlten Roste mehr eingesetzt, sondern wassergekühlte Roste. Diese können mehr Wärme abführen, wodurch sie den höheren thermischen Beanspruchungen gewachsen sind.

Die elektrischen Wirkungsgrade von Müllverbrennungsanlagen sind mit durchschnittlich 18-22 % allerdings deutlich geringer als die elektrischen Wirkungsgrade von kommerziellen Kraftwerken. Dies liegt vor allem an den geringen Dampfparametern (400 °C, 40 bar), die aus Korrosionsschutzgründen in den meisten Anlagen nicht überschritten werden dürfen. Weiterhin sind die meist schon in die Jahre gekommen Anlagen schlecht in Wärmenetze integriert, wodurch der Gesamtwirkungsgrad zusätzlich reduziert wird.



Abbildung 3: Müllverbrennungsanlage HR AVI Amsterdam [5]

Bei neuen, modernen Anlagen können die Wirkungsgrade durchaus über 30 % liegen, so zum Beispiel bei der HR AVI Amsterdam. Die Müllverbrennungsanlage ging 2007 in Betrieb und wird mit einer erhöhten Dampftemperatur von 440 °C betrieben. Nach der moderaten Steigerung in der ersten Ausbaustufe sollen in der zweiten Ausbaustufe die Dampftemperaturen auf 480 °C erhöht werden. [6] Die Wärmeauskopplung wird in den meisten Anlagen allerdings nicht ausreichend praktiziert. Da Müllverbrennungsanlagen meist aufgrund von Akzeptanzproblemen und Vorurteilen der Vergangenheit von Wohn-, Gewerbe-, und Industriegebieten weit entfernt liegen, ist meist der Bau und Betrieb eines Wärmenetzes ökonomisch nicht mehr sinnvoll. Als Ausnahmefälle sind hier Städte wie München und Rosenheim zu nennen, in denen die MVA innerhalb der Stadt liegen und optimal über Fernwärmeleitungen Wärme liefern können. Auch die MVA in Schwandorf (Bayern) liegt in einem Industriegebiet und beliefert die Industrie mit Dampf, was aus energetischer Sicht besonders günstig ist. Im Idealfall wird eine MVA nach den Abnehmern vor Ort konzipiert und der entsprechende Standort ausgewählt, was allerdings aus historischen Gründen nicht immer so ist.

Insgesamt steht bei Abfällen allerdings die Inertisierung, Entsorgung und Volumenreduktion im Vordergrund. Sekundär ist dabei die Nutzung von Energie. Bei Ersatzbrennstoffen ist dies wiederum nicht der Fall, da hier vor allem die Energieerzeugung im Mittelpunkt steht.

3. Ressource - Ersatzbrennstoff

Vor etwa einem Jahrzehnt sind Ersatzbrennstoffe (EBS) erstmals in Erscheinung getreten und haben seitdem immer mehr an Bedeutung gewonnen. Ersatzbrennstoffe werden aus Abfällen (Siedlungs- und/oder Gewerbeabfall) gewonnen und bilden eine hochkalorische Brennstofffraktion. Sie werden sowohl in der Mitverbrennung als auch in der Monoverbrennung in speziellen Anlagen eingesetzt. Ersatzbrennstoffe sind vor allem Klärschlamm, Altholz, Kunststoffabfälle und Leichtfraktion aus der MBA (Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung). Ersatzbrennstoffe werden auf dem Markt zumeist als „Fluff“ oder pelletiert verkauft. Der mittlere Heizwert von EBS liegt zwischen 11-20 MJ/kg. EBS-Kraftwerke müssen in Deutschland ebenso wie Abfallverbrennungsanlagen die 17.BImSchV erfüllen.

Die Aufbereitung von EBS ist bei manchen Stoffen, wie Altholz oder Kunststoffabfall relativ einfach gestaltet. Es genügen meist ein Zerkleinerungsschritt und eine optionale Aussortierung von Störstoffen, wie Metallen oder Steinen. Bei anderen Stoffen sind oft mehrere mechanische und biologische Aufarbeitungs- und Trennschritte erforderlich, um Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen oder Gewerbeabfällen herstellen zu können. Der Energieverbrauch der Aufbereitung wirkt sich natürlich mehr oder weniger negativ auf die Gesamtenergiebilanz der Ersatzbrennstoffe aus. Aus energetischer und ökologischer Sicht ist zu überdenken,

ab wann eine Aufarbeitung von Siedlungs- und Gewerbeabfall sinnvoll ist, oder ob eine direkte thermische Verwertung vorzuziehen ist. Dies muss im Einzelfall geprüft werden.

3.1. Klärschlamm

Zukünftig wird aufgrund neuer Gesetze und strengerer Grenzwerte für Schadstoffe (Novelle Klärschlammverordnung (AbfKlärV)) die landwirtschaftliche Nutzung von Klärschlamm abnehmen und die thermische Verwertung in Mono- und Mitverbrennungsanlagen erweitert werden. Das Klärschlammaufkommen betrug in Deutschland 2006 etwa 25 kg (TR) pro Einwohner jährlich. [7] Dies sind insgesamt rund 2 Mio. Tonnen Klärschlamm (TR). Circa 48 % wurden in Deutschland 2006 der thermischen Verwertung zugeführt. [8] Seit der Einführung der TA Siedlungsabfall (1993) und dem Bedenken gegenüber der landwirtschaftlichen Nutzung stieg die thermische Verwertung von Klärschlamm kontinuierlich seit Mitte der 90er Jahre.

In Bezug auf die Rohstoffwirtschaft könnte vor allem eine Phosphorrückgewinnung angestrebt werden, da dieses Metall in relativ hohen Konzentrationen als P_2O_5 im Klärschlamm enthalten ist. Zudem sind Phosphorreserven in ihrer Reichweite begrenzt, wodurch die Rückgewinnung aus Klärschlamm wirtschaftlich sinnvoll ist. [9]

3.2. Altholz

Das jährliche Aufkommen an Altholz beträgt circa 10 Mio. Tonnen (atro), wobei circa 65-70 % getrennt vorliegen. [10] [11] Das meiste Altholz stammt mit rund 45 % aus Bauabfällen und mit circa 30 % aus der Holzindustrie. Etwa 66 % des Altholzes wird der thermischen Verwertung zugeführt. [10] Die thermische Verwertung ist und wird auch in Zukunft Hauptentsorgungsweg für Altholz sein. Die Altholzverwertung erfolgt direkt in Verbrennungsanlagen. Handelt es sich dabei um Rest- oder Sperrmüll erfolgt die Verwertung in Müllverbrennungsanlagen oder aber in Anlagen zur Verwertung von heizwertreichen Müll, falls zuvor eine Aufbereitung erfolgte.

Die stoffliche Nutzung von Altholz, mit circa 34 %, findet hauptsächlich in der Holzindustrie statt, wobei die Althölzer je nach Klassifizierung unbehandelt, behandelt oder gar nicht verwendet werden dürfen. Die häufigste stoffliche Nutzung von Altholz ist die Herstellung von Spann- oder Holzfasernplatten. 1,5-3 Mio. Tonnen Altholz werden so jährlich stofflich verwertet. [10]

3.3 Kunststoffabfälle

Kunststoffabfälle werden hauptsächlich getrennt von privaten Haushalten, z. B. über das Duale System Deutschland gesammelt. Weitere Fraktionen werden in Haus- oder Sperrmüll erfasst, bzw. bei gewerblichen Endverbrauchern oder dem produzierenden Gewerbe. Das Gesamtkunststoffaufkommen lag 2007 bei 4,86 Mio. Tonnen und stieg seit 1994 jährlich um circa 5 % an. [12] Annähernd 60 % der Abfälle sind Verpackungen, die aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer häufig im

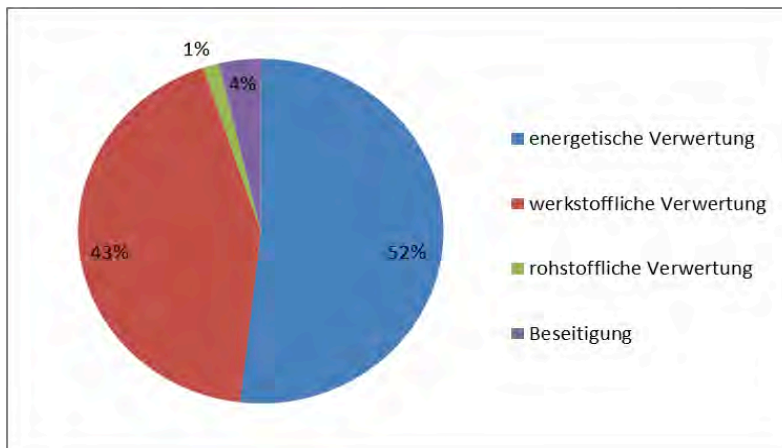


Abbildung 4: Verwertung der Kunststoffabfälle in Deutschland 2007 [12]

Abfall zu finden sind. Circa 1 Mio. Tonnen fallen bei der Produktion und Verarbeitung von Kunststoffen an. Bei den gewerblichen Endverbrauchern entstehen jährlich 1,6 Mio. Tonnen und bei den privaten Verbrauchern 2,1 Mio. Tonnen. Die energetische Verwertung hat in den letzten Jahren stark zugelegt und bildet mit fast 52 % den Hauptverwertungspfad. 43,5 % entfallen davon auf die Müllverbrennungsanlage, wohingegen 8,3 % in Zement- und EBS-Kraftwerken genutzt werden.

Die werkstoffliche Verwertung bildet mit 43,1 % ebenfalls einen Hauptverwertungspfad. Hier werden Kunststoffabfälle gesammelt, zerkleinert, gereinigt und nach Sorten getrennt und letztendlich zu neuen Produkten compoundiert. Die eingesetzten Regranulate werden auch häufig in Verbindung mit neuwertigem Granulat zum Kunststoffprodukt verarbeitet.

Stark verschmutzte und vermischte Kunststoffe sind aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll werkstofflich verwertbar. Hierfür steht entweder die energetische und rohstoffliche Ressourcenverwertung zur Verfügung. Beim rohstofflichen Recycling werden die Kunststoffe in ihrer chemischen Struktur aufgebrochen, so dass kleinere Bausteine, wie Monomere, Öle oder Gase (z. B. Synthesegas) entstehen. Mit 1,7 % ist dieser Beitrag aber nur als Randmarkt zu sehen.

Nicht zuletzt aufgrund der überarbeiteten Abfallhierarchie (EU-Richtlinie 2008/98/EC) wird zukünftig vermehrt auf die werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung gesetzt. Allerdings nahm auch die energetische Verwertung von Kunststoffabfällen in den letzten Jahren zu, da die Entsorgung bzw. Beseitigung in den letzten Jahren stark zurückgegangen ist.

3.4. Leichtfraktion aus der MBA

Eine mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA) dient zur Vorbehandlung des Abfalls, wobei der Abfall in verschiedene Stoffgruppen getrennt wird. Zuerst werden Metalle, Glas, Keramik, etc. aussortiert. Danach bleiben üblicherweise zwei kohlenstoffartige Stoffströme, die Grob- und Feinfraktion zurück.

Aus der Grobfraktion wird wiederum durch einen Aufarbeitungsschritt eine heizwertreiche Leichtfraktion gewonnen, welche in „Hochkalorischen Kraftwerken“ wie EBS-Kraftwerken eingesetzt wird. Die heizwertarme Schwer- oder Störstofffraktion wird der Müllverbrennung oder der Deponierung zugeführt. Die Feinfraktion wird hingegen in der MBA biologisch behandelt, um die organischen Substanzen abzubauen. In Deutschland gab es 2008 etwa 60 Anlagen mit MBA-Technologie. [13]

Die heizwertreiche Fraktion liegt bei Hausmüll zwischen 40-50 % und für Gewerbemüll zwischen 50-60 %. Für Sperrmüll liegt der Anteil dieser Fraktion sogar zwischen 75-85 %. [14],[15]

3.5. EBS-Kraftwerke

Klärschlamm Monoverbrennung

Derzeit fallen in Deutschland jährlich 2 Mio. Tonnen Klärschlamm in kommunalen Kläranlagen an, wobei circa 1 Mio. Tonnen thermisch verwertet werden. Mehr als die Hälfte davon geht immer noch in circa 17 kommunale und/oder 5 industrielle Monoverbrennungsanlagen. [16],[17]

Am weitesten verbreitet ist die Wirbelschichtfeuerung, wobei auch Etagenöfen zum Einsatz kommen. In Planung bzw. Umsetzung sind hauptsächlich Kapazitätserweiterungen bestehender Anlagen. Neuanlagen werden dagegen weniger geplant bzw. erwartet, obwohl die landwirtschaftliche Nutzung aufgrund von zukünftigen gesetzlichen Regelungen stark abnehmen wird. Derzeit befinden sich die meisten Klärschlammverbrennungsanlagen innerhalb Deutschlands im Ruhrgebiet. Allerdings wird intensiv im Bereich der dezentralen Klärschlammverwertung und der entsprechenden Technologie geforscht. Im Idealfall können solche Anlagen an der Klärschlammquelle, direkt bei der Kläranlage, errichtet werden. Als ein Beispiel wäre hier das Verfahren der Firma Huber SE „sludge2energy“ zu nennen, welches zusammen mit dem ATZ Entwicklungszentrum entwickelt wurde. An der Kläranlage Straubing wird das Verfahren derzeit verwirklicht und vorrausichtlich 2011 in Betrieb gehen. [18]

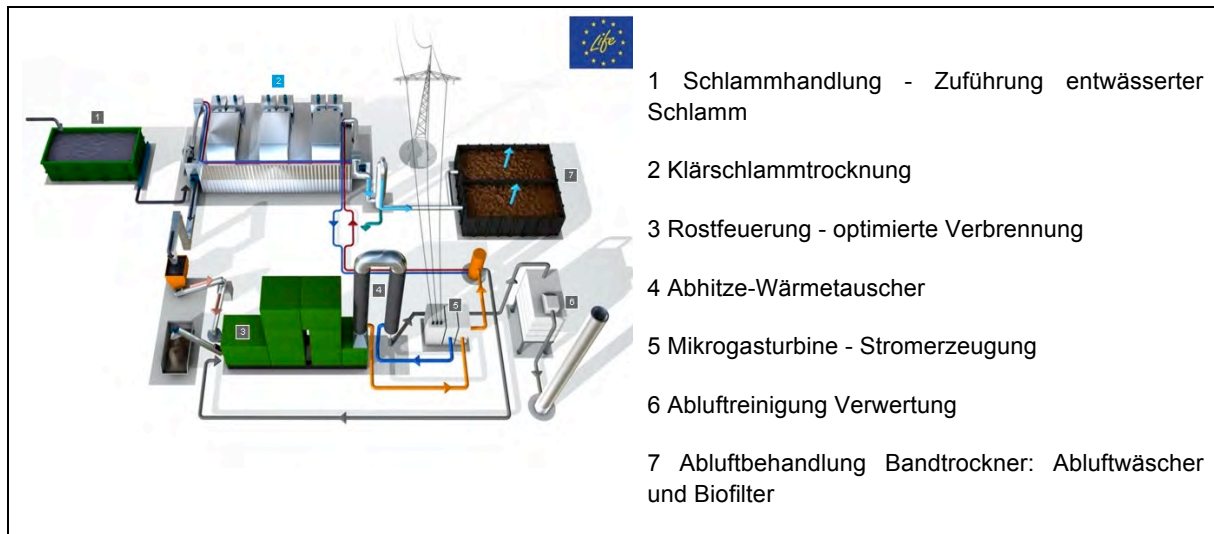


Abbildung 5: Sludge2energy, Huber SE [18]

EBS Monoverbrennung

Die Monoverbrennung von EBS hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Die Verbrennung findet hier in umgerüsteten Kraftwerken oder auch in speziell dafür gebauten Kraftwerken statt. Im Prinzip sind EBS-Kraftwerke wie Müllverbrennungsanlagen aufgebaut, nur dass der erhöhte Heizwert der EBS-Fraktion berücksichtigt werden muss. Derzeit befinden sich rund 28 thermische Abfallverbrennungsanlagen, die hauptsächlich EBS als Einsatzstoff abnehmen im Einsatz, wobei weitere 4 in 2011 ihren Betrieb aufnehmen werden. Die Kapazität dieser Anlagen beträgt momentan 4,6 Mio. Tonnen und wird sich 2011 auf 5,6 Mio. Tonnen erhöhen. [19] Laut dem Szenario von Prognos wird sich das EBS-Aufkommen in den nächsten Jahren kaum ändern. [13]

EBS-Kraftwerke zur Monoverbrennung befinden sich hauptsächlich in Gewerbegebieten oder Industrieparks, um dort entsprechende Industrie über Netze mit Wärme und Strom zu versorgen. Im Gegensatz zur MVA ist in diesen Anlagen die Energiebereitstellung und der Entsorgungsauftrag gleichbedeutend. Die Energiebereitstellung durch Ersatzbrennstoffe ist in Mitverbrennungsanlagen sogar noch wichtiger, so dass hier kaum noch der Entsorgungsauftrag gewichtet werden kann.

4. Energiewirtschaft

Abfälle werden nicht mehr nur in klassischen Müllverbrennungsanlagen eingesetzt. Neben der Energiebereitstellung in EBS-Kraftwerken werden Abfälle auch immer mehr in normalen Kraftwerken der Energiewirtschaft eingesetzt. Sowohl Kraftwerke im Grundlastbereich, als auch Industrie mit hohem Energieverbrauch, wie die Zementindustrie, nutzen Abfälle.

4.1 EBS Mitverbrennung

Die wichtigsten Anforderungen an EBS zur Mitverbrennung sind erstens die Körnung, welche möglichst weitgehend dem Regelbrennstoff entsprechen sollte. Dadurch kann der EBS zusammen mit dem Regelbrennstoff gut vermischt der Verbrennung zugegeben werden. Zweitens sollte die Qualität, welche sich aus der Zusammensetzung ergibt, den Halogengehalt des Regelbrennstoffs nicht überschreiten, um Korrosion der Kesselstähle zu vermeiden. Drittens sollte die Qualität der Rückstände konstant bleiben, um die Deponierungsvorschriften einzuhalten und die Vermarktung von Schlacke zu sichern. Hinsichtlich der Kraftwerksbetreiber muss allerdings ein hoher Aufwand zur Qualitätssicherung des angelieferten EBS geleistet werden.

In der Zementindustrie werden derzeit circa 54 % des Energiebedarfs durch Ersatzbrennstoffe, wie Kunststoffabfälle oder Altreifen gedeckt. Insgesamt entspricht dies einer Menge von etwa 2,9 Mio. Tonnen jährlich. [20] Auch die Papierindustrie verwertet circa 1,4 Mio. Tonnen an EBS jährlich. [21]

In 2008 wurden in deutschen Braun- oder Steinkohlekraftwerken circa 700.000 Tonnen EBS, in der Regel 5-10 % bezüglich der Feuerungswärmeleistung des Kraftwerks, eingesetzt. [22] Der Anteil an EBS übersteigt die 10 % normalerweise nicht, da ansonsten mit erhöhter Korrosionsgefahr und verminderter Qualität der Aschen zu rechnen ist. Weitere Kleinabnehmer sind die Stahl- und Kalkindustrie.

4.2 Energieoptimierte Verbrennung

Die Abfallverbrennung stellt einen festen Teil der Energie- und Ressourcenwirtschaft in Deutschland dar und leistet ihren Anteil zum Klimaschutz. Durch die Einführung des Deponierungsverbots unbehandelter Abfälle und die Substitution nicht fossiler Brennstoffe konnte der Ausstoß an $\text{CO}_{2\text{eq}}$ deutlich reduziert werden. Laut der EdDE-Studie von Prof. Bilitewski und der AGEE-Stat ließen sich 2008 in Deutschland durch den Einsatz von Hausmüll anstelle fossiler Energieträger in Kraftwerken circa 4 Mio. $\text{CO}_{2\text{eq}}$ einsparen. Insgesamt wurden in Deutschland 2009 circa 740 Mio. Tonnen $\text{CO}_{2\text{eq}}$ emittiert, wobei circa 50 % auf die Energiewirtschaft

entfallen. [23] Der Beitrag der Abfallverbrennung zur $\text{CO}_{2\text{eq}}$ Minimierung in der Energiewirtschaft liegt somit bei circa 1 %.

Der mittlere elektrische Bruttowirkungsgrad einer Müllverbrennungsanlage in Deutschland liegt etwa bei 13 %, wohingegen der Wärmenutzungsgrad bei 34 % liegt. Im Vergleich zu anderen Kraftwerken in der Energiewirtschaft sind diese Wirkungsgrade relativ niedrig. In Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland und hinsichtlich einer Versorgungssicherheit und der Ressourceneffizienz, sollte der Energiegehalt des Abfalls noch besser genutzt werden als bisher. Hier sind vor allem zwei Hauptansatzpunkte zur energetischen Optimierung zu nennen.

Zum einen spielt der Standort der MVA eine entscheidende Rolle. Die meisten Anlagen befinden sich nicht an einem adäquaten Standort, so dass potenzielle Abnehmer für Dampf fehlen und die Bereitstellung von Fernwärme aufgrund der räumlichen Distanz zu den Abnehmern nicht wirtschaftlich erfolgen kann.

Zum anderen ist die Technik von älteren Anlagen nicht mehr aktuell. Vor allem die niedrigen Dampfparameter zur Korrosionsvermeidung lassen den Wirkungsgrad gegenüber konventionell befeuerten Kraftwerken stark sinken.

4.3 Energie aus Abfall

Energie aus Abfall ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz und zur umweltgerechten Ressourcennutzung. Die Entsorgungs- und Hygenisierungsfunktion von Müllverbrennungsanlagen muss auch in der Zukunft gewährleistet werden. Allerdings soll Abfall in der Öffentlichkeit nicht als „Entsorgungsgut“ sondern als Energieträger und Rohstoffquelle wahrgenommen werden. Die Abfallwirtschaft ist hier schon sehr weit entwickelt, wohingegen die Rohstoffwirtschaft in manchen Bereichen, wie der Erfassung von bestimmten Wertstoffen aus Abfallströmen noch Nachholbedarf hat. Die Abfallverbrennung geht aus der traditionellen Kraftwerkstechnik hervor, wodurch Abfälle in einer Linie mit anderen Brennstoffen stehen. Unterschiede im Brennstoff ergeben sich allerdings aufgrund ihrer Nutzungsattraktivität, da der Preis und die Homogenität sehr unterschiedlich sind. Dadurch ändern sich auch technische und gesetzliche Rahmenbedingungen. Die ökologischen Auswirkungen der Energieerzeugung werden in der Wissenschaft und Politik im Hinblick auf die Klimadiskussion unterschiedlich erörtert. Eine Studie des schweizerischen Umweltbundesamtes stufte Strom aus MVA als geringere Umweltbelastung im Vergleich zu Strom aus Wind, Photovoltaik oder auch anderen Kraftwerken ein. [24]

Hausmüll, als ein Abfallstrom, kann man sogar aufgrund seiner Zusammensetzung als teilweise erneuerbare Energiequelle betrachten, da im Schnitt 50-60 % des

deutschen Siedlungsabfalls biogenen Ursprungs sind. [25] Dieser biogene Anteil bietet eine regenerative CO₂-neutrale Ressource zur Energiegewinnung.

Um MVA nach ihrer Energieeffizienz zu klassifizieren, wurde von der EU die R1-Formel eingeführt. Nur wenn die Energieeffizienz (Energieoutput/Energieinput) bei über 60% liegt, bei neueren Anlagen (nach dem 31. Dezember 2008 genehmigt) über 65%, handelt es sich bei der Abfallverbrennung nach der europäischen Richtlinie 2008/98/EG um eine energetische Verwertung, ansonsten um eine Abfallbeseitigung. [2]

5. Rohstoffwirtschaft

5.1 Rohstoffrecycling

Nach der Abfallrahmenrichtlinie der EU (2008/98/EG) hat die stoffliche Verwertung oder das Recycling Vorrang gegenüber der thermischen Verwertung. In der thermischen Verwertung sollen lediglich Stoffe eingesetzt werden, die nicht mehr stofflich verwertbar sind (maximale Recyclingzyklen erreicht, z. B. Papier), oder bei denen die Aufarbeitung oder Aussortierung nicht mehr ökologisch sowie wirtschaftlich sinnvoll ist. Dann ist die Einsparung von Primärenergie durch die thermische Verwertung höher, als mit zusätzlichem Sortier-, Transport-, und Produktionsaufwand eine stoffliche Verwertung durchzuführen, mit der meist nur geringe Mengen an Primärrohstoff eingespart werden.

Vor allem durch den Anstieg der Rohstoffpreise und dem Deponieverbot bilden Ressourcen- und Energiewirtschaft zunehmend eine Einheit. Durch die rasante Entwicklung, insbesondere der asiatischen Schwellenländer ist und wird der weltweite Bedarf an Rohstoffen stark steigen. Besonders die Bereitstellung von metallischen und mineralischen Rohstoffen rückt hier immer mehr in den Fokus. Forciert wird das Ganze dadurch, dass Metalle und Mineralen naturgemäß nicht erneuerbar sind. Hier genügt nur ein Blick auf die Rohstoffbörse. Es stellt sich nun die Frage, wieviel Kontrolle für eine bewusste Abfall- und Rohstoffwirtschaft nötig ist, um illegale Deponierung zu vermeiden.

Gerade für rohstoffarme Regionen wie Europa bildet Abfall eine wichtige Rohstoffquelle, um Importe zu reduzieren. Durch eine aggressive Rohstoffpolitik versuchen z. B. Afrika und China eigene Quellen zu sichern. Im Gegensatz zu diesen Ländern kann Deutschland durch ein intelligentes Abfallmanagement bereits auf viele Sekundärrohstoffe zurückgreifen. Hier gilt es vor allem den Export von sekundären Rohstoffquellen zu minimieren, wie z. B. in Altfahrzeugen und Schrotten, in denen große Mengen an Aluminium oder Kupfer enthalten sind. Neben technischen Erneuerungen, die es bereits vielfach gibt, sind hier auch gesetzliche Anpassungen notwendig.

Deshalb liegt der Bundesregierung auch ein Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts (KrW-/AbfG) vor. Demnach soll eine Recyclingquote für Siedlungsabfall von 65 % bis zum Jahr 2020 erreicht werden. Für Bau- und Abbruchabfälle soll diese sogar mindestens 70 % betragen. Ebenso soll die Verpackungsverordnung zu einer Wertstoffverordnung weitergeführt werden, um in einer einheitlichen Wertstofftonne bereits Rohstoffe aus dem Siedlungsabfall vorzusortieren. Weiterhin soll ab 2015 die Getrenntsammlung von Bioabfällen sowie von Papier-, Metall-, Kunststoff und Glasabfällen verpflichtend sein. [26]

Ein hohes Potenzial bietet auch Elektronikabfall bzw. -schrott an. Derzeit landen circa 142.000 Tonnen jährlich an Elektronikkleingeräten im Reststoffabfall und werden verbrannt. [27] In diesen High-Tech Abfällen befinden sich zumeist wertvolle Spurenelemente wie z. B. Neodym oder Lanthan. Hier fehlt es an entsprechenden Recyclingtechnologien zur Rückgewinnung. Derzeit werden hohe Recyclingraten nur für konventionelle Ressourcen wie Aluminium, Kupfer oder Eisen erreicht. Andere Metalle oder Mineralien werden kaum recycelt, wie etwa Gallium, Indium oder Baryt. Deshalb müssen Recyclingtechnologien weiterentwickelt werden.

Auch nach der thermischen Verwertung ist eine Rückgewinnung von Metallen möglich. Im Vergleich zur Rohstoffgewinnung aus Erzen, kann die Rückgewinnung von Metallen aus Verbrennungsschlacken im Einzelfall sogar günstiger als der übliche Abbau sein. Schlacke selbst kann durch mechanische Verarbeitung und Lagerung zu etwa 80 % im Straßenbau eingesetzt werden.

Insgesamt ist eine Kaskadennutzung von Rohstoffen als Idealfall zu sehen. Rohstoffe und Materialien werden recycelt um den Wertstoffkreislauf und damit die stoffliche Nutzung mehrmals zu durchlaufen, bevor das Material letztendlich thermisch verwertet wird. Dadurch lässt sich zuerst Energie einsparen und falls das Material nicht mehr zum Recycling geeignet ist, kann man daraus die „gespeicherte“ Energie zurückgewinnen.

5.2 Rohstoffe aus Ablagerungen

Es können aber nicht nur Rohstoffe aus momentan anfallendem Abfall, sondern auch aus bestehenden Deponien oder Halden, zurückgewonnen werden. Durch „Landfill Mining“ lassen sich durch Deponierückbau erhebliche Rohstoffmengen aus abgelagertem Müll zurückgewinnen. Allerdings sind momentan die Rohstoffpreise zu gering, so dass die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist. [28] Weitere Untersuchungen sind deshalb nötig um das Ressourcenpotenzial durch Deponierückbau abzuschätzen.

6. Fazit

Ressourcen- und Energiewirtschaft wachsen bereits zusammen und werden in den nächsten Jahren noch stärker zusammen wachsen. Rohstoff- und Energiewirtschaft bilden seit Jahren durch die Installation und den Betrieb von Müllverbrennungsanlagen, aber auch den neueren EBS-Kraftwerken eine Einheit. Hier ist vor allem die Entwicklung vom inhomogenen Müll zu definierten Ersatzbrennstoffen zu nennen. Die Kraftwerke die jahrelang hauptsächlich dem Entsorgungsauftrag von Abfall dienten, werden hinsichtlich einer höheren Energieeffizienz und eines besseren Wirkungsgrads ausgelegt, geplant oder modernisiert werden. Dies betrifft insbesondere die Auskopplung von Wärme oder Dampf über bestehende Netze zur Versorgung von Industrie und Gewerbe.

Allerdings müssen Ressourcen- und Energiewirtschaft aufeinander abgestimmt sein. Besonders die Frage nach einer sinnvollen stofflichen und/oder energetischen Verwertung gilt es noch zu klären und zu definieren. Eine nachhaltige Industriegesellschaft sollte zum Ziel haben ihren Bedarf an Metall- und Mineralien aus ihren Sekundärrohstoffen durch eine effiziente Ressourcenwirtschaft weitgehend zu decken.

7. Literatur

- [1] Eurostat, Pressemitteilung: Umwelt in der EU27, 37/2011, 8. März 2011
- [2] Treder M., Reimann, D., Spohn C.; Auswertung der Umfrage aus den Jahren 2005 – 2008, ITAD
- [3] Umweltbundesamt Bruttostromerzeugung: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/>
- [4] Bayerisches Landesamt für Umwelt, Restmüllanalysen – eine Grundlage eines nachhaltigen Stoffstrommanagements der Abfallwirtschaft, Fachtagung 2002
- [5] MVA Amsterdam: <http://www.sarens.nl>
- [6] Wandschneider, J.; Elektrischer Nettowirkungsgrad einer MVA größer 30 % – Benchmark HR AVI Amsterdam, Müll-Handbuch, Band 3, 7301, 2007
- [7] Eurostat Gesamtklärschlammaufkommen aus öffentlicher Abwasserbehandlung, 2006, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- [8] Eurostat 2006: Verbrennung von Klärschlamm aus öffentlicher Abwasserbehandlung
- [9] U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior: Mineral Commodity Summaries 2011
- [10] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H., Hofbauer, H., Energie aus Biomasse, Springer 2. Auflage 2009
- [11] Knappe, F., Böß, A. Fehrenbach, H., Giegrich, J., Vogt, R., Dehoust, G., Schüler, D., Wiegmann, K., Fritsche, U.: Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. Förderkennzeichen 205 33313 i.A. UBA
- [12] BKV: Kunststoff – Werkstoff der Ressourceneffizienz, 2010
- [13] Prognos, NABU Studie, 2009
- [14] Flamme, S.: Energetische Verwertung von Sekundärbrennstoffen in industriellen Anlagen – Ableitung von Maßnahmen zur umweltverträglichen Verwertung. Dissertation, Wuppertal 2002, S.41
- [15] Beckmann, M.; Thomé-Kozmiensky, K. J.: Das Ersatzbrennstoffproblem – Aufkommen, Charakterisierung und Einsatz, Ersatzbrennstoffe 5, TK Verlag, 2005, S.7
- [16] Statistisches Bundesamt Deutschland, Klärschlamm im Jahr 2009 überwiegend verbrannt, Pressemitteilung Nr. 490, 30.12.2010

- [17] UBA, Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, 3. Überarbeitete Auflage, 2004
- [18] Huber SE, HUBER-Lösung sludge2energy für die Klärschlammverbrennung vor Ort, <http://www.huber.de>, Berching, 2011
- [19] Gleis, M., Raesfeld, U. Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland – Status quo 2010?, Müll-Handbuch, Band 4, 7102, 2011
- [20] Zeschmar-Lahl, B.: Ökologischer Vergleich verschiedener Verfahren der Restabfallbehandlung – MBA-Konzepte und thermische Verfahren, Berliner Energiekonferenz „Erneuerbare Energien“, Berlin, 2011
- [21] Thomé-Kozmiensky, K.J., Thiel, S., Restabfallentsorgung in Europa, Texte zur Abfall- und Energiewirtschaft, TK Verlag, 2007
- [22] Vehlow, J., Abfallverbrennung in Deutschland, Müll-Handbuch, 2009
- [23] <http://www.itad.de/de/itad/klimaenergie/>
- [24] Doka, G.: Ökobilanz für Energie aus Kehrichtverbrennungsanlagen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2005.
- [25] IFEU, Öko-Institut: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft, Darmstadt/Heidelberg/Berlin, 2010.
- [26] Bundesumweltministerium, Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts, 3/2011
- [27] Habel, A.; Elektro(nik)-altgeräte – Eine Ressourcenquelle mit Perspektive?-, Recycling und Rohstoffe, Band 4, TK Verlag, 2011.
- [28] Gäth, S., Nispel, J.: Ressourcenpotenzial von ausgewählten Hausmülldeponien in Deutschland. Lorber, K. E., Adam, J., Aldrian, A., Arnberger, A., Bezama, A., Kreindl, G., Müller, P., Sager, D., Sarc, R., Wruss, K. (Hrsg.) Depotech 2010, Abfallwirtschaft, Abfalltechnik, Deponietechnik und Altlasten, Eigenverlag Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik iae, Leoben 2010, S. 375-380

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

WASTE MANAGEMENT, Volume 2

Waste Management, Recycling, Composting, Fermentation,
Mechanical-Biological Treatment, Energy Recovery from Waste,
Sewage Sludge Treatment

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Luciano Pelloni.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-69-6

ISBN 978-3-935317-69-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M. Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Janin Burbott

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.