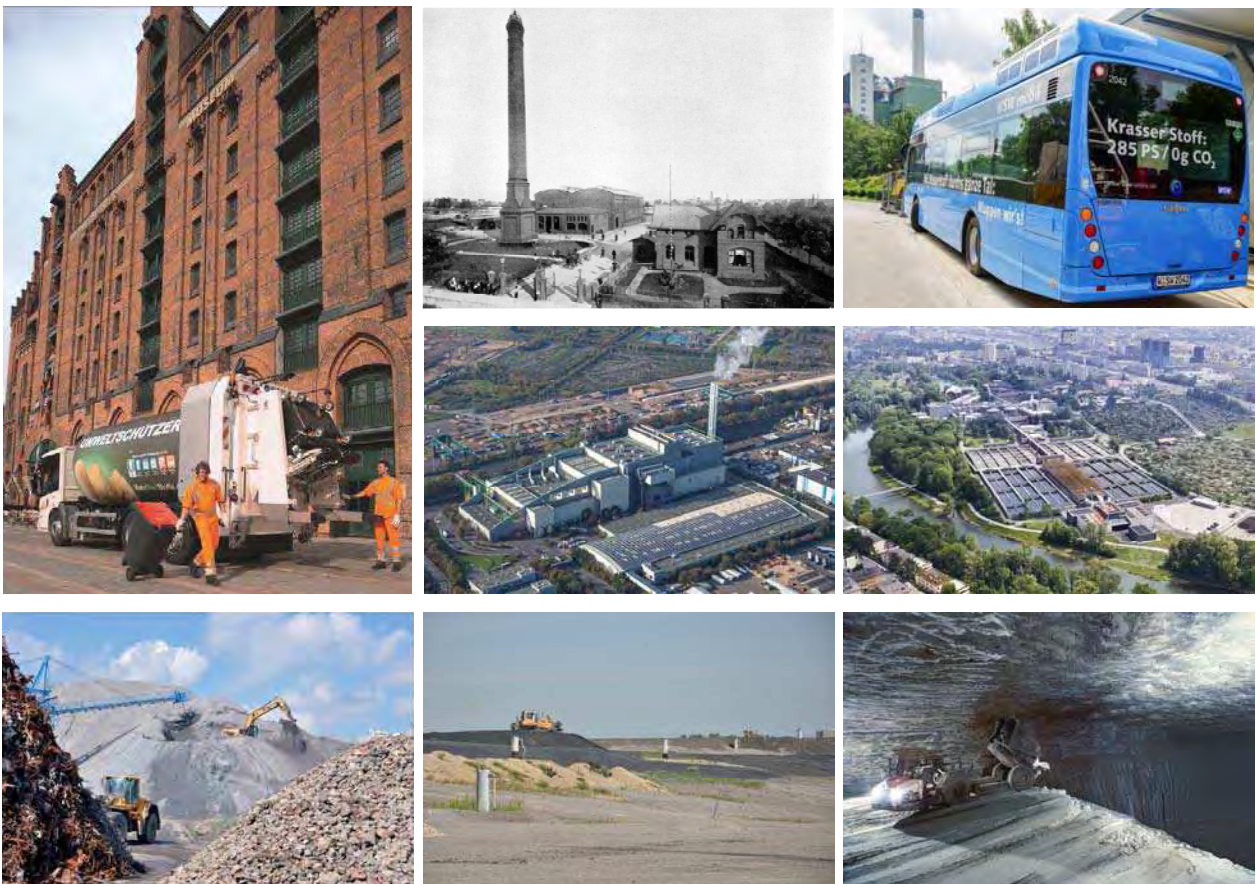


Standpunkte | Wissen & Meinungen

Schutz der Gesundheit und der Umwelt durch Hygienisierung und Neutralisierung von Krankheitserregern und Schadstoffen

**Thermische Abfallbehandlung – Schlackeaufbereitung – Deponierung
Eine geschlossene Systemkette der Abfallverwertung**



Ralf Breer | Stephan Mlodoch

REMONDIS®

IM AUFTRAG DER ZUKUNFT

Ein Man-on-the-Moon-Moment sollte nicht in den Sternen stehen

Europa hat den Green Deal ausgerufen und in Person der EU-Kommissionspräsidentin als Man-on-the-Moon-Moment bezeichnet. Wir von REMONDIS gehen mit bestem Beispiel voran, um diesen Meilenstein des Klimaschutzes schnellstmöglich zu erreichen. Wir stellen nicht nur im Vergleich zu Primärrohstoffen wesentlich energieschonendere Recyclingrohstoffe her, sondern setzen uns auch dafür ein, dass diese in der Industrie mehr Verwendung finden. Außerdem engagieren wir uns für EU-weit höhere Sammelquoten, die Schließung klimaschädlicher Deponien und eine Erweiterung der Ökodesignrichtlinie um Rohstoffeffizienz. Alles unabdingbar, damit es was wird mit der klimaneutralen EU bis 2050.

REMONDIS SE & Co. KG // Brunnenstr. 138 // 44536 Lünen // Deutschland // T +49 2306 106-0 // F +49 2306 106-100 // info@remondis.de // remondis.de

**Schutz der Gesundheit und der Umwelt durch Hygienisierung und
Neutralisierung von Krankheitserregern und Schadstoffen**

**Thermische Abfallbehandlung – Schlackeaufbereitung – Deponierung
Eine geschlossene Systemkette der Abfallverwertung**

Autorinnen und Autoren

Dr. Heinz-Gerd Aschhoff, Dieter Bühler, Margarethe Dettmar, Tilo Dumuscheit,
Rolf Ebert, Peter Eisenblätter, Volker Fennemann, Andreas Freund,
Markus Gleis, Hartmut Haeming, Jens van Helt, Dr. Jochen Hoffmeister,
Verena Höck, Dr. Hans-Dieter Huber, Bernhard M. Kemper, Dr. Margit Löschau,
Stephan Mlodoch, Andreas Münzmay, Ludger Rethmann, Dr. Axel Riemann,
Lara van Rijswijk, Dr. Georg Rottlaender, Michael Schneider,
Prof. Dr. Rüdiger Siechau, Carsten Spohn, Martin Treder, Conrad Tschersich,
Bart Zonnenberg

Ralf Breer | Stephan Mlodoch

Befreie dein Leben von Müll und Verschwendung

ZERO WASTE MAP



Auch Müllvermeidung gehört zu unseren Aufgaben



Entdecke Unverpackt-Läden, plastikfreie Alternativen, nachhaltige Gastronomie, Vintage Stores, Repair Cafés und Recyclinghöfe in deiner Umgebung.

Hol dir die App.
WWW.ZEROWASTEMAP.DE



STADTREINIGUNG.HAMBURG

Impressum

Herausgeber

Ralf Breer	Stephan Mlodoch
Friedrichstr. 81	Meisenburgstr. 217
45525 Hattingen	45133 Essen
ralfbreer@t-online.de	stephanmlodoch@web.de

Konzeption, Design, Redaktion und Realisierung

Ralf Breer und Stephan Mlodoch

Texte

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

Abbildungen und Bilder

Falls wir einen Rechtegeber nicht ermitteln konnten, verpflichten wir uns, eine übliche Lizenzgebühr zu entrichten.

Danksagung

Wir danken allen Personen, Institutionen und Unternehmen, die uns freundlicherweise Texte, Fotografien und Abbildungen zur Verfügung gestellt haben.

Förderung

Diese Publikation wurde gefördert durch:

- Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken (IGAM)
- ITAD – Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.

Erste Auflage, digital
Essen und Hattingen, Mai 2021

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

noch vor etwas mehr als 12 Monaten stand der Kampf gegen den Klimawandel im Fokus der öffentlichen Diskussionen: Fridays for Future, der European Green Deal, das deutsche Klimaschutzprogramm 2030 oder ein generelles Tempolimit auf deutschen Autobahnen, um nur einige Punkte zu nennen. Parallel sorgten wir uns zurecht um den Zustand unserer Weltmeere – Bilder von Plastikmüll-geschädigten Meeresbewohnern verfolgten uns fast täglich in den Nachrichten.

Aber der Ausbruch der Corona-Pandemie hat den Fokus deutlich verändert. Neben den Sorgen um die eigene Gesundheit und die von Familie und Freunden, beschäftigen viele Menschen existenzielle Sorgen. Das Thema Abfallsorgung oder Recycling ist in der aktuellen Diskussion oft nur dann interessant, wenn es darum geht, wie (potentiell) infektiöse Abfälle entsorgt werden können.

Nicht nur in Pandemiezeiten muss jedoch eine wichtige Rolle der thermischen Abfallbehandlung im Auge behalten werden: sie garantiert in einer modernen Kreislauf- und Abfallwirtschaft die Entsorgungssicherheit für Bürger und Unternehmen, stellt die notwendige Hygienisierung sicher, fungiert als Schadstoffsenke für saubere Stoffkreisläufe und versorgt daneben Haushalte und Industrie mit klimafreundlichem Strom und Wärme.

Doch in der öffentlichen Wahrnehmung erscheint es anders.

Nehmen wir abseits aller Diskussionen um die aktuelle Pandemie zum Beispiel den „Green Deal“ der EU-Kommission: Er ist das zentrale Element der legislativen Agenda der neuen europäischen Kommission. Das europäische Wirtschaftssystem soll so umgebaut werden, dass schnell und effektiv Treibhausgase eingespart werden können, um die globale Erderwärmung einzudämmen.

Hier spielt die Kreislaufwirtschaft eine eher untergeordnete Rolle. Wenn überhaupt, wird oft nur grundsätzlich und ohne sachgerechte Prüfung der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen eine Ausweitung des Recyclings gefordert. In Kombination mit wenig realistischen Abfallvermeidungszielen, so begrüßenswert diese natürlich sind, soll so der Ausstieg aus der Deponierung von unbehandelten Siedlungsabfällen sichergestellt werden, um den Ausstoß klimarelevanter Gase in den Mitgliedstaaten zu reduzieren, die auch heute noch von der Ablagerung von Siedlungsabfällen abhängig sind.

Dabei kann die thermische Abfallbehandlung im sachgerechten Zusammenspiel von stofflicher und energetischer Verwertung durchaus beachtliche Zahlen zum Klimaschutz liefern. So wurden laut dem Verein „Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V.“ in Deutschland in den vergangenen 20 Jahren mehr als 55 Millionen Tonnen Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente pro Jahr eingespart.

Neben den CO₂-Einsparungen durch die stoffliche Verwertung von geeigneten Abfallfraktionen tragen die thermischen Abfallbehandlungsanlagen durch die Vermeidung von Deponiegasemissionen massiv zu diesem historischen Erfolg bei und leisten darüber hinaus weitere, wertvolle Beiträge zum Klima- und Ressourcenschutz – unter anderem durch die Substitution fossiler Energieträger sowie durch die Verwertung von Metallen und mineralischen Ersatzbaustoffen aus den Verbrennungsrückständen.

Global betrachtet ergibt ein kleines Rechenbeispiel ein faszinierend großes Ergebnis: Weltweit werden pro Jahr rund zwei Milliarden Tonnen Abfälle deponiert, abgelagert oder einfach weggeworfen. Durch die entweichenden Methan-gasemissionen bedeutet dies eine Belastung unserer Umwelt in Höhe von etwa 2 bis 2,5 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalenten jährlich. Auch wenn die thermische Abfallbehandlung sicher nicht weltweit etabliert werden kann, so wird doch deutlich, wie groß die Potenziale sind, die man vergleichsweise einfach abschöpfen könnte.

Darüber hinaus zeigt die Plastikvermüllung der Weltmeere, dass eine Schadstoffsene beziehungsweise Senke für nicht stofflich verwertbare Materialien dringend benötigt wird.

Dabei haben wir haben grundsätzlich kein Problem mit Plastik oder Plastikmüll – die Umwelt hat ein Problem mit dem sorglosen und fahrlässigen Umgang mit diesen Materialien am Ende der Nutzungsphase. Abfälle werden weltweit in weniger entwickelten Kreislaufwirtschaften deponiert oder illegal entsorgt, oft aus entwickelten Ländern mit funktionierender Kreislaufwirtschaft dorthin exportiert und landen durch Verwehungen in Flüssen und in den Meeren.

Es ist Augenwischerei, wenn man glaubt, dass der Kampf zum Schutz der Meere erfolgreich bestritten werden kann, ohne sich langfristig von dieser Praxis abzuwenden und ohne die thermischen Abfallbehandlung als sinnvollen und zwingend notwendigen Baustein der Kreislaufwirtschaft zu akzeptieren.

Ein Sortierrest, der in einer Thermischen Abfallbehandlungsanlage energetisch genutzt, findet sicher nicht mehr den Weg in den Pacific Garbage Patch oder belastet als Mikroplastik das Grundwasser.

Die folgende Zusammenfassung zeigt, wie sich die thermische Abfallbehandlung auf das heutige hohe Niveau entwickelt hat, wie die verschiedenen Aspekte und Disziplinen ineinandergreifen und somit einen aktiven, positiven Beitrag zum Umwelt-, Meeres- und Klimaschutz generieren und nicht nur in Pandemiezeiten eine in jeder Beziehung „sichere“ Entsorgung gewährleisten.

Carsten Spohn



Autor

Carsten Spohn
Geschäftsführer
ITAD - Interessengemeinschaft der
Thermischen Abfallbehandlungsanlagen
in Deutschland e.V.
Peter-Müller-Straße 16a
40468 Düsseldorf
spohn@itad.de
www.itad.de

Inhaltsverzeichnis

Aspekte und Perspektiven

- 12 **Die thermische Verwertung als unverzichtbarer Bestandteil der Kreislaufwirtschaft - Notwendigkeiten, Aufgaben und Perspektiven**
Prof. Dr. Rüdiger Siechau
- 30 **Globale Trends in der Thermischen Abfallbehandlung: Zwischen Hygienisierung und Rohstoffsicherung**
Bernhard M. Kemper
- 36 **Daseinsvorsorge durch Öffentlich-Private Partnerschaften (ÖPP) und deren Potenziale zur Sicherung der Systemkette**
Ludger Rethmann

Der Ursprung und die Grundlagen: Schutz der Gesundheit

- 42 **Vorsorge und Bekämpfung von Infektionskrankheiten und Seuchen durch Städtereinigung, Müllverbrennungsanlagen und Deponien von 1850 bis 1972**
Stephan Mlodoch
- 60 **Technische Weiterentwicklung der Thermischen Behandlungsanlagen in Wechselwirkung mit den Rahmenbedingungen**
Dr. Margit Löschau und Dr. Hans-Dieter Huber
- 72 **Die Abfallverbrennung als eine wichtige Einrichtung für die Siedlungsabfallhygiene und den Infektionsschutz**
Markus Gleis

Der aktuelle Status der hygienisch sicheren Abfallbehandlung: Thermischen Abfallbehandlung - Schlackeaufbereitung - Deponierung

- 80 **Die Herkunft, die Zusammensetzung und die Verwertung der Abfälle**
Martin Treder

Die Sammlung

- 102 **Status: Kontaktarme Abfallsammlung**
Bart Zonnenberg
- 104 **Status: Digitalisierung für eine berührungs- und kontaktlose Abfalllogistik in der smarten Stadt für eine sichere Entsorgung rund um die Uhr**
Lara van Rijswijk
- 108 **Zukunft: Kontaktarme Sammellogistik**
Volker Fennemann

Anlagenportraits: Praxis, Großtechnik und Verfahrenssicherheit

- 112 **Zur Rolle der Müllverbrennungsanlagen am Beispiel Köln**
Andreas Freund und Tilo Dumuscheit

- 116 **IHKW Andernach: Hocheffiziente Energieversorgung für einen Industriestandort**
Rolf Ebert und Peter Eisenblätter

- 120 **Klärschlammverwertungsanlage des Kantons Zürich**
Andreas Münzmay, Jens van Helt, Dieter Bühler

- 126 **Sonderabfallverbrennung**
Michael Schneider

- 130 **Projekt ZRE - Zentrum für Ressourcen und Energie**
Dr. Heinz-Gerd Aschoff und Verena Höck

Die Stoffströme zur Verwertung und sicheren Endlagerung

- 136 **Energie: MHKW Wuppertal als Standort für die Wasserstoffproduktion**
Conrad Tschersich

- 140 **Phosphorrückgewinnung: Der Weg zum wirtschaftlichen Phosphorrecycling aus Klärschlammasche**
Michael Schneider

- 144 **Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung im Kontext der Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung der Vorgaben des BVT-Merkblattes Abfallverbrennung**
Markus Gleis

- 156 **Verfahren zur Aufbereitung von Schlacken aus Hausmüllverbrennungsanlagen (HMV-Schlacken)**
Dr. Georg Rottlaender

- 160 **Der Weg zu sauberen Metallen aus der Aufbereitung von Hausmüllverbrennungsschlacken (HMV -Schlacken) - Stratego**
Dr. Georg Rottlaender

- 164 **HMV-Schlacke: Vom Abfall zum Baustoff**
Margarethe Dettmar

Die Deponie

- 174 **Langzeitsichere Deponien als Schutz von Klima und Umwelt**
Hartmut Haeming

- 178 **Die Filterstäube, Abgasreinigungsabfälle und andere gefährliche Abfälle Verfahren zur langzeitsicheren Entsorgung als Bergversatz in Untertagebergwerken**
Dr. Klaus-Axel Riemann

Fazit und Ausblick

- 186 **Die künftige Bedeutung der Thermischen Abfallbehandlung für die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft und ausgewählter kommunaler Handlungsfelder**
Dr. Jochen Hoffmeister

Aspekte und Perspektiven



Thermische Verwertung als unverzichtbarer Bestandteil der Kreislaufwirtschaft – Notwendigkeiten, Aufgaben und Perspektiven

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Siechau

Abstract

Seit weit über 100 Jahren ist die thermische Abfallbehandlung in Müllverbrennungsanlagen Eckpfeiler und Garant für Entsorgungssicherheit und mittlerweile mit weiteren positiven Eigenschaften und Attributen wie Schadstoffsenske, Volumenreduktion, Energieerzeuger, Gebührenstabilität und Systemrelevanz zu einem unverzichtbaren Bestandteil der Kreislaufwirtschaft geworden.

Nachdem die Müllverbrennung ihr Image im Laufe der Jahrzehnte kontinuierlich immer weiter und auch zurecht verbessern und steigern konnte, sind aktuell Tendenzen auszumachen, die die Müllverbrennung als Hemmschuh der Recyclingwirtschaft dastehen lassen wollen.

Diese Sichtweise lenkt von der Bedeutung des Verbraucherverhaltens ab, da der Verbraucher mit seinen Wünschen, Neigungen und Entscheidungen die Weichenstellung für den notwendigen Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen Lebensweise entscheidend mitbestimmt. Der Verbraucher entscheidet schon beim Kauf, was wann zu Abfall wird und in der Regel in einer chemisch stabilen Form des CO₂ endet. Natürlich ist die Kette aller am Gesamtsystem -- am Kreislauf -- Beteiligten lang und komplex. Der Verbraucher mit seinem Verhalten spielt aber bei dem notwendigen Transformationsprozess eine herausragende Rolle.

Bekannt und in der Regel den Kommunalen zugeordnete Begriffe wie Citizen Value, Daseinsvorsorge und Gemeinwohl bekommen eine ganz andere, viel allgemeingültigere Bedeutung, wenn man sie dem Verbraucher an der Schnittstelle des Transformationsprozesses zuordnet. Was tut dem Gemeinwohl mehr gut, als ein nachhaltiges Verbraucherverhalten?

In den Fällen, wo der Verbraucher noch nicht „in der neuen Welt“ angekommen ist, hilft die thermische Abfallbehandlung, die Auswirkungen seines „Fehlverhaltens“ zu mindern, indem im Abfallbehandlungsprozess Wertstoffe (Metalle, Salze, Säuren, Schlacken et cetera) ausgeschleust sowie Energien in Form von Strom und Wärme erzeugt und Schadstoffe und Müll-Volumina reduziert werden. Daher ist die thermische Abfallbehandlung für die Kreislaufwirtschaft und den Klima- und Ressourcenschutz alternativlos.

Die Absicht, über Änderungen in „Emissionsgesetzen“ die Müllverbrennung nun auch noch Steuerlasten tragen zu lassen für CO₂-Emissionen, um zusätzliche Einnahmen der öffentlichen Hand zu generieren, ist falsch und ein Irrweg und lenkt von der Ursache der CO₂-Erzeugung ab. Der Verbraucher hatte dieses schon entschieden, bevor sein Produkt als Abfall im Müllbunker einer thermischen Anlage ankommt.

Einleitung

Das Zeitalter der Kreislaufwirtschaft, oder europäisch „Circular Economy“, in Verbindung mit dem „Green Deal“ der Europäischen Union, wird insbesondere von Menschen mit vagen ökologischen Zukunftsvisionen auch als das Ende von thermischer Abfallbehandlung angesehen. Diese Vorstellung erinnert an eine Zeit etwa zur letzten Jahrtausendwende, als die gesamte Entsorgungsbranche, sowohl Kommunale als auch Private, die sich selbst tragende und sich selbst finanzierende Abfallwirtschaft entdeckt und propagiert hatte (Stichwort „Schlupfloch

§ 13 KrW-/AbfG“ für Interessenskonflikte im Hausmüllbereich zwischen kommunalen und privaten Entsorgern), MBAs hoch im (politischen) Kurs standen und spätestens für 2030 -- oder doch erst 2050? -- das absolute Ende der Müllverbrennung prognostiziert wurde.

Was ist aus diesen Ankündigungen geworden? Hatte man die Ziele eventuell leichtfertig zu hochgesteckt, weil man das Verhalten aller an der Zielerreichung zu Beteiligten vorher nicht ausreichend intensiv studiert hatte? Also die Rechnung „ohne den Wirt“ gemacht hatte?

Aktuell müssen wir mit gewissem Erstaunen bis hin zum Entsetzen feststellen, dass einerseits die technischen, wissenschaftlichen und finanziellen Aufwendungen für Recycling immer gigantischer werden und andererseits der Einsatz von Recyclingstoffen sich rückläufig gestaltet und der Wert für Wertstoffe sogar mitunter negativ wird, wie es zum Beispiel bei Papier, Aluminium und Altkleidern schmerzlich zu beobachten ist. Darüber hinaus gestalten sich alle -- in der Tat notwendigen und anerkennenswerten -- Recyclinganstrengungen immer komplizierter, anspruchsvoller und aufwendiger, da die Einsatzstoffe bei Neuwaren und Produkten nicht zuletzt auf Wunsch der Verbraucher immer komplexer werden.

Zurück zur Frage, ob die damalige Rechnung „ohne den Wirt“, den Verbraucher gemacht wurde! Haben wir sein Verhalten nicht ausreichend studiert, oder bei unseren Betrachtungen uns zu sehr mit uns selbst beschäftigt? Oder ging es immer nur um den Wettbewerb „Kommunal versus Privat“?

Im Rahmen der damaligen, jetzt mal wieder aktuellen Umsatzsteuerdebatte, wurde seinerzeit von kommunaler Seite die Frage gestellt, ob die Entsorgung von hoheitlichen Abfällen wirklich eine Frage von wettbewerblichen Vorteilen oder Nachteilen ist. Seien nicht vielmehr Entsorgungssicherheit, Daseinsvorsorge und Gebührenstabilität die ausschlaggebenden Kriterien für eine verlässliche und umweltgerechte Entsorgung?

Wenn man sich insbesondere die Entsorgungssicherheit und zusätzlich die Gesundheit schützende Schadstoffsenske einer Müllverbrennungsanlage (MVA) zu Maximieren macht, erkennt man rasch, dass die thermische Abfallbehandlung ganz wesentlicher Teil einer Kreislaufwirtschaft sein muss, die nicht bei simplen Fragen oder Statements wie „Kommunal versus Privat“, bzw. „Marktmacht versus Gewinnmaximierung“ enden darf. Weitere, dazu gut passende Begriffe wie: Citizen Value, Gemeinwohl und Daseinsvorsorge sollen in diesem Zusammenhang später aufgegriffen, erläutert und mit „kreislaufwirtschaftlichem Sinn“ gefüllt werden.

Ein ganz wesentlicher Teil der neuen Kreislaufwirtschaft ist die bekannte fünfstufige Europäische Abfallhierarchie. Bei genauer und intensiver Betrachtung der anfallenden Abfallfraktionen, der (vertretbaren) technischen Möglichkeiten des Recyclings, der Kosten von Getrenntsammlung und Recycling und bei der Frage nach der Bereitschaft, Recyclingprodukte einzusetzen, gibt es in vielen Fällen zu der thermischen Abfallbehandlung keine Alternative, auch wenn sie in der 5-stufigen Europäischen Abfallhierarchie erst an dritter Stelle steht.

Natürlich sollen Abfälle erst gar nicht anfallen, wenn der Verbraucher die Vermeidung genügend ernst nimmt; vergleichbares gilt für die Wiederverwendung, wenn der Verbraucher „Second Hand, Leasing, Tausch oder Miete“ beherzigt. Danach kommt schon das stoffliche Recycling mit den bekannten und bereits kurz aufgezeigten natürlichen und/oder wirtschaftlichen Grenzen. Für alles, was danach kommt, ist die thermische Behandlung un-



verzichtbar, wenn man nicht auf die in Deutschland glücklicherweise schon „verbotene“ Deponierung zurückgreifen will.

Der „Wirt“ scheint der Verbraucher zu sein und der entscheidet schon beim Kauf der Produkte über ihr Ende; wann das Ende kommt, kann er noch in gewissem Rahmen mitbestimmen, aber mit dem Kauf entscheidet der Verbraucher, dass sein erworbenes Produkt, bis auf wirklich wenige Ausnahmefälle, irgendwann zu CO₂ wird. Dieses trifft, verzögert bei der Wiederverwendung, beim Recycling und bei der Deponierung gleichermaßen zu. Nur bei der Abfall-Vermeidung trifft dieses nicht zu. Insofern ist der Verbraucher der (spätere) CO₂-Erzeuger seiner erworbenen Produkte; dieses ist chemisch inhärent und die meisten Produkte enden - irgendwann - in dieser chemisch stabilen Form. Der Verbraucher entscheidet daher mit seinem Verbraucherverhalten über die spätere CO₂-Belastung und damit über die Klimabelastung, wobei natürlich die Wechselwirkungen und Diskussionen zwischen Verbraucher, Hersteller und Inverkehrbringer für das Maß der Klimabelastung an Bedeutung gewinnen werden.

Es ist daher festzuhalten, dass nicht die Abfallbehandlung, die Müllverbrennung, für den CO₂-Ausstoss ursächlich verantwortlich ist, sondern der Verbraucher über sein Verbraucherverhalten.

Da in einer MVA die Abfallbehandlung örtlich und zeitlich gezielt erfolgt, ist dieses Verfahren mit Schadstoffsenke und in der Regel umfangreicher Energienutzung als technische Errungenschaft und alternativloser unverzichtbarer Bestandteil der Kreislaufwirtschaft anzusehen. Das Bild von auf Müll und Profit wartender Müllverbrennungsanlagen ist daher chemisch, technisch und klimapolitisch falsch.

Diese Alternativlosigkeit wird noch deutlicher, wenn man einen Vergleich zu den „erneuerbaren Energien“ herstellt. Kohle, Öl und Gas können zum Beispiel in der Stromerzeugung durch Wind, Sonne und Gezeiten ersetzt werden; bei der thermischen Abfallbehandlung ist eine derartige Verfahrens-Substitution nicht möglich.

150 Jahre thermische Abfallbehandlung

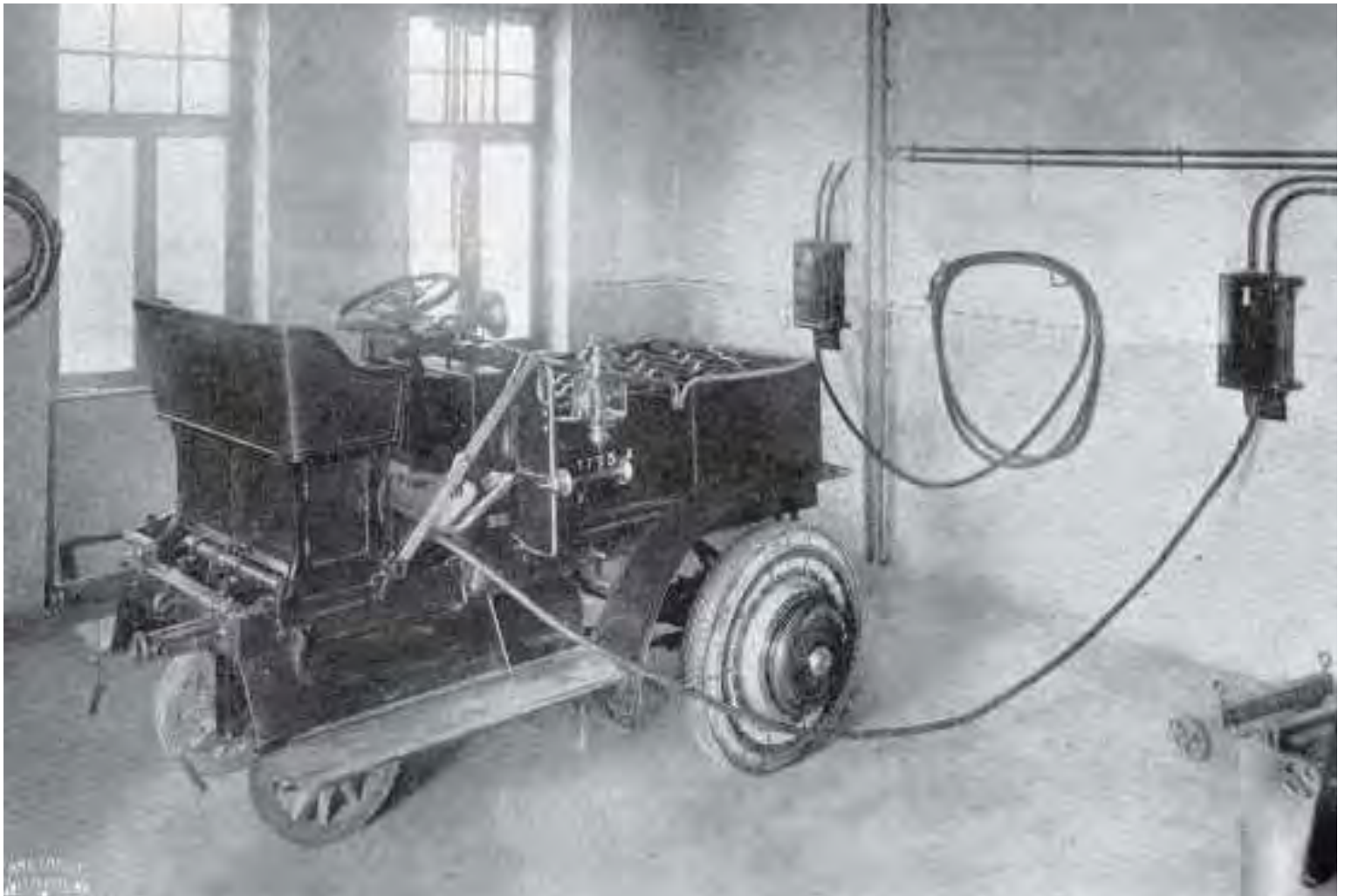
Thermische Abfallbehandlung hat in Europa und insbesondere in Deutschland lange Tradition. Nach der ersten Müllverbrennungsanlage (MVA) in England (Inbetriebnahme 1870), wurde 1896 in Hamburg (1) die erste MVA auf europäischem Festland in Betrieb genommen; nur 100 Jahre später stand in Hamburg die MVR Rugenberger Damm kurz vor ihrer ersten Inbetriebnahme und war das Beste und Modernste, was Ingenieure des Anlagen- und Kesselbaus europa- oder gar weltweit zu bieten hatten. Über die vielen Jahrzehnte hat sich Müllverbrennung in Deutschland etabliert und es gibt deutlich mehr Befürworter als Gegner dieser Technologie. Es gibt durchaus Gründe für die anfängliche Skepsis und ist auf dem Zeitstrahl technischer Entwicklungen häufig zu beobachten und daher nicht ungewöhnlich.

Keine geringere Enzyklopädie als „Der Neue Brockhaus“ hatte in seiner Ausgabe (2) des Jahrganges 1956 unter dem Stichwort „Müllverbrennung“ etwas Vernichtendes vermerkt: „... Teufelswerk, verbunden mit großen Emissionen; ... viel zu teuer und gegenüber der Deponierung nicht zu bevorzugen; die ist schon für 10 bis 20 Mark je Tonne zu haben ...“

Fotos (1) aus den Bildarchiven der Stadtreinigung Hamburg, die die Anfang der 1970er Jahre nur nach Baurecht zu genehmigende MVA Stellingner Moor zeigen, lassen die spätere Wirkung von Filter- und Abscheideanlagen erahnen. Staubschichten auf Fahrzeugen der Mitarbeiter degradieren diese zu Ka-



MVA Bullerdeich
(Inbetriebnahme 1896) und
MVR Rugenberger Damm
(Inbetriebnahme 1999),
Hamburg,
Quelle: Stadtreinigung
Hamburg



Ladestation der MVA Führt für Elektro-Zugmaschinen (1911) und Hansa-Lloyd Elektro-Schlepper der Müllabfuhr in Hamburg, Quelle: Breer, Stadtreinigung Hamburg

rosserie-Silhouetten und zeugen von enormer technischer Entwicklung bei gleichzeitigem Verständnis für die Brockhaus-Eintragungen.

Auch die mittlerweile über 100 Jahre alten Aufzeichnungen (1) damaliger Betriebsleiter zeigen den fortwährenden Entwicklungsdrang von Technikern und Ingenieuren und können als Keimzelle der Elektromobilität angesehen werden. Mit der im Verbrennungsprozess erzeugten Energie wurden schwere Bleiakkumulatoren aufgeladen, die in so genannten „Elektromobil-Zugwagen“ für erste elektrische Mülltransporte eingesetzt wurden.

An dieser Stelle sei die Frage erlaubt, ob sich das Verbraucherverhalten komplett geändert oder anders entwickelt hätte, wenn die Müllverbrennung sich nicht so klima- und ressourcenfreundlich sowie emissionsarm weiterentwickelt hätte. Es ist müßig, hier nicht weiter auf die Frage „wem gehört das CO₂“ einzugehen!

Vor weit über 10 Jahren (2008) titelten verschiedene Tageszeitungen (3, 4, 5) folgende Überschriften: „A Whiff of Naples Arrives Hamburg“ und „Why Is Germany Collecting Italy's Trash?“. Diese bis dahin einmalige Kooperation zwischen Italien und Deutschland schaffte es bis in die 20.00 Uhr-Tagesschnachrichten mit beeindruckenden Bildern aus der MVA-Anlieferhalle und dem Hamburger Kommentar: „we were asked to provide emergency aid“.

Auch die erheblichen Probleme und Gefahren im Jahre 2000, die sich aus großen Beständen europäischen Tiermehls mit BSE-Verdacht ergaben, konnten mit deutschen Müllverbrennungsanlagen für einige EU-Mitgliedsstaaten gelöst werden. Hierzu wurde eigens im Jahre 2001 im Auftrag von BMU und UBA ein „Technischer Anforderungskatalog Tiermehl“ (6) von der Dr.-Ing. A. Nottrodt GmbH entwickelt, um kurzfristig den aktuellen Stand des Wissens und der Erfahrungen bei der Verbrennung von Tiermehl, Tierfett und sonstigen bei der Tierkörperbeseitigung anfallenden Stoffe zusammenzutragen und zu sichten.

Müllverbrennungsanlagen mit den Attributen „Schadstoffsénke, Volumenreduktion, Hygiene und Volksgesundheit“ wurden zum Dach Europäischer Hilfsprogramme und zeigten die Qualitäten und Stärken dieser Technologie. Auch hier war MVA-Technik zur Stelle, um die Unzulänglichkeiten „internationaler“ Verbraucher zu heilen; nicht umgekehrt.

Der Besonderheit der MVA-Technologie und damit häufig verbundener besonderer Ereignisse scheint es geschuldet, dass die Müllverbrennungsanlagen den ewigen und inhärenten Streit zwischen kommunaler und privater Entsorgungswirtschaft angeheizt und je nach öffentlicher Diskussion über Sinn, Zweck und Umweltbedeutung der Anlagen, diese mal der „Kommunalen“, mal der „Privaten“ Seite zum Glänzen gedient haben.

Unabhängig der Eigentümerschaft der Anlagen, egal ob kommunal, privat oder gar multinational, die Anlagen dienen der Schadstoffsénke, der Volumenreduktion, der Hygiene und damit der Volksgesundheit, dienen als Energielieferant – Versorger -- sowie als Lieferant für Baustoffe und Ressourcen. Kurz gesagt, die Anlagen dienen ALLEN - der Allgemeinheit -, dem Gemeinwohl, dem Citizen Value und der Daseinsvorsorge. Das sind anlageninhärente Eigenschaften; unabhängig von kommunal, privat, PPP oder multinational.

Aktuelle Bedeutung und Status von thermischer Abfallbehandlung

Neben der Bedeutung einer MVA zur Entsorgungssicherheit, Hygiene und Schadstoffsénke, sind viele Müllverbrennungsanlagen an dezentrale oder zentrale Energieversorgungssysteme angeschlossen. Je nach Fahrweise der Anlagen und Ausgestaltung der Technik tragen diese zur Versorgungssicherheit

(Strom und/oder Wärme) bei; die erzielten Erlöse mindern in der Regel die Kosten der Abfallbehandlung.

Der Beitrag der MVA zur Energieversorgung spricht dafür, MVAs vornehmlich innerstädtisch-zentral anzusiedeln; Verkehr und Emissionen dagegen eher für Standorte außerhalb von Ballungsräumen. Ein Studium der Örtlichkeiten der fast 80 deutschen Müllverbrennungsanlagen macht diese diametrale Betrachtungsweise deutlich.

Nach einer Studie (7) der Technischen Universität Hamburg (TUHH-IUE) über Anlagendurchsätze und Heizwerte von Abfällen, ist der Anteil der thermischen Abfallbehandlung an der bundesdeutschen Energieversorgung rasch berechnet; für die gesamten jährlich in Deutschland anfallenden Siedlungsabfälle errechnet sich mit einem durchschnittlichen Heizwert von 10 Megajoule je Kilogramm ein theoretisch nutzbarer Energiegehalt von etwa 144 Terrawattstunden pro Jahr (Daten aus 2016). Um Techniklastigkeit dieser Ausführungen zu vermeiden, sollen weitere derartige Berechnungen hier nicht angestellt werden. Der oben genannt Anteil ist eher bescheiden, aber trotzdem macht es Sinn, den Sektor der Energieerzeugung aus Abfall in die angestrebte Energie- und Flexibilisierungswende mit einzubeziehen.

Deutschland hat sich ambitionierte Ziele im Rahmen der Energiewende gesteckt; der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll in den kommenden Jahren deutlich ausgebaut und bis Mitte dieses Jahrhunderts soll die Energieversorgung klimaneutral, also auf Basis erneuerbarer Energien realisiert werden. Daher verändert sich das deutsche Energiesystem sukzessive und fossile Energieträger werden immer mehr durch erneuerbare ersetzt. Derzeit ist der „erneuerbare“ Anteil im Stromsektor, verglichen mit dem Anteil im Wärmesektor, eher hoch. Die angestrebten sukzessiven Veränderungen erfordern insgesamt eine immer weitergehende Flexibilisierung des gesamten Energieerzeugungssystems. Dies betrifft, auch wenn nur in geringem Umfang, die Einbindung von Energie aus Abfällen. Diese wird bisher primär getrieben durch die kontinuierliche und sichere Entsorgung überwiegend im Grundlastbereich, eingesetzt sowohl im Strom-, als auch im Wärmesektor.

Siedlungsabfall wird (in Deutschland) in Müllverbrennungsanlagen, in Ersatzbrennstoffverbrennungsanlagen und in Mitverbrennungsanlagen (zum Beispiel Kohlekraftwerke, Zementwerke) thermisch behandelt. In derartigen thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB) kann eine energetische Verwertung oder eine thermische Beseitigung durchgeführt werden; der Unterschied liegt formal in der Energieeffizienz des Umwandlungsprozesses. Dabei sind die meisten in Deutschland derzeit betriebenen Anlagen aufgrund ihrer Energieeffizienz als Verwertungsanlagen anerkannt, wobei allerdings primäre Aufgabe dieser Abfallbehandlungsanlagen die Sicherung der Abfallentsorgung ist.

Durch eine Änderung der bisherigen Betriebsweisen (7) und/oder vertretbaren technische Anpassungen zeigt sich, dass die energetische Verwertung von Siedlungsabfällen durchaus Optionen zur Flexibilisierung der Stromerzeugung bietet und so insgesamt einen – wenn auch nur geringen – Beitrag zur Flexibilisierung des deutschen Stromversorgungssystems leisten könnte. Aus Sicht der Abfallwirtschaft ist eine weiterführende und vor allem auch ökonomische Betrachtung dieser Optionen auch im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung des Stromversorgungssystems sinnvoll. Zudem müssen konkrete Beispiele vertieft betrachtet werden, da der Anlagenpark der energetischen Abfallverwertungsanlagen deutschlandweit sehr inhomogen ist und die Anlagen häufig standortspezifisch ausgelegt sind, was eine Pauschalisierung von technologischen und wirtschaftlichen Randbedingungen erschwert.





Vollelektrischer Müllwagen
mit Volvo-Fahrgestell und
FAUN-Aufbau,
Quelle: Stadtreinigung
Hamburg,

Neben der „klassischen Energieerzeugung“ in Müllverbrennungsanlagen kommen aktuell im Rahmen von Zukunftsstrategien nachhaltig wirkende Prozesse in die Diskussion.

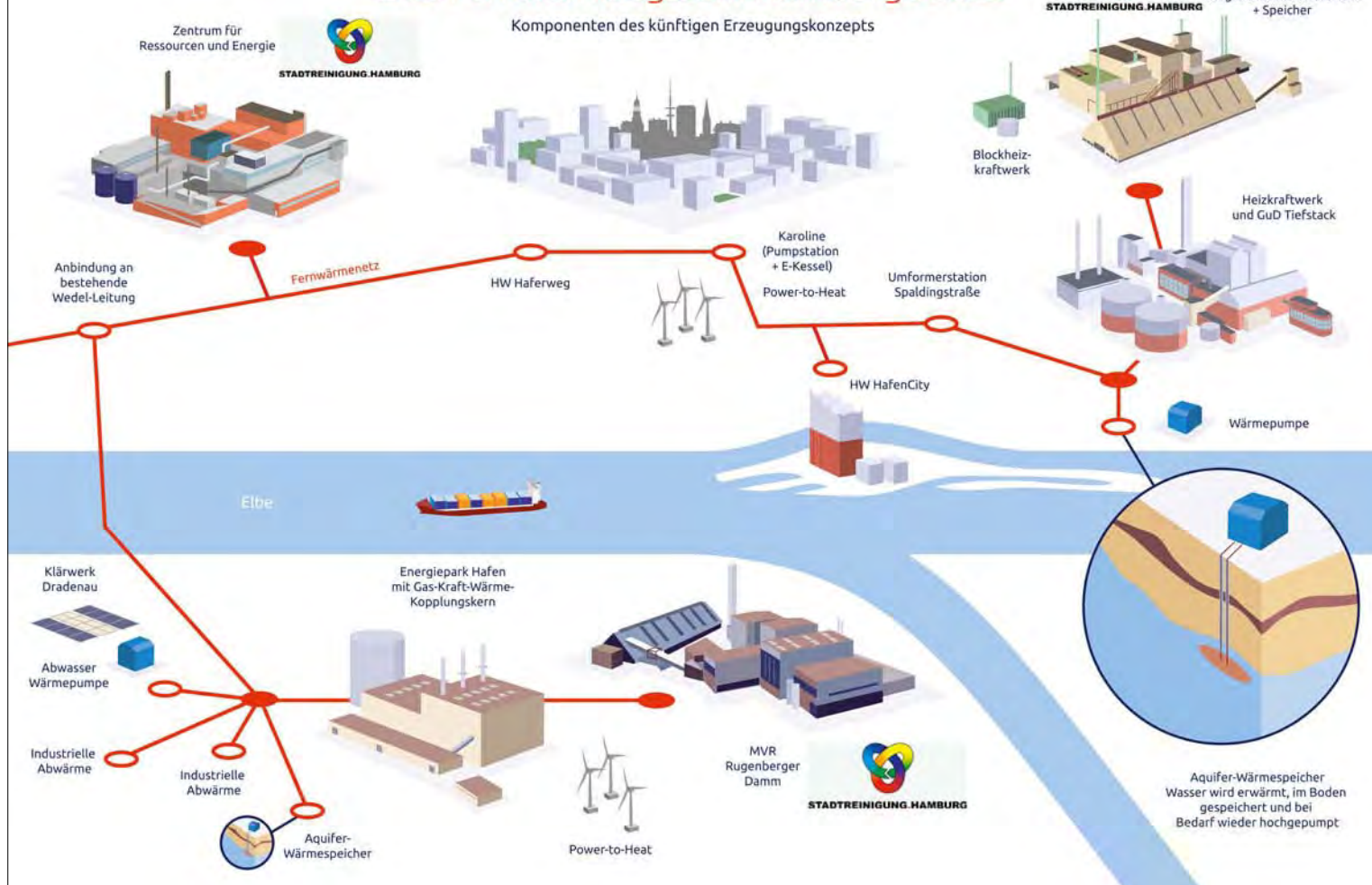
Anstelle den in der MVA erzeugten Strom „ungeregelt“ für geringste Erlöse an die Strombörse zu geben, könnte man den Strom in einer Elektrolyse für die Erzeugung von Wasserstoff nutzen. Zusätzlich eingesparte Durchleitungskosten könnten die H₂-Herstellung wettbewerbsfähig gestalten; die „Klimaneutralität“ des erzeugten Stromes aus Abfall erzeugt „grünen Wasserstoff“. Der auf diese Weise erzeugte Wasserstoff kann anschließend in Flaschen abgefüllt, weiterführenden technischen Prozessen dienen. Eine direkte Nutzung des H₂ vor Ort in Brennstoffzellen-Müllfahrzeugen wäre ebenfalls denkbar und darstellbar.

Im Rahmen einer weiter voranschreitenden Dekarbonisierung, könnte auch das in der MVA entstehende CO₂ mit dem erzeugten H₂ zu synthetischen Kraftstoffen umgewandelt und in Müllfahrzeugflotten ohne wesentliche Änderungen der Motoren eingesetzt werden. Auf diese Weise kann man sich dann auch Müllverbrennungsanlagen als Kohlenstofflieferant vorstellen, wenn von einer zukünftig „de-karbonisierten Welt“ ausgegangen wird.

Neben der abfallwirtschaftlichen Entsorgungssicherheit bieten MVAs daher auch ein nennenswertes Maß an Versorgungssicherheit und tragen durch ihre Klimaneutralität in der Energieerzeugung erheblich zum Klimaschutz bei. Die in Müllverbrennungsanlagen erzeugten Wärme- und Strommengen sind nicht mit CO₂-Emissionen behaftet; der Primärenergiefaktor der Abfall-Wärme beträgt „Null“.

Die dargestellte nachhaltige Wasserstoffstrategie (8) als Annex einer MVA ist technisch möglich und zukunftsgerichtet und rundet das Bild einer sauberen

Das Fernwärmesystem Hamburgs 2025



Energiequelle, hinter den dargestellten hervorragenden abfallwirtschaftlichen Eigenschaften, ab.

Fernwärmesystem Hamburg 2025, Quelle: <https://energiepark-hafen.hamburg/energiepark-hafen/das-erzeugungskonzept/>

Neben dem energetischen Output liefern Müllverbrennungsanlagen auch Wertstoffe, die die natürlichen Ressourcen schonen. Metalle verlassen die Müllverbrennungsanlagen in hoher Reinheit und Qualität; Säuren, Salze und Gips können für industriell-technische Prozesse mit hohem Reinheitsgrad eingesetzt werden. Müllverbrennungsschlacke kann als hochwertiger Recyclingbaustoff im Straßen- und Wegebau eingesetzt werden und neuartige Schlackenbehandlungsverfahren liefern NE-Metalle und seltene Erden mit hohen Erlösarten.

Nicht unerwähnt bleiben soll an dieser Stelle die Möglichkeit der Erzeugung von Biogas aus der biogenen Fraktion des Hausmülls; diese Fraktion kann in einer Vorschaltanlage einer MVA generiert werden und zu einem gasnetztuglichen Produkt aufbereitet werden. Eine Kombination mit den genannten zukunftsweisenden „grünen“ Technologien Wasserstoff und synthetischer Kraftstoff ist weiter vorstellbar.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Müllverbrennungsanlagen ganz besonders zum Klima- und Ressourcenschutz beitragen – und das „nur im Nebeneffekt“ zur eigentlichen Entsorgungssicherheit. In der Tat ein bemerkenswerter Beitrag, da die Anlagen ja eigentlich nur die Unzulänglichkeiten der Verbraucher ausgleichen sollen.

Die Ausführungen zeigen, dass die Müllverbrennung ein wichtiges Element der Kreislaufwirtschaft, der Circular Economy, ist. Die Anlagen heilen nicht nur die umweltbelastenden Schwächen der Verbraucher, sondern liefern klimaneutrale Energie und ein ganzes Bündel hochwertiger Rohstoffe. Inhärent ist dem Verbrennungsprozess die CO₂-Erzeugung, die aber nicht auf das Konto

der MVA oder Abfallbranche gehen darf, sondern allein dem Verbraucher anzulasten und zuzurechnen ist. Der Verbraucher entscheidet schon beim Kauf der Produkte über deren Ende. Daher ist auch absurd, dass im Abfallbehandlungsprozess entstehende CO₂ den Müllverbrennungsanlagen, der Entsorgungsbranche, den Energienutzern (Energieversorger für Strom und Wärme) oder gar den Gebührenzahler zurechnen oder anzulasten; sei es in Form einer CO₂-Abgabe oder CO₂-Steuer.

Der einzige und richtige Weg wäre die Adressierung einer derartigen Abgabe an den Verbraucher, denn schon bei der Kaufentscheidung für ein Produkt durch den Verbraucher wird über Lebenslauf und Ende -- als CO₂ -- des Produktes entschieden; dafür und zu diesem Zeitpunkt sollte eine Emissionsabgabe fällig werden. Aktuell wirkt es aber als unausgegrenzte Idee, sich leerende öffentliche Kassen mit Emissionssteuern füllen zu wollen und dieses über entsprechende Änderungen von europäischen und deutschen Gesetzen anzustreben. Das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) und das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) seien hier explizit genannt.

Man kann daher nur hoffen, dass Politik, Gesellschaft und Gesetzgeber die Bedeutung der Müllverbrennung in der Kreislaufwirtschaft mehr denn je erkennen, akzeptieren und schätzen, um dann auch entsprechend zu handeln. Eine Besteuerung von Müllverbrennung aus Umweltschutzgründen kommt daher einem Schildbürgerstreich gleich und wird dieser alternativlosen Technologie nicht gerecht.

Abfallverbrennung in Krisenzeiten

Einschätzungen Dritter zur Bedeutung der Abfallverbrennung sollen nachfolgend stichwortartig beleuchtet werden. In einer Kurzstudie des UBA (9) unter dem Titel „Abfallverbrennung ist kein Gegner der Abfallvermeidung“ ist ein Katalog mit 10 Argumenten zusammengestellt worden:

- Abfallvermeidung in Produktion und Konsum
- Ressourceneffiziente Produkte
- Aufzehren der Effizienzgewinne durch Mengensteigerung
- Verbraucherverhalten
- Entsorgungserfordernis
- Einfluss langfristiger Entsorgungsverträge
- Produktverantwortung
- Höchste Verwertungsquoten trotz Restmüllverbrennung
- Sortenreinheit als Verwertungsvoraussetzung
- Entsorgungssicherheit durch Abfallverbrennung

Das Institut Fraunhofer UMSICHT (10) kommt in einem Bericht „Zur Rolle der Thermischen Abfallbehandlung in der Circular Economy“ aus dem Jahre 2017 zu ähnlichen Erkenntnissen hinsichtlich der Notwendigkeit und Bedeutung der thermischen Abfallbehandlung und merkt an, dass thermische Abfallbehandlung auch langfristig ein wichtiger Baustein der Abfallbehandlung bleibt.

Inertisierung, Hygienisierung, Konzentrierung von Schadstoffen - Schadstoffsenke -, Energieerzeugung und Wertstoffbereitstellung als Beiträge zum Klima- und Ressourcenschutz werden als besondere Eigenschaften herausgestellt, ebenso wie die Notwendigkeit von verbessertem Produktdesign, Änderung von Gesetzen und Nutzungsverhalten sowie der Ausbau von Innovation und Flexibilität.

In der einschlägigen Literatur finden sich viele dieser Argumente wieder und machen die Müllverbrennung zu einem festen und unverzichtbaren Bestandteil der zirkulären Wirtschaft. Eine weitere Kostenbelastung über Emissionsabga-



Titelbilder der Broschüren "Abfallverbrennung ist kein Gegner der Abfallvermeidung" (UBA, 2008) und "Zur Rolle der Thermischen Abfallbehandlung in der Circular Economy" (Fraunhofer UMSICHT, 2017).
Quelle: Mlodoch

ben wäre daher unangemessen und die Technik sollte nicht für Versäumnisse der Verbraucher benachteiligt oder in schlechtes Licht gerückt werden.

Daher ist dem Verbraucherverhalten und allen am Kreislauf Beteiligten mehr Aufmerksamkeit als bisher hinsichtlich ihres Engagements und ihrer Beiträge zu einer nachhaltigen Umweltentlastung zu schenken. Dem Produktdesign und der Produktbeschaffenheit im Sinne von „weniger ist mehr“, müssen wir bei dem notwendigen Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen Lebensweise größte Aufmerksamkeit schenken.

Die mehrfach dargestellte Schadstoffsenske der Müllverbrennungstechnologie wird sehr häufig im Zusammenhang mit der Rückhaltung von Dioxinen, Furanen, Kohlenwasserstoffen, Schwermetallen, Quecksilber, kanzerogenen Feinststäuben und ähnlichen schädlichen Stoffen genannt. Auch wenn die Nennung oder Aufzählung dieser Stoffe allein schon besorgniserregend wirkt, sind die im Rahmen dieser Technologie entwickelten Filter- und Abscheidetechniken dermaßen hoch entwickelt, dass letztendlich vom Abgasstrom einer MVA keine Gesundheitsgefahren mehr ausgehen. Dafür sprechen die gesetzlichen Grenzwerte, das BImSch-Genehmigungsverfahren für die Anlagen und letztendlich auch die teilweise um Zehnerpotenzen niedriger liegenden tatsächlichen Emissionswerte der Anlagen, die auch turnusmäßig veröffentlicht und der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden.

In den letzten Monaten hat sich ein weiterer „Schadstoff“ zu der Diskussion um die Volksgesundheit hinzugesellt; es handelt sich um den COVID-19-Virus, die „Corona-Pandemie“. Dieser Virus hält aktuell die Welt in Atem und prägt über Krisenstäbe, Home-Office, Schutzausrüstungen, versetzte Arbeitszeiten und eine gerechte Bezahlungsdiskussion auch das Bild unserer Entsorgungsbranche.

Auch hier kann die Müllverbrennung punkten und das gleich in doppelter Hinsicht. COVID-19 kontaminierte Abfälle aus Haushalten, Alten- und Pflegeheimen, Krankenhäusern und gewerblichen Einrichtungen werden entsprechend konditioniert den Anlagen zugeführt und der Virus im Verbrennungsprozess nachhaltig zerstört. Daher war es zu erwarten und folgerichtig, dass die Bundesregierung im Rahmen einer Anfrage der thermischen Anlagenbetreiber den Müllverbrennungsanlagen und der gesamten Abfallbehandlung die Systemrelevanz bescheinigt (11) hat. Die Bedeutung und Systemrelevanz der thermischen Abfallbehandlung wird zukünftig entscheidend darüber mitbestimmen, wie resilient unsere Abfallwirtschaft, insbesondere in Krisenzeiten, ist. Bekannte Begriffe wie Citizen Value, Gemeinwohl und Daseinsvorsorge werden die genannte Resilienz mitbestimmen, wobei es unbestritten und gewollt ist, dass diese Begriffe eine kommunale Prägung haben.

Müllverbrennung ist auch daher ein Teil der Kreislaufwirtschaft, systemrelevant und Bestandteil der Daseinsvorsorge. In einer breit angelegten Studie beabsichtigt die Technische Universität Hamburg (TUHH), die Resilienz bundesdeutscher Abfallwirtschaft in Krisen- und Pandemiefällen näher zu untersuchen; eine notwendige und verdienstvolle Arbeit, wenn man sich die vielen oft gegensätzlichen Aussagen der Branche (Kommunal und Privat) dazu in den letzten Monaten anschaut.

Abschließend sei erwähnt, dass die Planungen der Stadtreinigung Hamburg für ein Zentrum für Ressourcen und Energie (ZRE), das im Jahre 2025 in Betrieb gehen soll, Ausdruck von der Notwendigkeit diverser verknüpfter Abfallbehandlungstechniken ist, um zukünftig alle fünf Hierarchiestufen der Abfallwirtschaft flexibel bedienen zu können.



Abfallsammlung und Müllbunker, Hamburg, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Abbildung folgende Seiten: MVR Rugenberger Damm, Hamburg, Quelle: Breer

Müllheizkraftwerke sind unverzichtbarer Teil der städtischen Infrastruktur und der Kreislaufwirtschaft.





Zusammenfassung

Klimawandel, Endlichkeit natürlicher Ressourcen und Umweltzerstörungen sind irreversible Prozesse und daher nicht mehr rückgängig zu machen. Die Abfallwirtschaft mit ihren vielen Akteuren, den umfänglichen und vielfältigen technisch-wissenschaftlichen Möglichkeiten sowie dem zur Verfügung stehenden gesetzlichen Rahmen können die negativen Auswirkungen und das weitere Voranschreiten lediglich mildern und begrenzen. Selbstverständlich und gerade deshalb müssen alle Anstrengungen zur Abfallvermeidung und Abfallreduzierung unternommen werden. Dieses allein wird aber bei weitem nicht ausreichend sein, um dem Klimawandel und den fortschreitenden Umweltzerstörungen entscheidend entgegenzuwirken. Im Sinne des „Green Deal“ ist ein umfangreicher Transformationsprozess hin zu einer verantwortungsvolleren Lebensweise mit allen Konsequenzen dringend erforderlich, bei dem jeder Einzelne gefragt ist und Mitverantwortung für das Gelingen dieses Prozesses trägt; alle am „Kreislauf“ Beteiligte müssen dazu zusammengebracht werden.

Der Europäische „Green Deal“ für einen klimaneutralen Kontinent mit nachhaltiger Wirtschaftstätigkeit macht den notwendigen Umdenkungsprozess deutlich und fordert alle Mitgliedsstaaten zum Handeln auf. Zahlreiche geplante Maßnahmen im Abfall-, Kunststoff- und Abfallvermeidungsbereich lassen die Notwendigkeit und Ernsthaftigkeit des Handelns auch in der Abfallwirtschaft deutlich erkennen. Häufig reichen die Maßnahmen, Gesetze und Vorschriften nicht aus, da es sich oft nur um „Lippenbekenntnisse“ oder „Selbstverpflichtungen“ handelt. Wenn der Transformationsprozess gelingen soll, müssen die Ziele klar, die Arbeitsfelder abgesteckt, die Kosten und Finanzierung geregelt und Sanktionen umsetzbar und wirksam sein. Davon sind wir aktuell aber noch ein Stück weit entfernt.

Bezogen auf unsere Branche wird oft übersehen, dass eine abfallfreie Welt eine Idealvorstellung und kaum darstellbar und realisierbar ist. Die Notwendigkeit des Vorhandenseins hochwertiger Abfallbehandlungskapazitäten ist daher erforderlich, da sonst die weltweite Deponierung von Abfällen mit hohen Umweltschäden nicht beendet wird und die weiteren Vorteile der thermischen Abfallbehandlung nicht zur Anwendung kommen. Zum Beispiel wurde seinerzeit durch den Verzicht auf Deponierung etwa 20 Prozent der deutschen Kyoto-Verpflichtungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht, wobei kommunale Entsorger dabei einen maßgeblichen Anteil hatten. Es ist wichtig, dass die EU in den kommenden Jahren daher ihre abfallwirtschaftlichen Aktivitäten in Richtung Klima- und Ressourcenschutz verstärkt und ausbaut.

Fasst man all diese Eigenschaften und Aspekte zusammen, ist die thermische Abfallbehandlung ein wichtiger Eckpfeiler der Kreislaufwirtschaft. Sie ist verbraucherfreundlich, krisensicher, ökoeffizient und systemrelevant. Die thermische Abfallbehandlung ist kein Selbstzweck und keine reine Energieerzeugungsanlage, der mit Abgaben oder Steuern das CO₂ „ausgetrieben“ werden muss. Die Unzulänglichkeiten der Verbraucher im Rahmen ihres Verbraucherverhaltens sind das Übel, welches glücklicherweise mit einer thermischen Behandlung deutlich reduziert werden kann. Weniger Müllverbrennung geht daher erst, wenn Verbraucher ihr Verhalten erkennen und ändern.

Literatur

1. 100 Jahre Müllverbrennung
Schriftenreihe Stadtreinigung Hamburg, AöR (SRH)
Hamburg, 1996
2. Der Neue Brockhaus
Enzyklopädie, Ausgabe 1956
3. A Whiff of Naples Arrives in Hamburg
The New York Times
Elisabeth Rosenthal
New York, June 9, 2008
4. Why is Germany Collecting Italy's Trash?
ABC News
Christel Kucharz
Passau, Germany, June 11, 2008 and New York, January 8, 2009
5. Germany Picks Up Scent of Profit In Solving Naples' Trash Crisis
Digital Journal, Stacy Meichtry and Almut Schoenfeld
May 27, 2008
6. Technische Anforderungen Tiermehlverbrennung
Projektleitfaden für das BMU und UBA
Dr. A. Nottrodt, Dipl.-Ing. J. Chibiorz, Wandschneider + Gutjahr
Berlin / Hamburg, 23.02.2001
7. Flexibilisierungsoptionen in der energetischen
Siedlungsabfallverwertung
Ronja Grumbrecht, Stadtreinigung Hamburg, und TUHH
Hamburg, 29.04.2020
8. Wasserstoffstrategie der Stadtreinigung Hamburg (SRH)
Unveröffentlicht, September 2020
9. Abfallverbrennung ist kein Gegner der Abfallvermeidung
Umweltbundesamt (UBA), Pressestelle
Juli 2008
10. Rolle der Thermischen Abfallbehandlung in der Circular Economy
Fraunhofer UMSICHT
August 2017
11. EUWID
Gesamte Abfallbehandlung Systemrelevant
E-Paper – EUWID Recycling und Entsorgung
30.03.2020



Autor

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Siechau
Sprecher der Geschäftsführung
Stadtreinigung Hamburg
Bullerdeich 19
20537 Hamburg
www.stadtreinigung.hamburg



Thermische Abfallverwertungsanlage Delfzijl, Niederlande, Quelle: EEW

Globale Trends in der Thermischen Abfallbehandlung: Zwischen Hygienisierung und Rohstoffsicherung

Bernard M. Kemper

Hygiene ist von elementarer Bedeutung für die Menschheit. Das hat uns nicht zuletzt der weltweite Ausbruch der Coronavirus-Pandemie vor Augen geführt. Auch die thermische Abfallbehandlung leistet ihren Beitrag zur öffentlichen Hygiene, indem sie sowohl kontaminierte Krankenhausabfälle als auch gemischte Siedlungsabfälle sicher entsorgt. Entsorgungssicherheit hat einen Wert an sich, und in Krisensituationen wie den vergangenen Monaten schätzen wir sie ganz besonders. Nicht umsonst haben Bund und Länder thermische Abfallbehandlungsanlagen in der Hochphase der Pandemie in Deutschland zur systemrelevanten Infrastruktur erklärt. Doch global betrachtet, ist diese Infrastruktur alles andere als selbstverständlich.

Corona könnte erst der Anfang gewesen sein. Jüngst warnte die Stiftung Weltwirtschaftsforum vor weiteren Pandemien, möglicherweise schlimmer als Covid-19 (WEF, 2020, S. 4). Immer mehr Menschen leben auf potenziell engem Raum zusammen. Nach Angaben der Deutschen Stiftung Weltbevölkerung (DSW) leben aktuell rund 7,8 Milliarden Menschen auf der Erde, bis zum Ende des Jahrhunderts werden es vermutlich etwa elf Milliarden Menschen sein (DSW, 2020). Unter diesen Bedingungen ist Seuchenschutz ein Megathema von höchster Systemrelevanz. Zum Klimawandel, dem Artensterben, der Umweltverschmutzung und der Nahrungsmittel- und Rohstoffversorgung gesellt sich die öffentliche Hygiene als eine weitere große Herausforderung unserer Zeit.



Für die Abfallwirtschaft heißt das – ganz konkret – dass wir endlich aussteigen müssen aus der Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle. So schnell wie möglich. Weltweit.

Wilde Müllkippe,
Quelle: Mlodoch

Global betrachtet sind wir sehr weit entfernt von einer nachhaltigen Abfallbewirtschaftung

Global betrachtet ist der Weg zu einer nachhaltigen Entsorgungswirtschaft allerdings noch weit. Nach Angaben der Weltbank sind im Jahr 2016 etwa zwei Milliarden Tonnen Siedlungsabfälle angefallen (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2020). Die Menge wird bis 2050 auf schätzungsweise rund 3,4 Milliarden Tonnen ansteigen. Unter der optimistischen Annahme, 65 Prozent davon recyceln und als Sekundärrohstoffe in den Wirtschaftskreislauf zurückführen zu können, bleibt für das Basisjahr 2016 im besten Fall also immer noch ein Restmüllanteil von 700 Millionen Tonnen, der bis 2050 auf rund 1,2 Milliarden Tonnen ansteigen wird. Die einzig sinnvolle Behandlungsmöglichkeit für diesen Restmüll ist die Thermik.

Aber für diese Restmüllmenge haben wir auf der Erde nicht einmal ansatzweise genügend thermische Behandlungskapazitäten: Laut Ecoprog waren Ende 2018 weltweit rund 2.450 Müllverbrennungsanlagen mit einer Behandlungskapazität von rund 370 Millionen Tonnen in Betrieb (Ecoprog, 2020). Grob geschätzt können wir derzeit also – unter der Bedingung funktionierender Recyclingmärkte – rund die Hälfte des weltweit anfallenden Restmülls fachgerecht entsorgen. Jede zweite Tonne Hausmüll landet im besten Fall auf einer abgesicherten Deponie – und wird im schlimmsten Fall einfach irgendwo hingekippt.

Hinzu kommt eine weitgehend unbekannte Menge an Gewerbe- und Industrieabfällen. In ihren Global Waste Management Outlook schätzten die Vereinten Nationen im Jahr 2015 das weltweite Aufkommen an „urban waste“ – also Abfälle aus Haushalten sowie von Industrie und Gewerbe und aus dem Bau- und

Abbruchbereich – auf sieben bis zehn Milliarden Tonnen (Wilson, Modak, Soos, & al., 2015, S. 52). Was mit dem Abfall derzeit passiert ist weitestgehend unklar. Klar ist jedoch, dass eine geregelte Müllabfuhr und eine fachgerechte Entsorgung im globalen Maßstab nach wie vor nicht der Standard ist und wir daher bei einem großen Teil dieser Abfälle von einer mitunter unregelmäßigen Deponierung ausgehen müssen.

Vom Sorgenkind zum Musterschüler? China macht riesige Fortschritte

Jahrelang galt Südostasien als eine der Weltregionen mit den größten Umweltproblemen. Vermögige Megacities, verseuchte Böden, vermüllte Flüsse: Wissenschaftler führten bis zu 94 Prozent der Kunststoffabfälle in den Weltmeeren auf nur zehn Flüsse zurück (Schmidt, Krauth, & Wagner, 2017). Die Hälfte dieser hochgradig verschmutzten Flüsse fließt zumindest teilweise durch chinesisches Territorium.

Bei aller berechtigten Kritik an der Umweltverschmutzung in China: Gerne wird übersehen, welche riesigen Fortschritte das Land im Bereich des Umweltschutzes und ganz besonders in der Abfallbehandlung in den vergangenen Jahren gemacht hat.

Nach Angaben der chinesischen Statistikbehörde sammelten die Mülltransporter im Reich der Mitte im Jahr 2004 rund 155 Millionen Tonnen Siedlungsabfall ein. Einer Entsorgung zugeführt wurden davon aber nur knapp 81 Millionen Tonnen. Das heißt, nur etwa die Hälfte der Abfälle, die gesammelt wurden,

Projektentwurf Thermische Verwertungsanlage mit neben der Anlage stehendem Kamin, Beihai, China, Quelle: EEW





sind überhaupt entsorgt worden – und zur ordentlichen Entsorgung zählt in diesem Fall auch die Deponierung. Thermisch behandelt wurden gerade mal drei Prozent der Abfälle.

Thermische Abfallverwertungsanlage Leudelange, Luxemburg, Quelle: EEW

Bis 2018 änderte sich unglaublich viel: Der Anteil der ordentlich entsorgten Abfälle stieg auf 99 Prozent. 45 Prozent des gemischten Siedlungsabfalls wurde thermisch behandelt. Zwischen 2004 und 2018 hat die Volksrepublik ganze 277 Müllverbrennungsanlagen mit einer Behandlungskapazität von fast 127 Millionen Tonnen pro Jahr im Land errichtet und in Betrieb genommen (National Bureau of Statistics of China, 2005-2019). Am Ziel ist man in Peking noch lange nicht: 65 Prozent des Haushaltsabfalls will China künftig thermisch behandeln (trAIde GmbH, 2015).

China steht heute besser da als manches EU-Mitglied

Bereits heute steht China besser da als manches EU-Mitglied. Blickt man nach Europa, fällt sofort das Gefälle auf, zwischen neuen und alten Mitgliedern, zwischen Osten und Westen sowie zwischen Norden und Süden. Insgesamt macht die EU zwar Fortschritte, doch einige EU-Mitglieder deponieren noch immer 80 Prozent, manche sogar 90 Prozent ihrer Siedlungsabfälle (EUWID 3/2020).

Insgesamt hat die EU 2018 etwa 23 Prozent des gesamten Siedlungsabfalls von rund 250 Millionen Tonnen deponiert. Das waren fast 60 Millionen Tonnen, die ungenutzt und umweltverschmutzend abgelagert wurden.

Dass die EU diese Ressourcenverschwendung nicht mit dem Kreislaufwirtschaftspaket in einem überschaubaren Zeitrahmen endgültig beendet hat, war aus unserer Sicht ein Fehler. Aber immerhin soll die Deponierung bis zum Jahr 2035 beziehungsweise 2040 deutlich beschränkt werden. EEW steht bereit, mit seinem Know-how und seiner Erfahrung die hygienischen Bedingungen in allen EU-Mitgliedstaaten zu verbessern.



Kunststoff- Rezyklate,
Quelle: Wiegand

Thermische Behandlung und stoffliche Verwertung verschmelzen zum „Best Case“

In Deutschland genießen wir eine herausragende öffentliche Infrastruktur, von der medizinischen Versorgung bis zur Abfallentsorgung. Diese Infrastruktur garantiert eine öffentliche Hygiene auf höchstem Niveau. Auch das hat uns in den vergangenen Monaten vor Schlimmeren bewahrt. Doch diese Erkenntnis ist kein Grund sich auszuruhen.

In der Abfallwirtschaft werden wir künftig die Hygienisierung des öffentlichen Raums und die Rohstoffversorgung noch stärker gemeinsam betrachten müssen.

- Wie kann die thermische Behandlung die stoffliche Verwertung unterstützen, ohne mit ihr in Konkurrenz zu treten?
- Wie können wir mit unseren Anlagen die Reinheit der rezyklierten Rohstoffe steigern, ohne sie zu zerstören?
- Und welche Chancen ergeben sich daraus, das Vertrauen von industriellen und öffentlichen Abnehmern in rezyklierte Rohstoffe zu verbessern?

Diese Fragen werden wir uns stellen müssen – und ihre Antworten werden uns auf dem Weg zu einer echten Kreislaufwirtschaft ein großes Stück weiterbringen.

EEW wird seinen Beitrag dazu leisten. Heute und in Zukunft.



HMV-Schlackeaufbereitung,
Schwerfraktion aus
NE-Gemisch,
Quelle: Breer

Literatur

DSW. (2020). Weltbevölkerung. Abgerufen am 09. 08. 2020 von Deutsche Stiftung Weltbevölkerung: <https://bit.ly/31DugXv>

Ecoprog. (08.. 01. 2020). WtE-Wachstum zurück in Europa. Abgerufen am 09. 08. 2020 von Ecoprog: <https://bit.ly/3ipIW3a>

EUWID 3/2020. (14. 01. 2020). Statistik zeigt nur wenig Fortschritte beim Recycling in den EU-Mitgliedstaaten. EUWID Recycling und Entsorgung

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2020). What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development, online unter: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>, License: CC BY 3.0 IGO. (W. Bank, Hrsg.) Washington D.C.

National Bureau of Statistics of China. (2005-2019). Statistical Yearbook 2005 - 2019. Abgerufen am 10. 08. 2020 von <http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/annualdata/>

Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (10. 11. 2017). Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. Environ. Sci. Technol., 2017, 51 (21), S. 12246–12253, DOI: 10.1021/acs.est.7b02368, S. 12.251

Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (17. 08. 2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. Supporting Information. Abgerufen am 07. 06. 2018 von American Chemical Society: <http://bit.ly/2sOXf9b>

trAIde GmbH. (27. 05. 2015). Zielmarktanalyse VR China 2015. Branche: Umwelttechnologien. Hrsg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Abgerufen am 07. 06. 2018 von ixpos. Das Außenwirtschaftsportal: <http://bit.ly/2sH9ICd>

WEF. (20. 07. 2020). World Economic Forum: New Nature Economy Report II. The Future Of Nature And Business. In collaboration with AlphaBeta. Abgerufen am 09. 08. 2020 von World Economic Forum: <https://bit.ly/3kp1mCS>

Wilson, D. C., Modak, P., Soos, R., & al., e. (2015). Global Waste Management Outlook. (U. N. Programme, Hrsg.) Nairobi. Abgerufen am 09. 08. 2020 von <https://bit.ly/3a9WXPk>



Autor

Bernard M. Kemper

CEO

EEW Energy from Waste GmbH

www.eew-energyfromwaste.com



Abfallsammelfahrzeug,
Quelle: FES Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH

Die Entsorgungs- und Kreislaufwirtschaft bildet einen systemrelevanten Baustein der Daseinsvorsorge.

Daseinsvorsorge durch Öffentlich-Private Partnerschaften (ÖPP) und deren Potenziale zur Sicherung der Systemkette

Ludger Rethmann

Daseinsvorsorge

Die Daseinsvorsorge der Öffentlichen Hand umfasst existenzielle Aufgaben, die der einzelne Bürger nicht erbringen kann. Der besondere Rang, den die Daseinsvorsorge für die Bereitstellung lebensnotwendiger Leistungen für die Menschen hat, beweist sich gerade in der jetzigen Zeit der Corona-Pandemie immer stärker.

„Daseinsvorsorge umfasst die Sicherung des allgemeinen und diskriminierungsfreien Zugangs zu existentiellen Gütern und Leistungen einschließlich deren Bereitstellung entsprechend der Bedürfnisse der Bürger und auf der Grundlage definierter qualitativer und quantitativer Standards.

Welche Güter und Leistungen als existentiell notwendig anzusehen sind, ist durch politische und demokratisch mandatierte Entscheidungen zeitbezogen (also unter Beachtung der jeweiligen grundlegenden Rahmenbedingungen und Bedarfe) zu ermitteln. Dieser Kanon soll verbindlich festgelegt und mit Mindeststandards in Relation zu den jeweiligen Rahmenbedingungen und Bedarfen unterlegt werden.

Der folglich dynamische Kanon umfasst derzeit (Stand 2019) folgende existenzielle Leistungen (in alphabetischer Reihenfolge und unabhängig davon, ob diese hoheitlich oder wirtschaftlich erbracht werden):



Erfassen und Sammeln von Wertstoffen für die stoffliche Verwertung,
Quelle: FES Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH



Abwasserentsorgung/Wasserversorgung, Bildung, Brand- und Katastrophenschutz inklusive Rettungswesen, Elektrizitätsversorgung, Friedhöfe/Krematorien, Gasversorgung, Geld- und Kreditversorgung, Gewerbliche Entsorgung/Kreislaufwirtschaft, Gesundheit (Krankenhäuser, ambulante Versorgung, Vor- und Nachsorge, Pflege), Hoheitliche Entsorgung (haushaltnahe Abfälle, gefährliche Abfälle, Tierkörperbeseitigung), Kultur, Öffentliche Sicherheit, Post, Straßenreinigung, Telekommunikation/Internet, Verkehrs- und Beförderungswesen, (Schienen, Straßen, Wasserstraßen, Luftverkehr), Wohnungswirtschaft.“
 (<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/daseinsvorsorge-28469/version-378857> - Zugriff 25.11.2020)

Sortieranlage,
 Quelle: REMONDIS

Zur stofflichen Verwertung der getrennt erfassten Materialien stehen weitgehend automatisierte Sortieranlagen zur Verfügung. Die Wertstoffe werden aussortiert und wieder dem Recyclingkreislauf zugeführt.

Die effektive, zielorientierte Erfüllung dieses Pflichtenspektrums ist eine der Hauptaufgaben der staatlichen Institutionen (Bund, Länder und Kommunen), um den Bürgern ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen. Die Bürger erwarten, dass diese verpflichtenden Aufgaben jederzeit und den entsprechenden Standards gemäß auch realisiert werden.

Entsorgungs- und Kreislaufwirtschaft

In diesem Kontext müssen es die Ziele der Entsorgungs- und Kreislaufwirtschaft sein, durch den Aufbau und den Erhalt einer möglichst leistungsfähigen und an den aktuellen Erfordernissen angepassten Organisation und Technik die Entsorgungssicherheit zum Schutz der Gesundheit und den Schutz der Umwelt, des Klimas und der natürlichen Ressourcen zu gewährleisten.

Hierbei muss die gesamte Systemkette Erfassen - Sammeln - Transportieren - Recycling durch stoffliche Verwertung und Rückführung recycelter Rohstoffe in den Produktionskreislauf - Bereitstellung regenerativer, aus biogenen Reststoffen erzeugter Energie - thermische Verwertung mit Erzeugung von Strom und Wärme, wenn die Art der Abfallstoffe aus hygienischen, wirtschaftlichen und technischen Gründen keinen anderen Weg ermöglicht - Endlagerung von Materialien, die nicht oder noch nicht zu verwerten sind, einbezogen werden.



Müllverbrennungsanlage
Flingern (Düsseldorf),
Quelle: AWISTA Gesellschaft für
Abfallwirtschaft und Stadtrei-
nigung mbH

Die thermische Verwertung von nicht stofflich nutzbaren Abfällen verbindet die hygienisch sichere Entsorgung mit der Aufgabe der Energieversorgung durch die Gewinnung von Strom und Wärme.

Die allein damit verbundenen Herausforderungen stellen viele Kommunen vor dem Hintergrund der sich ständig verschärfenden Umwelt-Gesetzgebung auf EU- und Bundesebene, dem immensen Tempo, in dem die technologischen Anforderungen wie an den Anlagenbetrieb oder die Digitalisierung wachsen sowie der Unterfinanzierung und dem damit verbundenen Investitionsstau vor große Probleme, die sie in Eigenregie, das heißt in kleinteiligen, nur lokalen Strukturen kaum bewältigen können.

Öffentlich-Private Partnerschaften

Neben einer rein kommunalen oder privaten Lösung bietet sich unter den entsprechenden Umständen eine Öffentlich-Private Zusammenarbeit in der kommunalen Daseinsvorsorge an, um das hohe Niveau der Daseinsvorsorge auch

Zentraldeponie Hubbelrath
(Düsseldorf),
Quelle: AWISTA Gesellschaft für
Abfallwirtschaft und Stadtrei-
nigung mbH

Deponien dieser Art (DK-II) dienen der langfristig sicheren Ablagerung nicht brennbarer, inerte Abfälle wie Bauschutt, Fliesen, Keramik oder Bodenaushub.





in Zukunft unter immer komplizierteren Rahmenbedingungen zuverlässig und flächendeckend zu erhalten. Diese ÖPP-Gesellschaften - die Kommunen halten in den meisten Fällen die Mehrheit - sind auf Langfristigkeit ausgelegt und verhelfen beiden Seiten zu einem Mehrwert.

Potenziale einer vertrauensvollen Kooperation in Form von Öffentlich-Privaten Partnerschaften in der Daseinsvorsorge sind die Zuverlässigkeit der Entsorgungssicherheit, eine hohe Effektivität bei äußerster Kostenstabilität und ein sehr hohes Innovations- und Investitionsniveau. Weitere Vorteile ergeben sich unter anderem durch den Transfer von Know-how, der Einbringung von vormals lokalen Anlagen und Dienstleistungen in ein überregionales Netzwerk und in einer optimierten Auslastung von zum Teil sehr aufwendigen Anlagen wie Sortieranlagen oder Müllheizkraftwerken.

Fazit

Die Leistungen der Daseinsvorsorge, die die Existenz der modernen Gesellschaft sichern, haben nicht nur eine ökonomische oder ökologische Relevanz, sondern sind vor allem von höchster humanitärer und gesellschaftspolitischer Bedeutung.

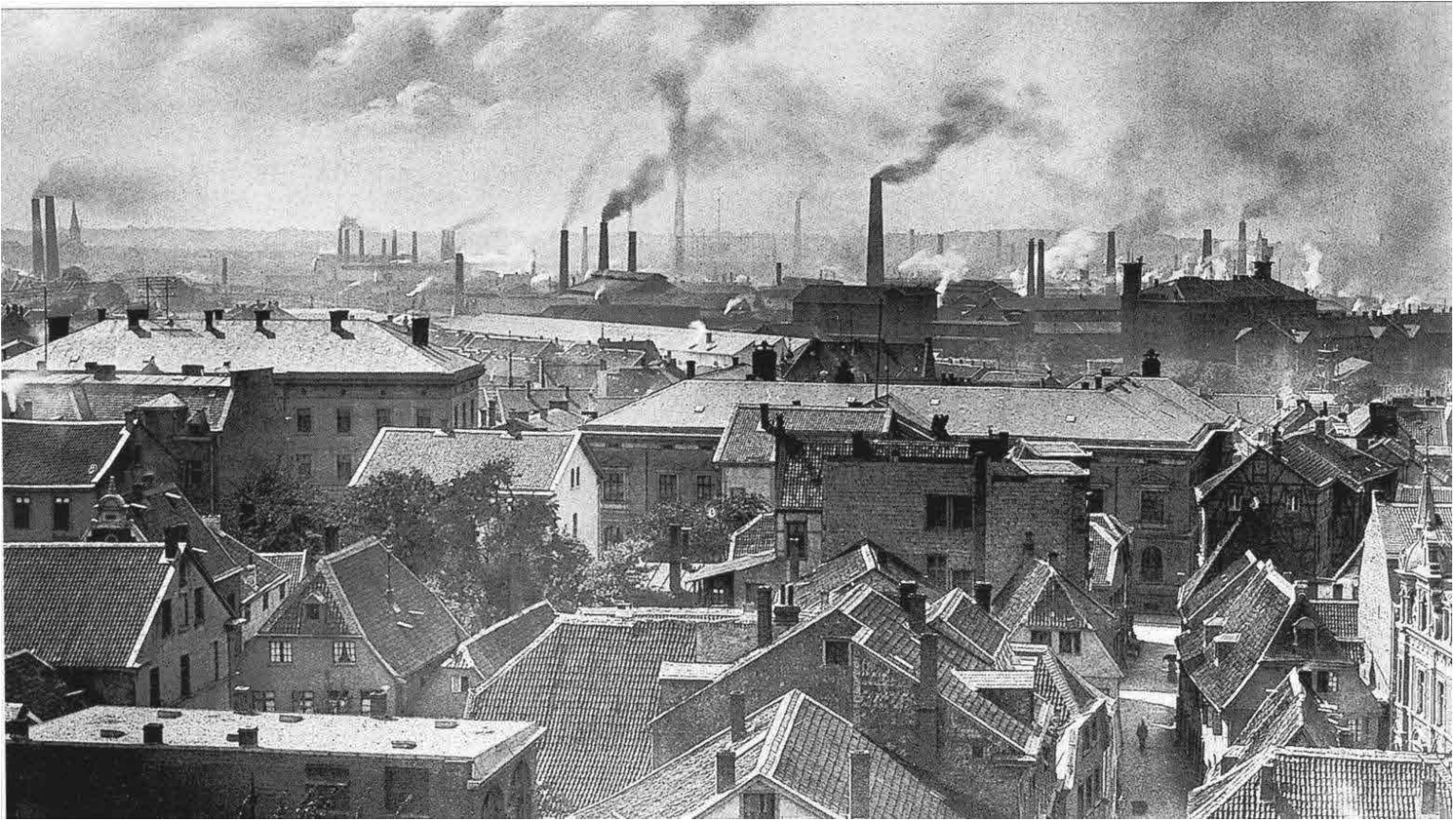


Autor

Ludger Rethmann
Mitglied des Vorstandes der
RETHMANN SE & Co. KG
Norbert-Rethmann-Platz 1
59379 Selm

Vorstandsvorsitzender der
REMONDIS SE & Co. KG
Brunnenstr. 138
44536 Lünen
www.remondis.de

**Der Ursprung und die Grundlagen:
Schutz der Gesundheit**



Essener Stadtpanorama vom neuen Rathaus über die Kruppsche Gußstahlfabrik, um 1890, Quelle: Fotoarchiv, Ruhr-Museum,

Vorsorge und Bekämpfung von Infektionskrankheiten und Seuchen durch Stadtreinigung, Müllverbrennungsanlagen und Deponien zwischen 1850 und 1972

Stephan Mlodoch

19. Jahrhundert - Industrialisierung und Urbanisierung

Ab 1850 entwickelten sich in Deutschland im Rahmen der Industrialisierung aus Landgemeinden oder Ackerbaustädten innerhalb weniger Jahrzehnte zahlreiche Großstädte.

Als Beispiel dafür kann Essen gelten. Noch 1880 war die Stadt kaum über ihre mittelalterlichen Grenzen herausgewachsen. Die Einwohnerzahl hatte sich jedoch von 10.000 im Jahr 1850 auf 63.000 im Jahr 1880 und bis zur Jahrhundertwende auf 110.000 erhöht. Bis 1910 stieg die Einwohnerzahl auf 295.000 und das Stadtgebiet wuchs durch Eingemeindungen auf 53 Quadratkilometer. Die neuen Bürger der Stadt waren meist zugewanderte Arbeitskräfte des Bergbaus und besonders der Kruppschen Werke — einer der größten Industrieagglomerationen in Deutschland.

Diese Stadtwerdung verlief vor allem in den neuen Industriestädten bis etwa 1900 ungeplant und chaotisch. Menschenunwürdige und gesundheitsgefährdende Lebensbedingungen für die Bürger — gerade in den zahlreichen Arbeiterwohngebieten — wie beengtes Wohnen, verschmutztes Trinkwasser und mangelhafte Abwasser- und Abfallentsorgung waren die Folgen.

Schutz der Gesundheit Seuchenausbrüche

Die allgemeine Bevölkerungszunahme und der, durch die wachsende Kaufkraft bedingte, zunehmende Konsum über das Existenzminimum hinaus ließ die Abfallmengen rasant ansteigen.



Arbeiterviertel in Essen, Quelle: Fotoarchiv, Ruhr-Museum

Seuche und Gesundheitslehre

Historische Bezeichnung für die plötzliche Erkrankung zahlreicher Menschen an einer Infektionskrankheit; siehe Endemie, Pandemie, Epidemie (Pschyrembel, Berlin, 2004)

"Gesundheitslehre", ein Fach der Medizin, das im Sinne einer Primärprävention die Wechselbeziehungen des menschlichen Organismus mit seiner Umwelt und vor allem die gesundheitlichen Aspekte der Umgebung des Menschen untersucht und auf die Beseitigung störender äußerer Einwirkungen gerichtet ist. Es geht dabei sowohl um die Gesundheit des Einzelnen als auch der Allgemeinheit. Beiträge zur Gesunderhaltung werden durch den Schutz vor Gesundheitsgefahren aus der natürlichen oder sozialen Umwelt (Prävention) und zur Gesundheitsförderung durch die Optimierung der Umweltbedingungen geleistet.

Krankheitserreger

...verschiedene Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Pilze, Protozoen), die den Menschen als Wirt nutzen, vermehrungsfähig sind und pathogene Wirkungen sowie Abwehrleistungen auslösen können.

Infektionshygiene

Ein Gebiet der Hygiene, das mit den Besonderheiten der Übertragung von Infektionserregern, den Möglichkeiten ihrer Verhütung und den Möglichkeiten des Schutzes empfänglicher Individuen befasst ist. Allgemeines Ziel ist es, Bedingungen zu schaffen und zu gewährleisten, die Infektionen durch äußere Einwirkungen verhindern.

(Infektionsschutz und Infektionsepidemiologie. Fachwörter – Definitionen – Interpretationen, Robert Koch-Institut, Berlin, 2015)

Public health services

Public health is defined as "the art and science of preventing disease, prolonging life and promoting health through the organized efforts of society" (Acheson, 1988; WHO).

Da sich gerade in den Altstadtbereichen und den neuen Arbeiterquartieren immer mehr Einwohner den wenig zur Verfügung stehenden Raum teilen mussten, brachen hier als Folge dieser Überfüllung und der katastrophal unhygienischen Lebensbedingungen verstärkt übertragbare Krankheiten und Seuchen wie Typhus, Ruhr, Pocken und die in Europa bis 1830 unbekanntes Cholera aus.

Die mangelhafte oder gar nicht vorhandene Beseitigung der zum Teil infizierten festen und flüssigen Abfälle begünstigte die Übertragung von Krankheitserregern im großen Ausmaß. Zwischen 1831 und 1894 starben allein in Preußen mehr als 300.000 Menschen an der besonders gefürchteten Cholera.

Gerade die Cholera erwies sich als treibender Faktor zur Etablierung eines umfassenden öffentlichen Gesundheitssystems und einer entsprechenden Städtereinigung.

Daseinsfürsorge

Ab etwa 1870 gehörte somit der Aufbau einer effizienten städtischen Infrastruktur wie der Bau von öffentlichen Schulen, Krankenhäusern und anderen Versorgungseinrichtungen wie städtische Schlachthöfe und Trinkwassersysteme aber auch die geregelte Abwasserentsorgung durch Kanalisation und



Hygieia - in der Mythologie der Antike die Göttin der Gesundheit. Der Begriff „Hygiene“ ist von ihrem Namen abgeleitet.
Quelle: Openclipart



Hausmüllablagerungen in unmittelbarer Wohnungsnähe,
Quelle: SASE Medienarchiv



Haupt-Depot „Louisenhof“,
Straßen-, Reinigungs- und
Fuhrparks-Verwaltung, Frank-
furt a. M.,
Quelle: SASE Medienarchiv

die Abfallbeseitigung zu den drängenden Aufgaben der sich ständig professionalisierenden kommunalen Leistungsverwaltungen.

Die unhaltbaren hygienischen und ästhetischen Zustände führten zu verschärften gesetzlichen Regelungen. Ortsstatuten und Polizeiverordnungen regelten in den Städten den Anschluss- und Benutzungszwang sowie die Organisation. 1893 wurde in Preußen - nach 16-jähriger Beratung - das Kommunalabgabengesetz erlassen. Die Kommunen erhielten zur Sicherung der Finanzierung so die Möglichkeit, für städtische Dienstleistungen Gebühren von den einzelnen Bürgern einzufordern.

Städtereinigung

Um die neuen Ballungszentren lebensfähig zu halten und um Seuchen vorzubeugen, musste gegen Ende des 19. Jahrhunderts aus reiner Notwendigkeit in den größeren Städten Deutschlands im Rahmen der Daseinsfürsorge und Gesundheitsvorsorge für alle Bürger innerhalb kurzer Zeit ein leistungsfähiges System zur Entsorgung, das heißt zur Städtereinigung, aufgebaut werden. Als Hauptaufgabe - „Volksgesundheit“ - wurde somit die Herstellung und Sicherung von hygienisch einwandfreien Lebensbedingungen erkannt, das heißt der Schutz des Menschen vor Krankheitserregern.

Neben Straßenreinigung, Winterdienst, Fäkalienabfuhr und Kanaldienste richtete sich gerade an die Müllabfuhr zur Sicherstellung der Hygiene die Forderung, feste Abfälle so schnell und gesundheitlich unbedenklich wie möglich zu sammeln und aus der Nähe der Bewohner abzutransportieren.

Organisierte Städtereinigung, 1890er Jahre

Auch auf Basis neuer wissenschaftlicher Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Seuchenhygiene zu den Übertragungswegen von Krankheitserregern wurden daher in den Großstädten kommunale Ämter oder Regiebetriebe - ausgestattet mit dem modernsten Gerät und hohem Personalbestand - gegründet, die mit der Entsorgung der häuslichen Abfälle gemäß der



„Logistikkette“ Erfassen - Sammeln - Verwerten - Beseitigen betraut wurden. Bürger kleiner Städte und ländlicher Regionen, ebenso wie Handwerk, Handel, Gewerbe und Industrie generell, mussten beziehungsweise konnten sich ihrer Abfälle bis in die 1970er Jahre in eigener Verantwortung entledigen, da hier Infektionsrisiken als gering eingeschätzt und davon ausgehende Gefahren für Boden, Wasser und Luft noch nicht erkannt oder vernachlässigt wurden.

Städtische Abladestelle,
Quelle: SASE Medienarchiv

Erfassen, Sammeln und Verwerten

Während das Erfassen und Sammeln/Transportieren der Abfälle - anfangs noch beschränkt auf die dichtbesiedelten Altstadtbereiche und innenstädtischen Neubaugebiete - für zeitgenössische Verhältnisse durchaus fortschrittlich organisiert waren, fand die Verwertung meist durch den so genannten informellen Sektor (Sammeln und Sortieren von handelsfähigen Materialien wie Papier, Glas, Alttextilien oder Metall durch Lumpensammler, Handsortierung auf Kippen durch „Naturforscher“, An- und Verkauf durch „Rohprodukthändler“) statt oder war aus hygienischen Gründen gänzlich verboten.

Ein weiterer Verwertungsweg für häusliche Abfälle und Straßenkehricht, der Verkauf an Landwirte, fiel ab den 1880/90er Jahren weitgehend weg. Enthalten die Abfälle bis dahin Materialien wie Gemüseabfälle, Holzasche aus Haushaltsfeuerungen und tierische Exkremete, die als Dünger dienten, konnte der „neue“ Müll auf Grund der veränderten Abfallzusammensetzung wie Asche aus Feuerungen mit Stein- oder Braunkohle oder vermehrter Glasscherben so nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden.

Von der Kippe zur Müllverbrennungsanlage Abladeplätze und Kippen

Die gängigsten und finanziell günstigsten Methoden der Müllbeseitigung waren das Anlegen von kommunalen Abladeplätzen und das einfache Abkippen der Abfälle zum Auffüllen von Geländeunebenheiten, alten Steinbrü-

chen, Kiesgruben oder „Ödgebieten“ wie Sümpfen. Da die Reichweite der Pferde-Müllwagen begrenzt war, befanden sich die Kippen im unmittelbaren Stadtgebiet oder an der engen Peripherie. Kippenbrände, entweder durch Selbstentzündung oder gezieltes Abbrennen, Ungezieferplagen durch Insekten und Ratten, Staub- und Papierflug und starke Geruchsentwicklung führten zu zahlreichen Beschwerden von Bürgern, die diese Kippen als „Seuchenherde“ und Schande für eine moderne Stadt ansahen.

Eine Möglichkeit diesen Missständen zu begegnen, war der kostenintensive Umschlag der Abfälle auf die Schiene oder den Wasserweg und der Abtransport in weiter entfernt liegende Gemeinden zu Sortieranlagen (zum Beispiel München, Budapest) oder wie Berlin zur Melioration von großflächigen Feuchtgebieten oder sandigen Böden im Umland.

In einigen dicht besiedelten Kommunen mit einem kleinen Stadtgebiet spitze sich die Lage gegen Ende des 19. Jahrhunderts bedenklich zu. Ein begrenztes Stadtgebiet, rapider Flächenverbrauch durch neue Wohnsiedlungen und Industriegebiete bei gleichzeitig wachsender Bevölkerung und zunehmendem Konsum ließ die Abfallmenge ansteigen und den Raum für neue Kippen immer knapper werden. Neue Kippstellen direkt neben oder sogar in den Wohngebieten und ausufernde Abladeplätze führten zu erbitterten Protesten der Anwohner und immer stärkeren Bedenken der öffentlichen und staatlichen Gesundheitsinstitutionen.

Cholera und die Müllverbrennung in Hamburg

Von den entsprechenden politischen Gremien mussten also schnell neue Lösungswege gefunden werden. Ein Beispiel bot die Hamburg in deren Stadtgebiet die Einwohnerzahl von 1852 (161.390) über 1875 (264.675) auf 705.738 Personen im Jahr 1900 wuchs; 1887 fielen etwa 156.000 Kubikmeter Abfall und Straßenkehricht an, 1892 bereits knapp 250.000 Kubikmeter. Auch hier war das Anlegen von Kippen im unmittelbaren Stadtgebiet und zunehmend in den umgebenden Gemeinden die übliche Art der Abfallentsorgung.

Während noch diskutiert wurde, ob Abfall zur Landgewinnung oder doch als Dünger genutzt werden kann oder ob die Müllverbrennung nach englischem Muster die beste Möglichkeit sei, brach 1892 durch ungefiltertes, verseuchtes Trinkwasser die Cholera aus und forderte mehr als 8600 Tote.

Aus Angst vor einer weiteren Ausbreitung der Seuche verboten die direkt an das Hamburger Stadtgebiet anliegenden Kommunen die Ablagerung des Hamburger Mülls, was während der Epidemie zu enormen Schwierigkeiten führte, da nun innerhalb der Stadt in kürzester Zeit Flächen freigegeben werden mussten.

Um auch nach dem Abklingen der Cholera weitere Abhängigkeiten wie erneute Verbote der Nachbargemeinden wie Ab-, Durchfuhr und Ablagerung des Hamburger Mülls zu vermeiden, legte der Senat am 31.10.1892 einen Antrag zum Bau einer Müllverbrennungsanlage auf einem Grundstück am Bullerdeich vor. Nach verschiedenen Disputen wurde am 12.06.1893 die Müllverbrennung als hygienisch sicherste Art der Müllbeseitigung anerkannt und der Bau der Anlage beschlossen.

Sicherlich waren für den Baubeschluss die Erfahrungen der Choleraepidemie und der damit verbundene Wunsch nach Entsorgungssicherheit ent-

Cholera „Krankheit der Armen“

Cholera ist eine bakterielle Infektion (*Vibrio cholerae*), die zu schweren Durchfällen und lebensgefährlichem Flüssigkeitsverlust führen kann. Eine Übertragung erfolgt meist über bakteriell verunreinigtes Trinkwasser oder Nahrung.

Die schwere Form der Cholera ist durch sehr heftige und dünnflüssige Durchfälle sowie durch Erbrechen von wässrigem, "reiswasserartigem" Mageninhalt gekennzeichnet. Das Hauptproblem der Erkrankung ist ein starker Wasser- und Elektrolytverlust. Die Erkrankung kann unbehandelt innerhalb weniger Stunden durch Kreislaufversagen tödlich enden.

<https://tropeninstitut.de/krankheiten-a-z/cholera> - 2020_08_18

Die aus Indien kommende Cholera war bis 1830 in Europa unbekannt. Gerade das für die Zeitgenossen des 19. Jahrhunderts schockierende Krankheitsbild, sechs weltweite Pandemien und zahlreiche lokale Epidemien und die hohe Sterblichkeitsrate - 60 Prozent der Infizierten, bei Kindern und alten Personen bis zu 90 Prozent - löste zur Bekämpfung der Seuche eine Reihe von staatlichen Maßnahmen zur Verbesserung der allgemeinen hygienischen Standards, des Gesundheitssystems, der Trinkwasserversorgung und der Abwasser- und Abfallentsorgung für die gesamte Bevölkerung aus.

Laut Angaben der World Health Organization (WHO, 2020) treten auch heute noch jährlich zwischen 1,3 bis 4,0 Millionen Cholera-Fälle mit 21.000 bis 143.000 Toten auf. Die Cholera gilt als Indikator für Ungleichheit, mangelnde soziale Entwicklung und öffentliche Gesundheitsvorsorge.



Cholera-Bakterien,
Quelle: commons.wikimedia.org

scheidend, aber auch weltweit in der Presse veröffentlichte Zitate wie „..... Ich vergesse, dass ich in Europa bin“ (Robert Koch, 1892 bei Besichtigung des Gängeviertels, einem Schwerpunkt der Epidemie) drohten das Ansehen - und die Wirtschaft - der Freien und Hansestadt Hamburg zu schädigen und verlangten nach entschiedenen Maßnahmen, die Gesundheitsvorsorge in eigener Verantwortung zu verbessern.

Das englische Vorbild

In England startete die Industrialisierungs- und die damit verbundene Urbanisierungsphase bereits ab etwa 1750. In den Jahren zwischen 1750 und 1850 stieg der Anteil der Bevölkerung in Städten mit mehr als 5000 Einwohnern von 15 Prozent auf 50 Prozent der Gesamtbevölkerung. Während sich die Gesamtbevölkerungszahl „lediglich“ verdreifachte, wuchsen Industriestädte wie Manchester um das Sechzehnfache - von etwa 20.000 auf 335.000 Einwohner. Die damit verbundenen – eingangs bereits erwähnten – gravierenden Probleme für die menschliche Gesundheit traten damit bereits drei Generationen vor der Industrialisierung Deutschlands auf.

Während man in England bis zum erstmaligen Ausbruch der Cholera 1831 die schlechten Lebensbedingungen und die hohe Sterblichkeitsrate in den Arbeiterwohngebieten der Ballungsräume weitgehend ignorierte, zwangen die einsetzenden Cholerazüge - zwischen 1848 und 1854 über 250.000 Tote - zu einschneidenden Verbesserungen unter anderem der öffentlichen Gesundheitspflege und der städtehygienischen Einrichtungen.

Hierfür waren aber bestenfalls geringe sozialen Intentionen verantwortlich, sondern eher die Befürchtungen, dass sich die Epidemien von den Arbeitervierteln und Slums auf die bürgerlichen Wohngebiete ausbreiten oder dass die bei erneuten großen Seuchenausbrüchen notwendigen Quarantänemaßnahmen wie die Schließung von Häfen oder Industriebetrieben immense wirtschaftliche Schäden verursachen könnten. Letztendlich stand auch der Ruf des „British Empires“ als fortschrittlichste Nation der Welt auf dem Spiel.

Kontrollierte Verbrennung von Müll

Im Rahmen dieses Maßnahmenbündels war das Entsorgungssystem („new waste management“) ein wichtiger Baustein. Da die zur Verfügung stehenden Flächen für das übliche Abkippen und Inbrandsetzen des Mülls immer weniger und die hygienischen Gefahren immer offensichtlicher wurden, experimentierte man schon seit 1870 an der kontrollierten Verbrennung von Müll in geschlossenen Öfen. Erstmals 1876 in Manchester gelang es, so hohe Verbrennungstemperaturen zu erreichen, dass der verbrennbare und hygienisch bedenkliche Anteil des Mülls nur auf Grund des eigenen Heizwertes und ohne weitere Zusätze (fast) vollständig abbrannte und die übrigen Bestandteile verschlackt wurden. Neben der gewünschten Hygienisierung, das heißt der Vernichtung von organischen, eventuell infizierten Materialien, konnte auch eine enorme Volumen- und Gewichtsreduzierung von bis zu zwei Drittel des Mülls von vor der Verbrennung erreicht werden.

Ständige organisatorische Verbesserungen im betrieblichen Ablauf und die Weiterentwicklung der Technik wie bei der Beschickung und Entschlackung der Öfen, der Erhöhung der Schornsteine, dem Einbau von Gebläsen je Ofen zur Erhöhung der Verbrennungstemperatur oder dem Ersatz von Handarbeit durch Mechanisierung führten zu einer Effektivitätssteigerung bei gleichzeitiger Verringerung der Umweltbelastung durch Gerüche oder Staubausstoß.

Um 1910 liefen in englischen Städten über 170 Anlagen, zwischen 1884 und 1903 wurden allein in London 14 Verbrennungsanstalten errichtet.

Thermische Nutzung / Waste-to-Energy

Die „überschüssige“ Wärmeenergie wurde in Anlehnung an die Kessel-Technik der Elektrizitätswerke zur Produktion von Dampf und zur Erzeugung von Strom für den Eigenbetrieb wie Beleuchtung, Gebläseantriebe oder Elektro-Müllwagen aber auch für die Einspeisung in öffentliche Stromnetze genutzt, auch die Abgabe von Warmwasser für Heizzwecke oder Badeanstalten war üblich. Ab 1896/97 entstanden erste „kombinierte Kehrrichtverbrennungs- und Elektrizitätswerke“ in denen der Dampf primär zur Stromerzeugung verwendet wurde.

Stoffliche Nutzung

Auch die Rückstände der Verbrennung, das heißt Schlacke und Asche, - in England durchschnittlich 35 Prozent des Mülls - wurden nach magnetischer Abtrennung und Verkauf der Eisenreste gezielt verwertet. Die Schlacken wurden zerkleinert, in verschiedene Korngrößen gesiebt und im Straßenbau, zur Isolation in Zwischendecken bei Neubauten oder als Streumaterial im Winter eingesetzt. Mit Erhöhung der Ofentemperatur konnte gezielt eine härtere und glasige Schlacke erzeugt werden. Fein gemahlen und mit ungelöschtem Kalk vermischt, wurden daraus hochwertige Schlackenziegel produziert oder sie diente als Kiesersatz bei der Herstellung von Betonplatten und Formteilen. Durch den Verkauf von Energie (Dampf, Strom), Altmetall und Schlacke konnte zwar nur selten ein Gewinn erzielt, aber ein Teil der Betriebskosten gedeckt werden.

Weiterverbreitung der Müllverbrennung in Europa

Die Ende der 1890er Jahre ausgereifte Technik der englischen Verbrennungsanlagen der ersten Generation diente weltweit als Vorbild und wurde im großen Maßstab exportiert.

Heizwert des Mülls

Entscheidend für den Betrieb einer Müllverbrennungsanlage war der nach

Jahreszeiten und ortsabhängig stark variierende Heizwert des Mülls. Während englischer Hausmüll auf Grund der weitverbreiteten Verwendung von Steinkohle und offener Kaminfeuer noch bis zu 25 Prozent Kohle- und Koksrückstände sowie unverbrannte Kohle enthielt und somit noch einen hohen Heizwert hatte, mussten auf dem Kontinent - hier wurden so genannte Haushalts-Sparöfen genutzt - erst noch Versuche durchgeführt werden, ob der Betrieb einer Verbrennungsanlage bei den hier üblichen 4 Prozent Kohle- und Koksrückständen überhaupt möglich war. Bei der Nutzung von Braunkohlebriketts wie in Berlin enthielt der Müll beispielsweise fast keine brennbaren Kohlerückstände.

Thermische Abfallverwertung mit Energiegewinnung und Schlackeaufbereitung 1896 bis 1918

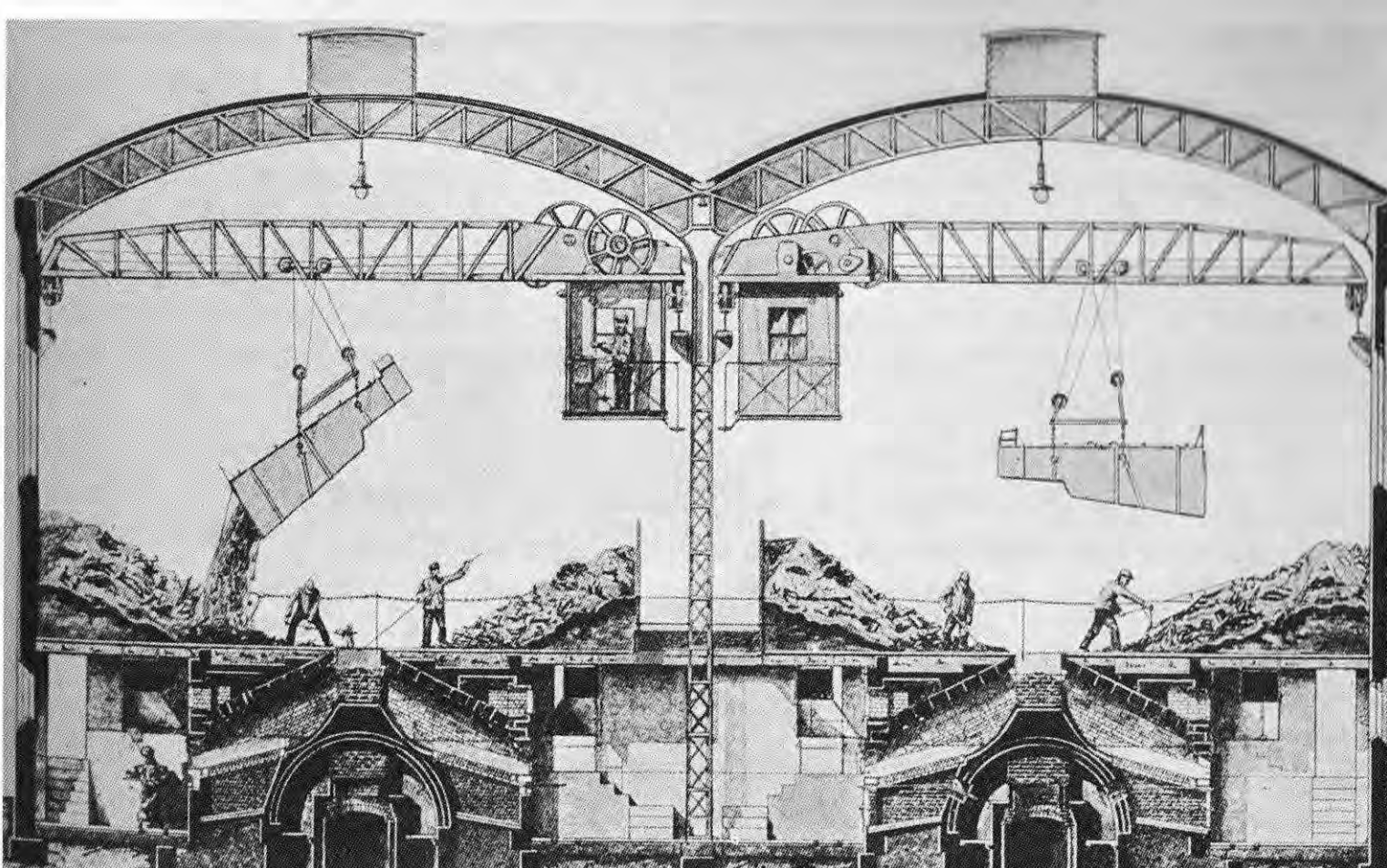
Müllverbrennung in Hamburg 1896 bis 1918

Das Hamburger Beispiel: Müllverbrennungsanstalt Bullerdeich, 1896

Kurze Zeit nach dem Baubeschluss begann man bereits im Sommer 1893 mit den Bauarbeiten. Da man auf die englischen Erfahrungen und neueste Technologie zurückgreifen konnte, startete schon 1894 der Probetrieb mit zwei der geplanten 36 Verbrennungsöfen. Mit dem erfolgreichen Abschluss der Versuchsversuche mit Hamburger „Originalmüll“ ging die Gesamtanlage am 01.01.1896 - als erste ihrer Art in Deutschland beziehungsweise auf dem europäischen Festland - offiziell in Betrieb.

Die Anlage verbrannte 1896 im Drei-Schichtenbetrieb die Abfälle von etwa 310.000 Einwohnern, Kai- und Schiffsunrat und gewerbliche Abfälle – insgesamt rund 46.000 Tonnen, 5,8 Tonnen je Tag und Ofen. Mit zunehmender Vertrautheit mit der Anlagentechnik- und Organisation – dies galt insbesondere für die Ofenarbeiter, den so genannten „Feuerleuten“ oder „Heizkünstlern“ - konnte

Müllverbrennungsanstalt
Bullerdeich, Ofenhalle, 1896,
Quelle: Stadtreinigung Hamburg



die Verbrennungsleistung je Ofen bis 1900 auf 7,5 Tonnen und bis 1913 auf 8,6 Tonnen kontinuierlich gesteigert werden. 1913 entsorgte die Anlage bei einer durchschnittlichen Verbrennungstemperatur von 650 Grad Celsius die Abfälle von etwa 500.000 Personen.

Dem englischen Vorbild folgend, wurde der Wärmeüberschuss zur Produktion von Strom für den Eigenbedarf genutzt, die Schlacke zur betriebseigenen Schlackenbrech- und Siebanlage gefahren und nach entsprechender Weiterverarbeitung ebenso wie die abgetrennten Metalle verkauft. Sogar die aufgefangene Flugasche fand in der Bauwirtschaft als Dämmmaterial in Zwischendecken geldwerte Verwendung.

Müllverbrennungsanlagen in Deutschland

Bullerdeich diente auch als Testanlage für Verbrennungsproben verschiedener deutscher und ausländischer Städte wie Frederiksberg in Dänemark, die auf Grund ähnlich gelagerter Probleme wie in Hamburg den Bau einer Müllverbrennungsanlage in Erwägung zogen. Bei geeigneter Abfallzusammensetzung folgten dem Hamburger Beispiel - inklusive der thermischen und stofflichen Nutzung: 1904 Beuthen (Bytom) in Oberschlesien, 1905 Kiel und Wiesbaden, 1907 Barmen (Wuppertal) und Frankfurt am Main, 1911 Fürth und 1912 Aachen und Altona und errichteten eigene Anlagen.

Emissionen

Zwar konnten durch die hohe Verbrennungstemperatur von bis zu 1000 Grad Celsius Krankheitserreger sicher vernichtet und diverse Schadstoffe in der Schlacke gebunden werden, Proteste, Beschwerden und Klagen der Anwohner riefen aber der aus England bekannte ungefilterte Ausstoß von Flugasche aus dem Schornstein, Rauch und Gestank hervor.

„...Hie Entpestung - dort Verpestung! Der niederschlagende Rauch enthält in der Tat so viele scharf reizende Aschenteile, dass ganze Strecken davon dicht überschüttet sind und die Gemüse etc. in den Gärten ungenießbar werden....“ (Zeitschrift „Norddeutscher Gastwirt“ (1898) / Frilling, Hamburg, 1994)

Die Beschwerden der Anwohner wurden weitgehend, wie auch bei den später in Deutschland errichteten Anlagen, von der städtischen Verwaltung ignoriert; Klagen wurden in Preußen unter Bezug auf die „ortsübliche Belastung“ - dies galt auch für die Emissionen der Industrie – abgewiesen.

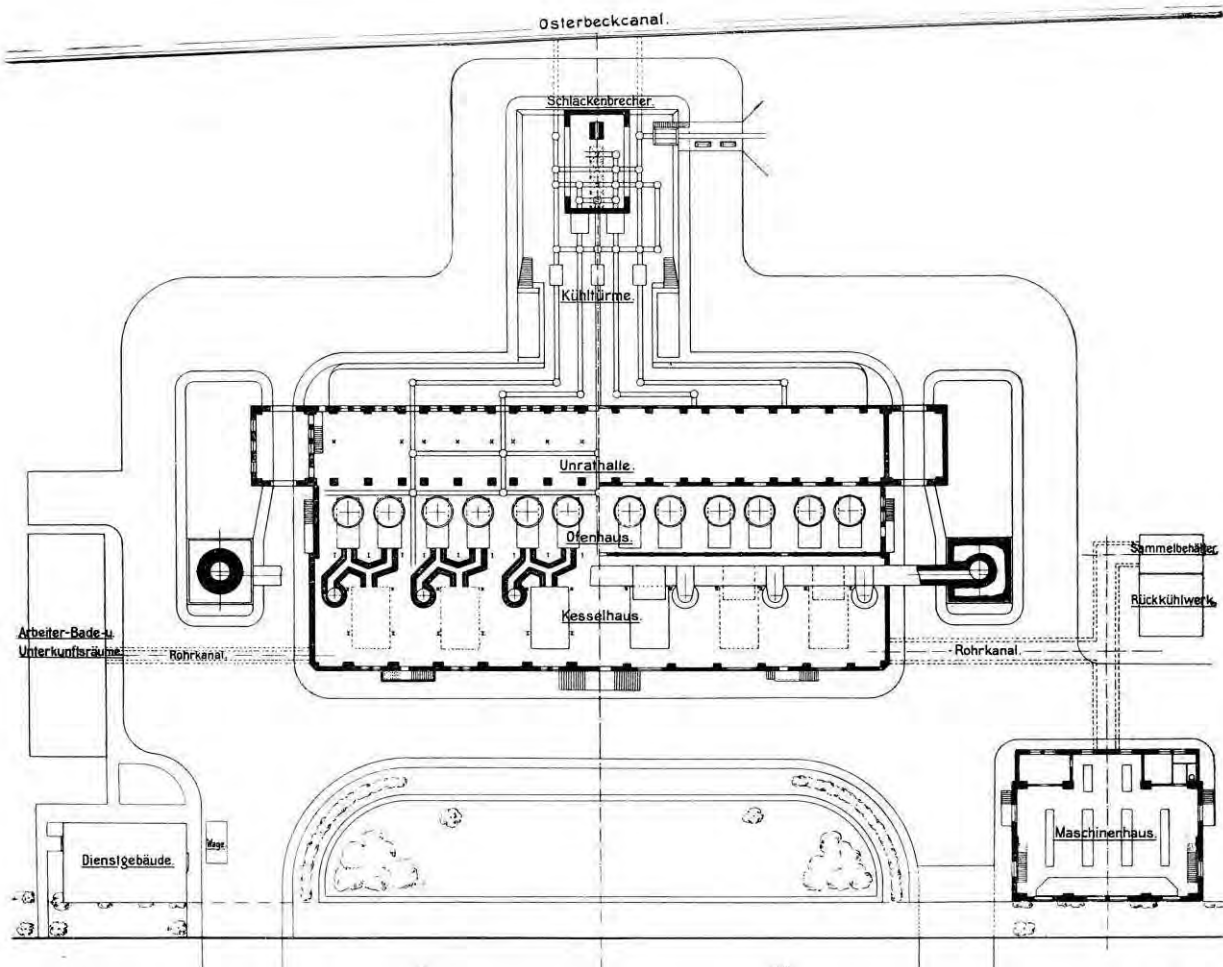
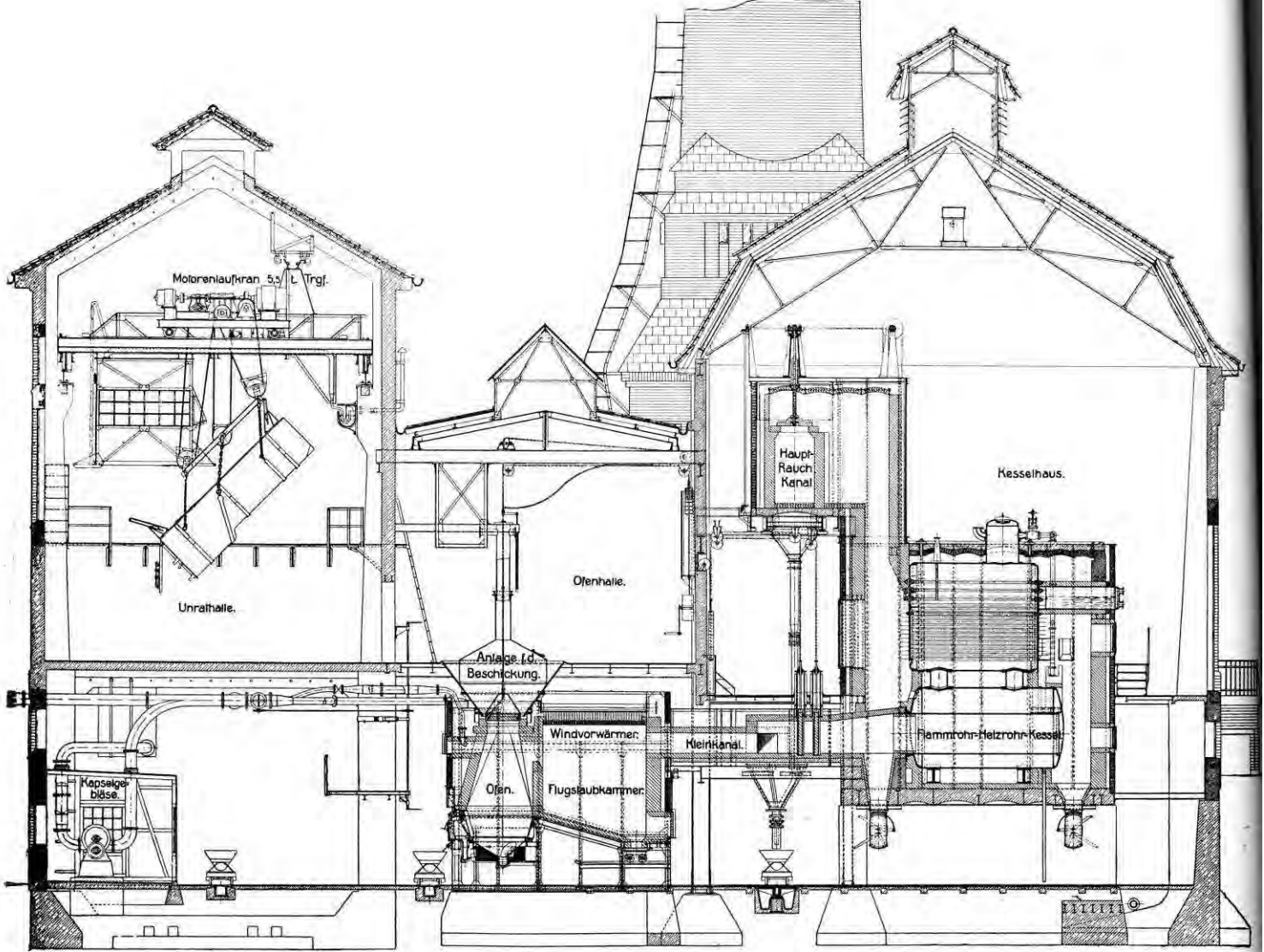
Trotz der bekannten Missstände im Umfeld der Anlagen überwogen für die zuständigen politischen Gremien und Behörden im Vergleich zu den Nachteilen der offenen Deponien, des Abkippens von Müll auf landwirtschaftliche Nutzflächen oder der Verklappung im Meer und Flüssen die positiven Aspekte der Müllverbrennung; namentlich die Hygienisierung und die Volumenreduzierung.

Entsorgungssicherheit für ganz Hamburg: Müllverbrennungsanstalt

Alter Teichweg, 1912

Ungeachtet aller Proteste bewilligte die Hamburger Bürgerschaft bereits 1907 den Bau einer zweiten Müllverbrennungsanlage in einem geplanten Industriegebiet in Barmbeck. Die 1912 fertiggestellte Anlage war technisch erheblich weiterentwickelt als „Bullerdeich“, beispielsweise kamen neue, aus England kommende, Schachtofen mit einer durchschnittlichen Tagesleistung von über 30 Tonnen, eine Trennung von „Unrathalle“ (Lagerhalle für Abfall) und Beschieckungsraum oder elektrische Kräne zum Einsatz.

Zusammen mit der Anlage Bullerdeich konnte 1912/13 der gesamte Müll der Hamburger Haushalte verbrannt werden.



Müllverbrennungsanstalt
Alter Teichweg,
Querschnitt und Lageplan,
1912,
Quelle: Stadtreinigung
Hamburg

Der Ausbruch des Ersten Weltkrieges (1914 bis 1918) beendete in Hamburg wie auch in anderen Städten die eingeleitete Hinwendung zu einer hygienisch sicheren Abfallentsorgung, da durch die „Kriegsanstrengungen“ weitere Investitionen unmöglich wurden. Mit der Verschlechterung der Versorgungslage der Bevölkerung mit Kohlen und Lebensmitteln sank außerdem der Heizwert des Mülls. Alles Brennbares wurde von den Bürgern aussortiert und selbst verfeuert, Küchenabfälle und „kriegswichtiges“ Material staatlich gesammelt und zur Schweinefütterung beziehungsweise in der Rüstungswirtschaft genutzt, was zur Folge hatte, dass die Öfen nur unter Zusatz von Kohle überhaupt in Betrieb gehalten werden konnten und große Abfallmengen wieder deponiert werden mussten.

Müllkippe contra Thermische Verwertung, 1918 bis 1945

Effektivitätssteigerung

Erst mit Beginn der 1920er Jahre konnte nach dem Ersten Weltkrieg und der politisch und wirtschaftlich kritischen Zeit und dem damit verbundenen Investitionsstopp an die Tendenzen von vor 1914 angeschlossen werden. Besonders mit dem wirtschaftlichen Aufschwung und der Stabilisierung der politischen Lage ab Mitte der 1920er Jahre konnten nach fast zehnjähriger Unterbrechung die Arbeiten zur Verbesserung der kommunalen Infrastruktur erneut aufgenommen werden. Eine Modernisierung war umso dringender geboten, da sich die Städte durch Bevölkerungswachstum, Eingemeindungen und Siedlungsbau ständig weiter ausdehnten und damit auch die bekannten hygienischen Probleme wuchsen.

Zur Sicherstellung der Gesundheitsvorsorge für alle Bürger, in der Weimarer Republik ein Schwerpunkt der Sozialpolitik, musste die Städtereinigung in allen Bereichen neu ausgerichtet und rationalisiert werden.

Bereits bestehende Verbrennungsanlagen gingen wieder in den Normalbetrieb, Neuanlagen wie in Köln (Inbetriebnahme 1928) wurden geplant und gebaut. Selbst in der Weltwirtschaftskrise (1929/30) bis zur Mitte der 1930er Jahre wurde die weltweit vorbildliche Neuausrichtung der Städtereinigung fortgesetzt.

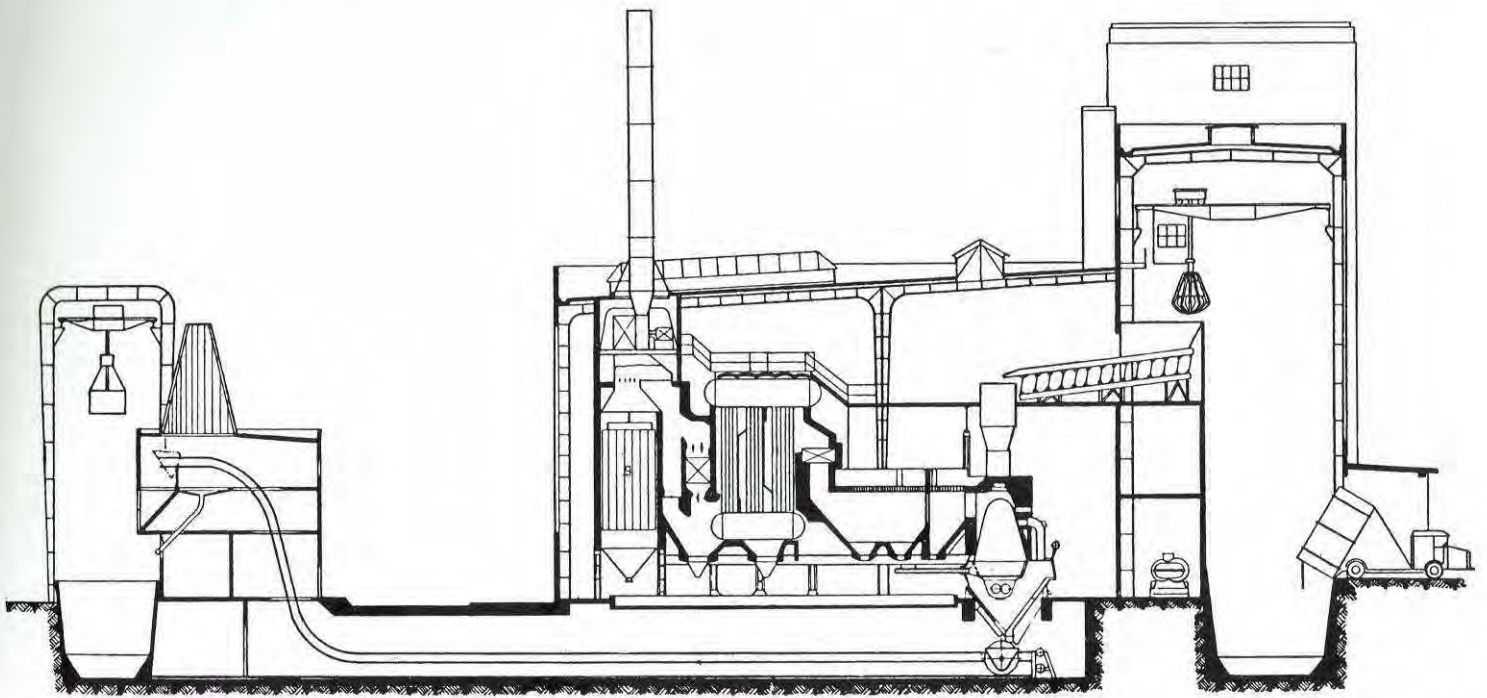
Standardisierte System-Ascheabfuhr

Eine der Maßnahmen war die Einführung der hygienisch verbesserten und wirtschaftlich effektiven System-Ascheabfuhr (Ringsystem mit „Ascheneimern“ und „Aschentonnen“). Zeitgleich wurde in den größeren Städten die Abfallabfuhr motorisiert und konnte so auch auf die Vororte ausgedehnt werden, da Motormüllwagen mit mechanischen und hydraulischen Förder- und Entladevorrichtungen die alten, leistungsschwachen und in ihrer Reichweite begrenzten Pferdefuhrwerke ersetzen.

Technischer Fortschritt: Müllverbrennungsanstalt Borsigstraße, Hamburg, 1931

Die im September 1931 in Betrieb genommene MVA - zu diesem Zeitpunkt die modernste Europas - unterschied sich technisch deutlich von den Anlagen der 1. Generation von vor 1914 und war ein direkter Vorläufer der 2. Generation der Abfallverbrennungsanlagen, die in Deutschland ab etwa 1960 errichtet wurden.

Bei der Planung konnten die Ingenieure ihre in Hamburg erlangten Erfahrungen einfließen lassen und wegweisende Verbesserungen im Anlagenbetrieb erzielen. So verfügte die Anlage erstmals über einen für rückwärts kippende Motor-



müllwagen optimierten Tiefbunker, der einen kontinuierlichen Betrieb ermöglichte. Neben einer weitgehenden Mechanisierung der Beschickung zum Beispiel durch Polygreifer und der Entschlackung konnte die Anzahl der Öfen auf drei mit einer Tagesleistung von 120 Tonnen je Tag und Ofen reduziert werden. Der von den Anwohnern so häufig beklagte Ausstoß von Flugasche wurde durch den Einbau von Elektrofiltern von etwa 8 Kilogramm auf 1,5 Kilogramm Staub je Tonne Abfall enorm reduziert.

Müllverbrennungsanstalt
Borsigstraße, 1931,
Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Rohstoffrückgewinnung statt Verbrennung

Mit der „Machtergreifung“ der NSDAP (1933) und der NS-Autarkiepolitik im Sinn der Kriegsvorbereitungen verschob sich mit dem Vierjahresplan von 1936 der Schwerpunkt von der Abfallbeseitigung zur Abfallverwertung. Ähnlich wie bereits im Ersten Weltkrieg wurden alle größeren Kommunen verpflichtet, verwertbare Abfallstoffe auszusortieren und, ungeachtet der Wirtschaftlichkeit, einer Neuverwendung zuzuführen. Im Sinn dieser Rohstoffrückgewinnung wurden den Müllkippen und Verbrennungsanlagen Sortierbänder vorgeschaltet. Weitere Investitionen in den Ausbau von Abfallverbrennungsanlagen unterblieben.

Das Ende der Abfallverbrennung in Deutschland

Vor dem Zweiten Weltkriegs (1939 bis 1945) existierten in Deutschland insgesamt 16 Müllverbrennungsanlagen. Im Verlauf der Kriegsfolgen wurden auf Grund des gesunkenen Heizwertes des Mülls bis 1947 bis auf die MVA Borsigstraße und MVA Ruhrstraße (1961 Betriebseinstellung) in Hamburg alle Anlagen stillgelegt. Bis Mitte der 1960er Jahre war damit die ungeordnete Ablagerung aller Abfälle die vorherrschende Form der Abfallbeseitigung.

1945 bis Mitte 1970er Jahre - Wirtschaftswunder und Müllnotstand

Wirtschaftswunder

Im Mai 1945 war der Zweite Weltkrieg beendet; die Innenstädte der Großstädte weitgehend zerstört, das Verkehrsnetz und die Industrieanlagen stark in Mitleidenschaft gezogen. Millionen Flüchtlinge aus den deutschen Ostgebieten strömten nach Westdeutschland und verschärften nochmals die äußerst problematische Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln und Wohnraum.

Nach Konsolidierung sowohl der wirtschaftlichen Lage durch die Währungsreform (1948) und verschiedener Hilfsprogramme wie dem Marshallplan (1947/48-1952) als auch der politischen Lage durch die Gründung der BRD (1949) und deren Einbindung in das westliche Staatensystem konnte sich die westdeutsche Wirtschaft rasch erholen. So konnte bereits ab 1947 mit umfangreichen Wiederaufbaumaßnahmen begonnen werden. Schwerpunkte waren die Schaffung von Wohnraum und der Aufbau der städtischen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur.

Neben dem Wiederaufbau der städtischen Versorgungssysteme musste auch die kommunale Städtereinigung zur Seuchenbekämpfung und Seuchenvorbeugung möglichst schnell wieder aufgebaut werden. Trotz erheblicher Schwierigkeiten konnte in den kriegszerstörten Städten die Gesundheitsvorsorge wieder weitgehend sichergestellt werden.

Ab etwa 1950 setzte eine bis Anfang der 1970er Jahre dauernde Hochkonjunkturphase ein, die sogenannten „Wirtschaftswunderjahre“. Die damit verbundene deutliche Steigerung des Realeinkommens erlaubte die Befriedigung von Konsumwünschen oberhalb des Grundbedarfs der ersten Nachkriegsjahre.

Müllnotstand

Der mit dem „Wirtschaftswunder“ verbundene wachsende Wohlstand in den Städten und auf dem Land und das veränderte Konsumverhalten wirkten sich neben dem Abfallaufkommen auch auf die Hausmüllzusammensetzung aus, Statt mit Kohle wurde in den Neubaugebieten mit Gas, Fernwärme oder Öl aschefrei geheizt, anstatt mit dem Kohleherd wurde elektrisch gekocht.



Die Lebensmittel der überall entstehenden Supermärkte und alle Konsumgüter wurden verpackt. Ab Anfang der 1960er Jahre ging in Folge der Anteil der Asche im Hausmüll sehr schnell zurück, der Anteil an Verpackungsmaterial aus Kunststoff, Pappe und Papier stieg ebenso wie das gesamte Abfallaufkommen stark an.

System-Ascheabfuhr, Hamburg, 1963, Quelle: SASE Medienarchiv

Motorisierte System-Ascheabfuhr

Mit der Verbesserung der finanziellen Lage der Kommunen und orientiert an der Technik, Organisation und Erfahrungen der Städtereinigung der Vorkriegszeit konnten ab den 1950er Jahren bedeutende Fortschritte wie die das gesamte Stadtgebiet erfassende motorisierte System-Ascheabfuhr für Hausmüll erreicht und eine sichere, hygienisch einwandfreie Entsorgung garantiert werden. Dieser Fortschritt bestand allerdings nur in den größeren Städte, die meisten Kleinstädte und Dörfer verfügten immer noch über keinerlei Form einer kommunalen Abfuhr. Auch Handel, Gewerbe und Industrie blieben von der kommunalen Müllabfuhr ausgeschlossen und mussten ihre Abfälle selbst abtransportieren und beseitigen.

Die „Renaissance“ der Müllverbrennung

Ab den 1950er Jahren nahm die Problematik der Abfallablagerung im gravierenden Maß zu. Auf über 50.000 legalen, aber ungeordneten und nicht überwachten städtischen Großkippen und kleineren, ländlichen „Bürgermeisterkippen“ konnten hier neben Hausmüll zum Beispiel auch gefährliche chemische Abfälle, Öle, Lacke, Altreifen, Industrie- und Gewerbeabfälle jeder Art „abgekippt“ werden. Gesundheitsgefährdungen der Bevölkerung und Umweltschäden durch die weiträumige Verschmutzungen der Luft durch ausströmende Gase oder Kippenbrände, des Wassers durch austretende Sickerwässer und des Bodens durch im Abfall enthaltene Schadstoffe waren die Folgen.



„Bürgermeisterkippe“, um 1965, Quelle: SASE Medienarchiv



Städtische Kippstelle, um
1965,
Quelle: Mercedes-Benz Clas-
sic Archive

Da geeignete Flächen für weitere Abladestellen im Einzugsbereich der Großstädte und Ballungsräume knapp wurden, die Müllmengen weiter stiegen und um die immer deutlicher werdenden Missstände der Kippen in Griff zu bekommen, bot sich der Bau von Müllverbrennungsanlagen zur schadlosen Abfallbehandlung (wieder) an. Planung, Bau und Betrieb der Anlagen durch Kommunen starteten in ganz West-Deutschland ab etwa 1960.

Vorbilder waren Müllverbrennungsanlagen der 2. Generation wie die ab Ende der 1950er Jahre modernisierte MVA Borsigstraße in Hamburg - der einzigen noch in Betrieb befindlichen Anlage in Deutschland - und schweizer Anlagen. Technisch weiterentwickelt und ausgestattet mit schrägstellenden kontinuierlich arbeitenden Rosten, Dampferzeugern, elektrostatischer Entstaubung und Tiefbunkern blieben diese Anlagen bis Mitte der 1980er Jahre der Standardtyp der thermischen Abfallbeseitigung. Gemeinsamer Schwerpunkt aller Anlagen war - ähnlich wie vor 1914 - die Beherrschung der „Müllflut“ durch Volumenreduzierung, die Hygienisierung von Krankheitserregern und die Inertisierung von Schadstoffen, ferner konnte durch eine weitgehende Automatisierung erreicht werden, dass kein Personal mehr in direktem Kontakt mit dem Müll kam, ebenfalls von Baubeginn an vorgesehen war die Abgabe von Strom und Fernwärme. Anfallende Aschen, Stäube, Schlacke und Metalle wurden von Fremdfirmen entsorgt beziehungsweise verwertet oder deponiert.

Neben reinen Verbrennungsanlagen wurden auch umgebaute Steinkohlenkraftwerke für die Mitverbrennung von Hausmüll genutzt. Ein Beispiel hierfür war die Verbrennungsanlage in Essen-Karnap, der ab 1963 die Ruhrgebiets

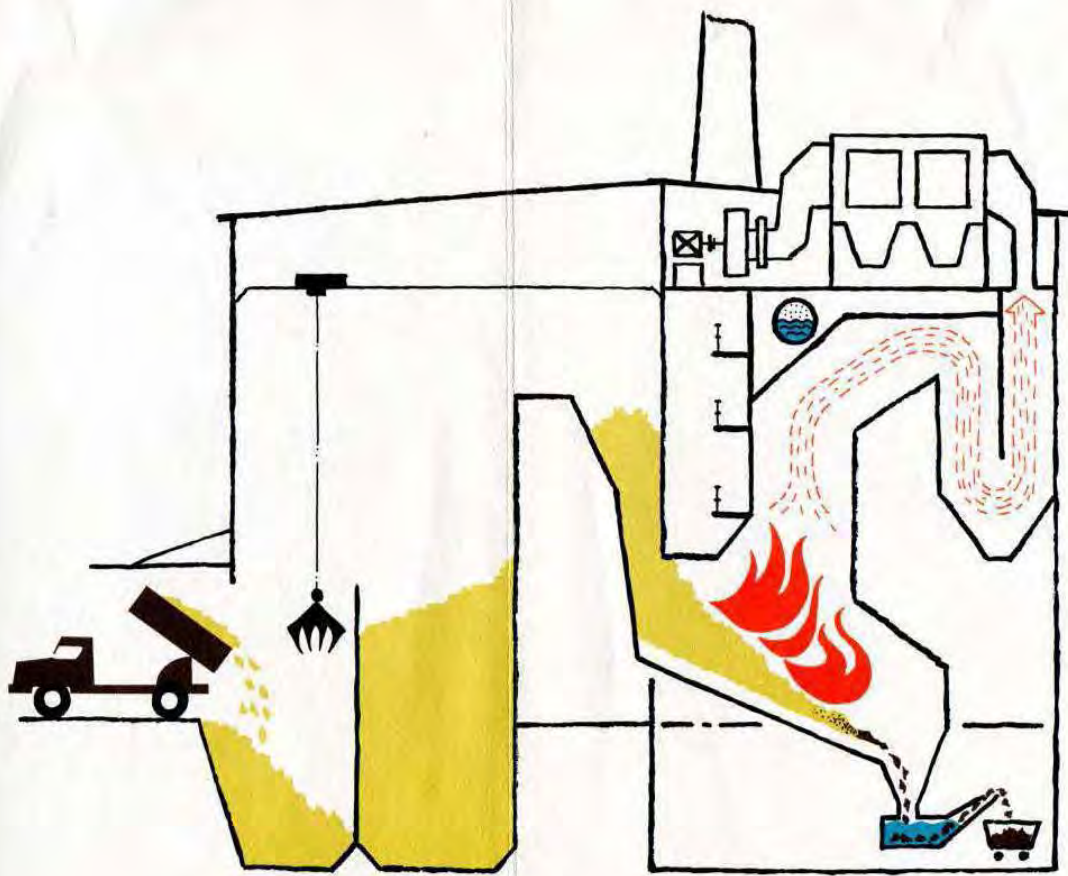
wohin mit dem Müll - mit dem Abfall?



städte Bottrop, Essen, Mülheim/Ruhr, Gelsenkirchen und Gladbeck angeschlossen waren.

Prospekt, 1962,
Quelle: SASE Medienarchiv

1965 waren sieben Anlagen mit einer durchschnittlichen Durchsatzleistung von 103.00 Tonnen je Jahr und Anlage in Betrieb. Die Anlagen behandelten lediglich 4,1 Prozent (2.450.000 Einwohner) der Gesamtbevölkerung. Bis 1970 stieg die Anzahl der MVA auf 24 Anlagen, die bereits die Verbrennung der Abfälle von 14,4 Prozent (8.590.000 Einwohner) der Gesamtbevölkerung übernahmen. Bis 1975 konnte nochmals eine deutliche Steigerung verzeichnet werden: 33 Anlagen mit durchschnittlicher Durchsatzleistung von 139.00 Tonnen je Jahr, angeschlossene Einwohner 13.590.00 (22,0 Prozent der Gesamtbevölkerung). Der Gesamtabfalldurchsatz erhöhte sich von 718.000 Tonnen je Jahr (1965) auf 4.582.000 Tonnen (1975). (Müll und Abfall, 9/1980)



Abfalltechnik GmbH. Düsseldorf

Das Abkippen von Müll und Abfall ist unhygienisch

Fäulnis und Brand verpesten die Luft. Unrat, insbesondere Papier, wird vom Wind fortgeweht.

Das Abkippen von Müll und Abfall verunreinigt das Grundwasser

Das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes und die Wasserhaushaltsgesetze der Länder verbieten das Einbringen von Abfall ins Grundwasser. Das Abkippen in Baggerlöcher ist verboten. Auch das Lagern von Abfall ist dort verboten, wo im Laufe der Zeit vom Regen ausgelaugte Gifte mittelbar in das Grundwasser kommen.

Das Kompostieren von Müll ist problematisch

Es hat nur in wenigen, örtlich günstig gelagerten Fällen zum Erfolg geführt.

Der Müll- und Abfallverbrennung gehört die Zukunft

Die Verbrennung ist hygienisch einwandfrei. Die Verbrennung verringert das Abfallgut bis auf die unverbrennbaren Bestandteile. Nur ein kleiner Teil des bisherigen Abfallvolumens ist abzukippen. Beim Verbrennungsprozeß entstehende Wärme, Schlacke und Schrott sind wirtschaftlich verwertbar.

Prospekt, 1962, Quelle: SASE Medienarchiv

Abfallbeseitigungsgesetz

Die zunehmende Umweltverschmutzung, die verschiedenen Giftmüllskandale, das international wachsende Umweltbewusstsein und der damit verbundene gesellschaftliche Druck veranlasste die Bundesregierung seit Mitte der 1960er Jahre zu verstärkten politischen und gesetzgeberischen Aktivitäten. 1972 trat das erste Bundesgesetz - Abfallbeseitigungsgesetz - in Kraft. Das Gesetz regelte im Sinne der Gefahrenabwehr primär die ordnungsgemäße Beseitigung aller Abfälle. Es organisierte das Einsammeln, Befördern, Behandeln, Lagern und Ablagern der Abfälle. Für die Beseitigung von Abfällen wurden die nach Landesrecht festzulegenden Körperschaften zuständig, also Landkreise und größere Kommunen. Eine geregelte Entsorgung mit flächendeckendem Anschluss- und Benutzungszwang wurde damit zur staatlichen Pflichtaufgabe.

Geordnete Deponie

Gebietskörperschaften und Städte, die die hohen Investitions- und Unterhaltungskosten einer Müllverbrennungsanlage nicht tragen konnten oder wollten, blieben bei der Deponierung der Abfälle. Durch die gesetzlichen Vorgaben des Abfallbeseitigungsgesetzes von 1972 verringerte sich aber die Zahl der „Bürgermeisterkippen“ und Schuttplätze bis Mitte der 1970er Jahre auf rund 4.500 geordnete Deponien. Eingangskontrollen, Bodenabdichtungen, geplanter Einbau der unbehandelten Abfälle aus Siedlungen, Gewerbebetrieben und Industrie und andere Maßnahmen ermöglichten zusammen mit Rekultivierungsmaßnahmen eine spätere Nutzung als landwirtschaftliche Nutzfläche oder Bauland.

Die Deponierung von Siedlungsabfällen auf geordneten Deponien blieb bis 2005 legal.



Müllverbrennung oder Mülldeponie?

Da der Mangel an Arealen für zusätzliche neue Groß-Deponien auch in den 1970er Jahren bestand und, trotz ständiger Weiterentwicklung der Technik in Bau und Betrieb von Deponien, weiterhin Gefahren wie Deponiebrände und Austritte von Sickerwasser und Luftschadstoffen drohten, wurde von den Kommunen der Bau von Müllverbrennungsanlagen als zukunftsfähigere und hygienisch bessere Alternative zur unbehandelten Deponierung von Abfällen vorangetrieben. Zwischen 1975 und 1985 erhöhte sich die Zahl der Anlagen erneut von 33 auf 48 - in nur 20 Jahren zwischen 1965 und 1985 vergrößerte sich der Anteil der an Müllverbrennungsanlagen angeschlossenen Anwohnern von 4,1 Prozent auf 33,4 Prozent (20.500.000 Einwohner) der Gesamtbevölkerung. (Müll und Abfall, 9/1980)

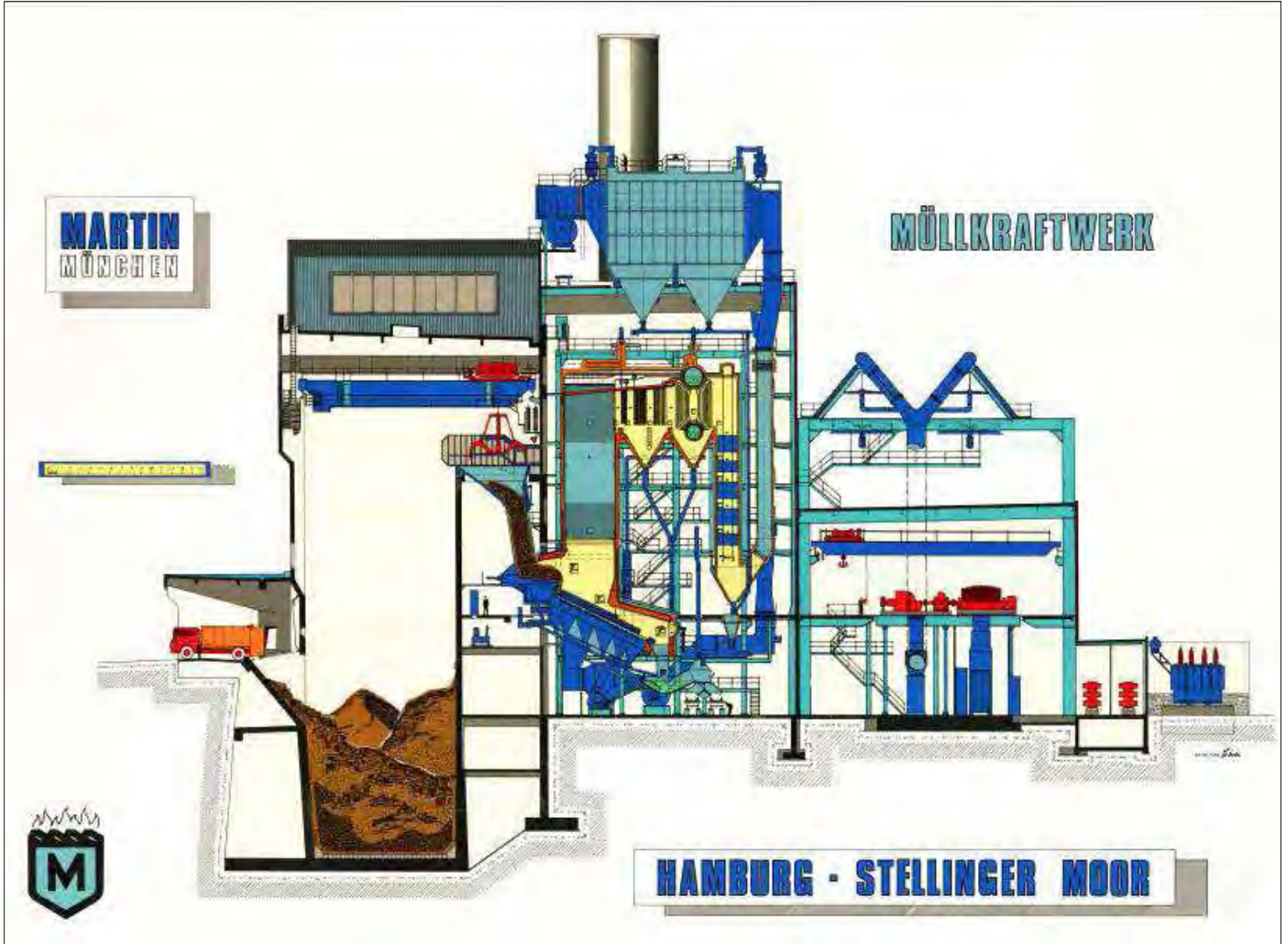
Müllverbrennungsanstalt
Borsigstraße, Stand nach Aus-
bau und Modernisierung, Ende
1960er Jahre,
Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Obwohl sich die Anlagen von Müllverbrennungsanlagen zu hoch effektiven Müllheizkraftwerken wandelten, blieb bis in die 1980er/1990er Jahre der Ausstoß von gefährlichen Schadstoffen wie Dioxinen und Furanen sehr problematisch und führte zu ständig wachsenden Bürgerprotesten gegen die Abfallverbrennung generell. Eine sich ab Mitte der 1970er Jahre verschärfende Gesetzgebung auf Basis neuer wissenschaftlicher Forschungsergebnisse zwang die Anlagenbetreiber zur Weiterentwicklung der Feuerungs-, Rauchgasreinigungs- und Überwachungstechnik zur Minimierung der Emissionen von Schadstoffen, Staub und Schwermetallen.



Autor

Stephan Mlodoč
Fachjournalist
Meisenburgstraße 217
45133 Essen
stephanmlodoč@web.de



Müllverbrennungsanlage
Stellinger Moor,
Längsschnitt (1972),
Quelle: Stadtreinigung
Hamburg

Konform mit den zeitge-
nössischen gesetzlichen
Vorschriften verfügte die
Anlage zu Beginn ledig-
lich über Elektrofilter zur
Staubabscheidung.

Die Anlage wurde 1973
in Betrieb genommen
und ständig gemäß den
aktuellen gesetzlichen
und technischen Anfor-
derungen weiter ausge-
baut. Die Stilllegung
erfolgte 2015.

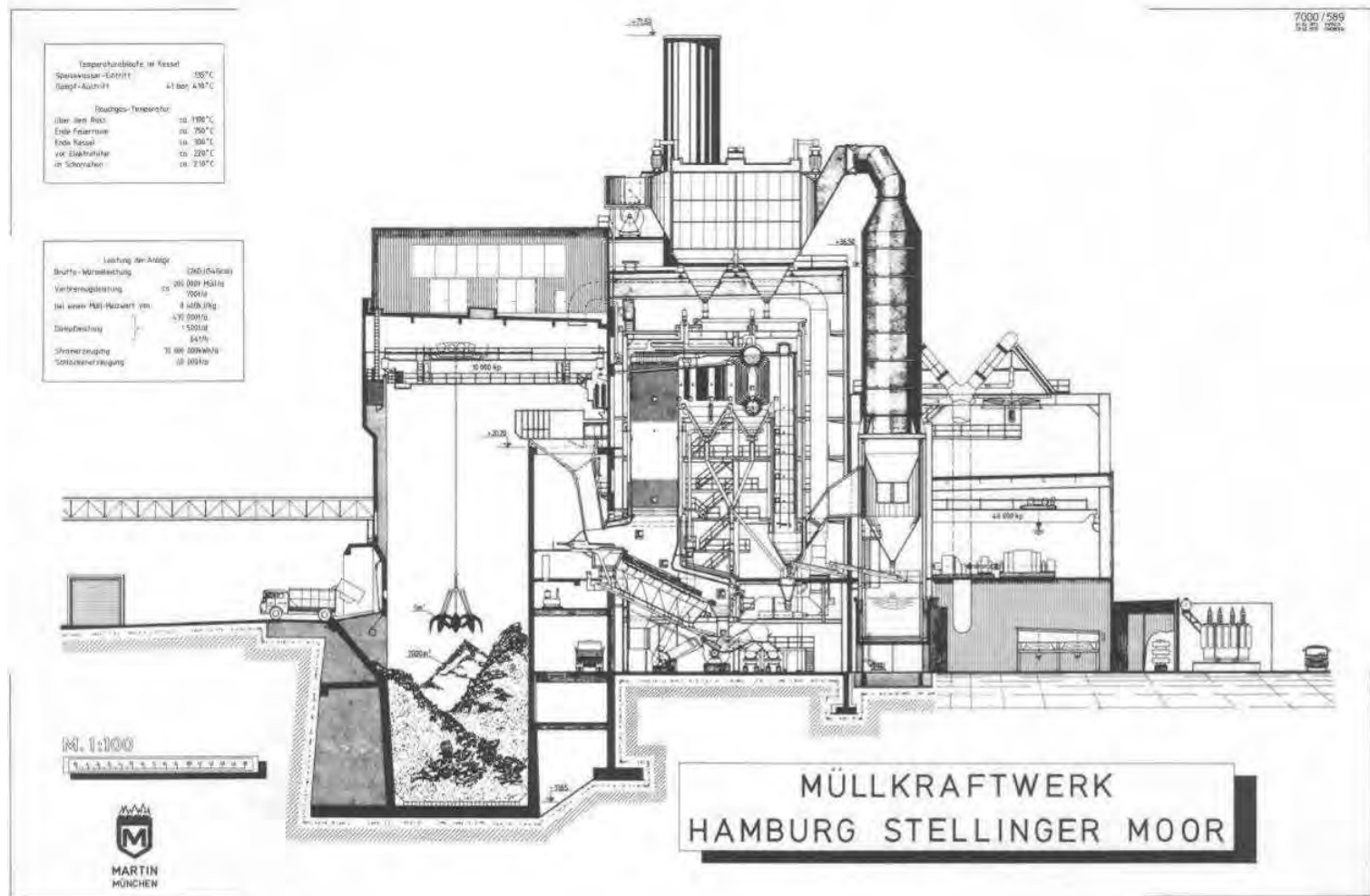
Technische Weiterentwicklung der Thermischen Behandlungsanlagen in Wech- selwirkung mit den Rahmenbedingungen

Dr. Margit Löschau und Dr. Hans-Dieter Huber

Gesetzliche sowie wirtschaftliche Rahmenbedingungen haben wesentlichen Einfluss auf die technische Gestaltung von Anlagen. Hierbei bilden thermische Abfallbehandlungsanlagen keine Ausnahme. Ändern sich diese Randbedingungen erheblich, so generiert eine solche Änderung in der Regel auch eine technische Entwicklung, zumindest aber technische Anpassungen bestehender Anlagen beziehungsweise konzeptionelle Berücksichtigung bei neuen Anlagen. Eine solche Entwicklung wird in der Regel hin zu optimierten und/oder komplexeren Systemen mit zusätzlichen Komponenten führen. Unter besonderen Rahmenbedingungen kann hieraus aber auch eine Vereinfachung technischer Systeme entstehen.

Ursprünglich waren zur Emissionsminderung bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen vor allem mehr oder weniger einfache Entstaubungsreinrichtungen vorhanden. Maßgeblich war die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft aus dem Jahr 1964 (TA-Luft 1964), welche insbesondere Immissionsgrenzwerte definiert hatte.

Erst 1974 wurde das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG 1974) eingeführt. In diesem Zusammenhang erfolgte eine erste Revision der TA-Luft, wel-



che in Form der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz verbindliche Emissionsgrenzwerte für Staub, Schwermetalle, gasförmige Chlor- und Fluorverbindungen sowie Kohlenstoffmonoxid (TA Luft 1974) enthielt. Für spezielle Anlagen zum Beispiel zur Sondermüllverbrennung wurden strengere beziehungsweise zusätzliche Emissionsgrenzwerte für Kohlenstoffmonoxid beziehungsweise den Kohlenstoff in den verbrennbaren organischen Stoffen festgelegt. Um eine Verdünnung des Abluftstromes zu unterbinden, wurden die Emissionswerte auf 11 Volumen-Prozent O₂ bezogen (Normzustand feucht).

Müllverbrennungsanlage Stelling Moor, Längsschnitt (1979), Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Zwischen 1978 und 1980 wurden zusätzlich zu den vorhandenen Elektrofiltern zwei Schadgasabscheider eingebaut.

Aus den Emissionsgrenzwerten der TA-Luft 1974 ergab sich die Notwendigkeit, zumindest bei neuen thermischen Abfallbehandlungsanlagen entsprechende technische Maßnahmen umzusetzen. Auch bestehende (vor 1974 errichtete) Anlagen konnten in bestimmten Fällen bei wesentlichen Änderungen betroffen sein (Thomé-Kozmiensky KJ, Müller H 1981). Neben einer für die neuen Grenzwerte ausgelegten Entstaubung und einer entsprechenden Feuerungsführung zur CO-Minimierung mussten einstufige nasse, trockene oder quasitrockene Rauchgasreinigungssysteme zur HCl- sowie HF-Abscheidung installiert werden.

Im Jahr 1981, also sieben Jahre nach dem Inkrafttreten der TA-Luft 1974, verfügten lediglich 14 von 42 Müllverbrennungsanlagen in Deutschland über derartige Systeme, wobei 11 Anlagen Systeme mit Wäscher sowie drei Anlagen Systeme mit Trockensorption betrieben; die restlichen 28 Anlagen (67 Prozent) waren immer noch lediglich mit Entstaubungsaggregaten ausgestattet, davon eine Anlage mit Multizyklon, die anderen mit Elektrofiltern, davon eine Anlage mit zusätzlichem Zyklon (Thomé-Kozmiensky KJ, Müller H 1981).

Etwa zu dieser Zeit entwickelte sich unter anderem auch durch den Bericht "Die Grenzen des Wachstums" des Club of Rome, welcher das bis dahin

gültige Prinzip des unendlichen Wachstums in Frage stellte (Club of Rome 1972), eine zunehmende Sensibilisierung der Bevölkerung im Hinblick auf umweltrelevante Fragestellungen. Bereits in den siebziger Jahren gab es intensive Diskussionen über das anthropogen bedingte Waldsterben, hervorgerufen durch hohe Emissionen an sauren Schadstoffen, welche Anfang der achtziger Jahre die Befürchtung auslösten, dass Wälder großflächig absterben würden (Schäfer R 2012).

Ein weiteres im Hinblick auf die thermische Abfallbehandlung relevantes Ereignis fand im Jahr 1976 nahe der italienischen Gemeinde Seveso statt. Durch einen Unfall in einer chemischen Produktionsstätte wurden ein bis drei Kilogramm des hochgiftigen Dioxins TCDD (umgangssprachlich auch nur Dioxin oder Sevesogift genannt) freigesetzt; das Seveso-Unglück war der bisher größte Chemieunfall Europas (chemie.de 2020). Durch das Ereignis wurde das Gift Dioxin einer breiten Öffentlichkeit bekannt und zu einem intensiv diskutierten Thema. Bereits 1977 wurden bei niederländischen Hausmüllverbrennungsanlagen in den Flugaschen polychlorierte Dibenzo-Dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzo-Furane (PCDF) nachgewiesen (Olie K, Vermeulen PL, Hutzinger O 1977).

In den folgenden Jahren wurden an Hausmüllverbrennungsanlagen aber auch an anderen Anlagen viele entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass es neben Hausmüllverbrennungsanlagen auch zahlreiche andere thermische Abfall- beziehungsweise Recyclinganlagen gab, welche Dioxine und Furane in zumindest vergleichbaren Konzentrationen emittierten (Hagenmaier H 1985). Bis Mitte der achtziger Jahre wurde davon ausgegangen, dass hinsichtlich der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen ein Wirkungsrisiko beim Menschen nicht vorhanden ist (Komorowski K 1985). Weiter wurde davon ausgegangen, dass die Bildung hochtoxischer organischer Schadstoffe während des Verbrennungsvorganges stattfindet und mit den etwa gleichen Mechanismen wie die Minderung der Kohlenstoffmonoxid-Emissionen zu reduzieren sind. Es wurde somit angenommen, dass durch die Minderung der Kohlenstoffmonoxidemissionen gewährleistet werden kann, dass keine besorgniserregenden Mengen an Dioxinen und Furanen aus Hausmüllverbrennungsanlagen emittiert werden. Trotzdem sollte als Vorsorgeprinzip der Ausbrand weiter optimiert und das Thema weiter untersucht werden, um neuere Erkenntnisse zu gewinnen; hierfür waren zwei bis drei Jahre vorgesehen (Barniske L 1985).

Den vorstehend beschriebenen Entwicklungen und Erkenntnissen wurde auch bei der nächsten Überarbeitung der TA-Luft (TA-Luft 1986) Rechnung getragen. Zum einen wurden die bisherigen Grenzwerte erheblich verschärft, zum anderen wurden neue Grenzwerte insbesondere zur Reduktion der emittierten sauren Schadgase wie Schwefel- und Stickoxide sowie zur Reduktion der emittierten organischen Stoffe eingeführt. Die Begrenzung für die Emission organischer Stoffe - und damit auch der Dioxine und Furane - aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen, gemessen als Gesamtkohlenstoff, sowie der deutlich verschärfte Emissionsgrenzwert für Kohlenstoffmonoxid sollte einen vollständigen Ausbrand der Abgase gewährleisten (Sager C, Quicker P 2017). Ergänzt wurden die neu vorgeschriebene Nachverbrennungspflicht mit entsprechenden Mindestfeuerraumtemperaturen. Um die bei einer nassen Rauchgaswäsche deutlich höheren Wasserdampfmengen im Rauchgas zu kompensieren, wurden die Emissionskonzentrationen mit der neuen TA-Luft außerdem auf trockenes anstatt wie bisher auf feuchtes Rauchgas bezogen.



Titelblatt TA Luft (1986),
Quelle: Mlodoch

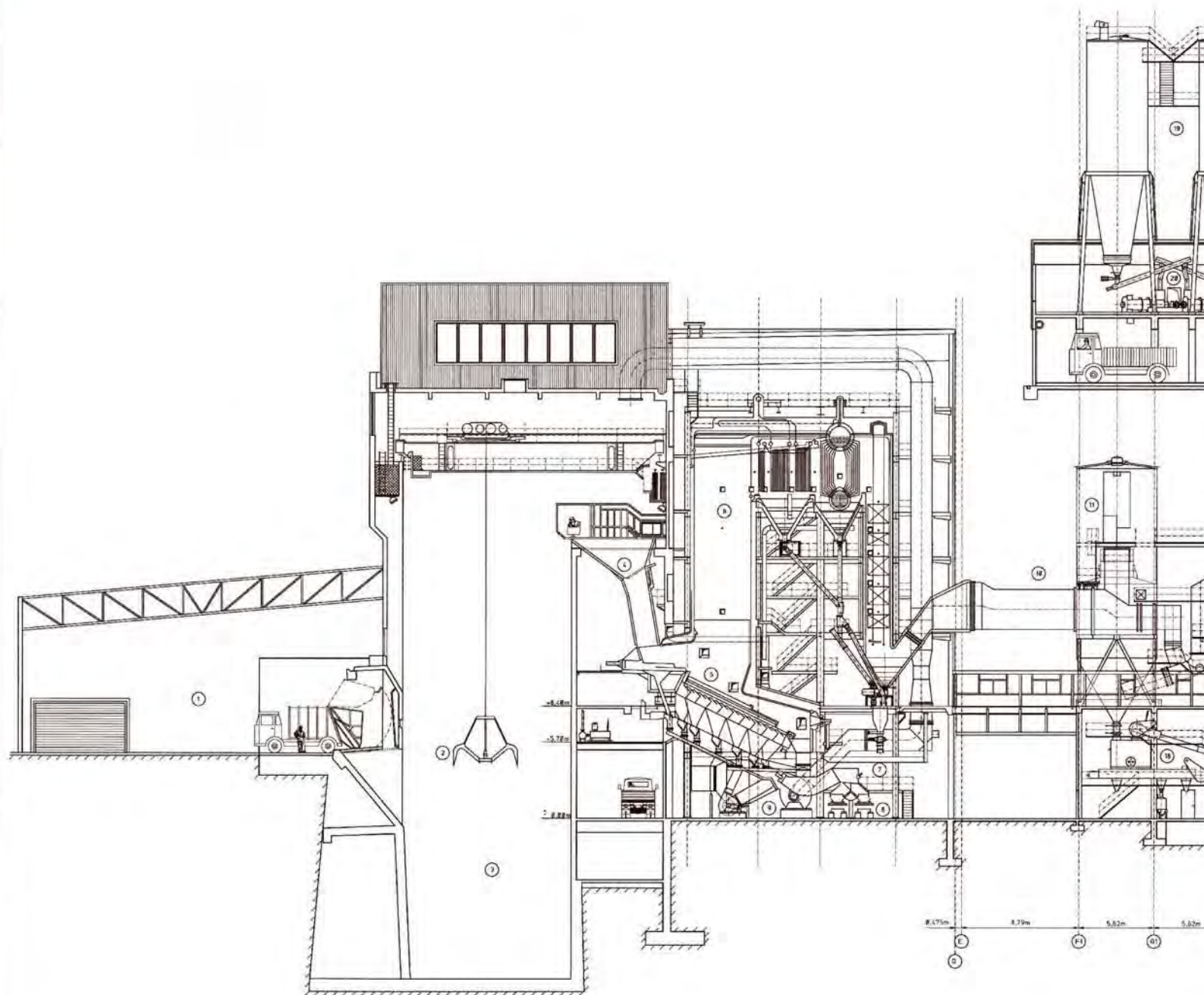
Durch die unter Ziffer 4 TA-Luft 1986 definierten Anforderungen an Altanlagen wurden die meisten bestehenden thermischen Behandlungsanlagen gezwungen, umfangreiche Nachrüstungen innerhalb eines Zeitraums von in der Regel acht Jahren umzusetzen, soweit die Anforderungen nicht bereits erfüllt wurden.

Als technische Maßnahmen musste in den jeweiligen bestehenden Anlagen, sofern noch nicht in ausreichender Qualität vorhanden, zur Reduktion der Staubemissionen sowie der staubgebundenen organischen und anorganischen Schadstoffe die Staubabscheidung optimiert werden, zum Beispiel durch den Einbau von Elektrofiltern, Gewebefiltern beziehungsweise Nasswäschern. Maßnahmen zur Reduktion von Stickoxiden waren in der Regel nicht erforderlich. Zur Abscheidung von sonstigen sauren Schadgasen sowie von leichtflüchtigen Schwermetallen wie Quecksilber und Cadmium kamen überwiegend mehrstufige Nasswäscher-Systeme zum Einsatz. Zur Einhaltung von Kohlenstoffmonoxid- und Gesamtkohlenstoff-Emissionsgrenzwerten sowie zur Einhaltung der Mindestfeuerraumtemperatur und damit, nach damaligem Kenntnisstand, auch zur Minimierung von Dioxin- und Furan-Emissionen, wurden - soweit erforderlich - feuerungstechnische Optimierungen durchgeführt. Bei neuen Anlagen mussten die beschriebenen Maßnahmen bereits konzeptionell berücksichtigt werden.

Ende der achtziger Jahre setzte sich dann die Erkenntnis durch, dass das Entstehen von Dioxinen und Furanen weniger beim Verbrennungsprozess erfolgt, sondern vor allem auf die De-novo-Synthese beim Abkühlen der Rauchgase zurückzuführen ist und deshalb weitere Untersuchungen zum Thema im Sinne einer Vorsorge notwendig sind (Barniske L 1987). Aus weiteren Untersuchungen ergab sich, dass die De-novo-Synthese beim Abkühlen der Rauchgase vor allem in Temperaturbereichen zwischen 250 und 450 Grad Celsius abläuft (Vogg H 1990). Weiterhin konnte festgestellt werden, dass sich die ursprünglichen Dioxin- und Furan-Emissionen durch die umgesetzten Maßnahmen zwar von etwa 10-50 ngTEQ/m³ auf etwa 1-10 ngTEQ/m³ reduziert hatten, weitere erhebliche Reduzierungen aber durch sekundäre Minderungsmaßnahmen möglich wären (Vogg H 1990).

In den achtziger Jahren rückten, neben zahlreichen sonstigen organischen und anorganischen Schadstoffen, die sauren Schadgase immer stärker in den Fokus der Öffentlichkeit sowie der Gesetzgebung. Bei den sauren Schadgasen betraf dies auch die Stickoxide, was unter anderen dazu führte, dass ab 1989 der Katalysator Pflicht für alle Neuwagen wurde.

Für thermische Abfallbehandlungsanlagen wurde diesen Entwicklungen im Jahr 1990 mit Einführung der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (17. BImSchV 1990) Rechnung getragen. Im Hinblick auf die organischen Schadstoffe wurde ein strenger Emissionsgrenzwert für Dioxine und Furane basierend auf einem Summenwert unter Berücksichtigung von Toxizitätsäquivalenten neu eingeführt. Weiter wurde die Mindestfeuerraumtemperatur von Hausmüll und ähnlichen Einsatzstoffen von 800 auf 850 Grad Celsius erhöht und zusätzlich generell eine Mindestverweilzeit für die Rauchgase auf dem jeweiligen vorgeschriebenen Temperaturniveau festgelegt. Die sonstigen Emissionsgrenzwerte wurden drastisch verschärft, wobei Summenwerte teilweise modifiziert, aus Einzelwerten neu gebildet beziehungsweise aufgelöst wurden. Für die kontinuierlich zu überwachenden Emissionsgrenzwerte wurden jeweils Halbstundenmittelwerte und strengere Tagesmittelwerte eingeführt.



Müllverbrennungsanlage
Stelling Moor,
Längsschnitt (1992),
Quelle: Stadtreinigung
Hamburg

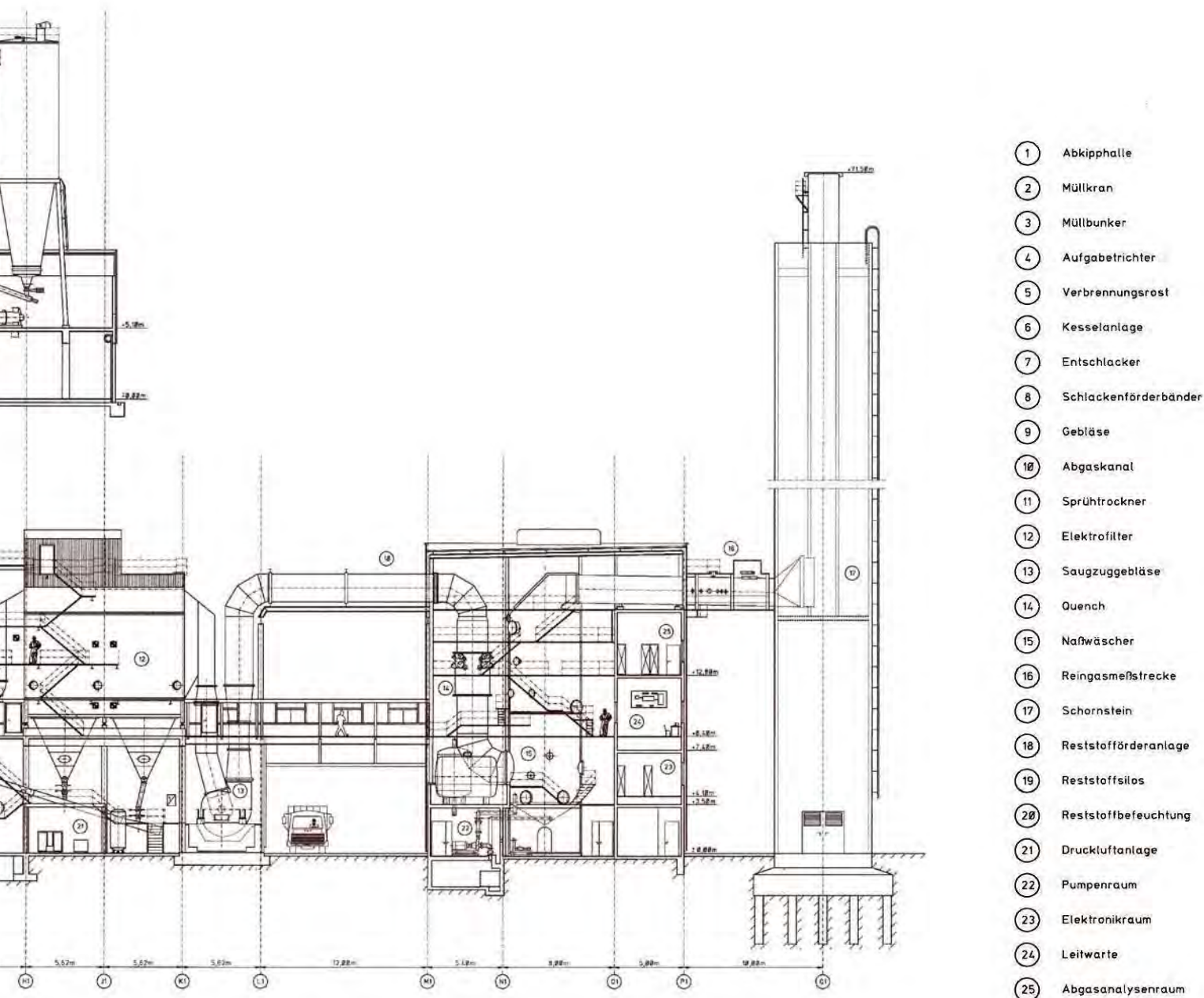
Ab 1988 wurde die Rauchgasreinigung grundlegend erneuert. 1989 ging eine Nasssorptionsanlage in Betrieb, 1995 folgte eine Abgasnachreinigungsanlage mit Aktivkoks-Technologie.

Die Anlage wurde 2015 stillgelegt. Teile der Gebäude werden für das in Planung befindliche ZRE - Zentrum für Ressourcen und Energie weitergenutzt.

Eine weitere einschneidende Regelung der 17. BImSchV war die Vorschrift, Reststoffe zu vermeiden oder aber ordnungsgemäß und schadlos zu verwerten. Weiter beinhaltete die 17. BImSchV auch Vorgaben zur Wärmenutzung.

Da in der 17. BImSchV auch entsprechende Regelungen für Altanlagen enthalten waren, mussten in allen betroffenen bestehenden thermischen Abfallbehandlungsanlagen Nachrüstungen durchgeführt werden. Wesentlichste Neuerungen waren hierbei Einrichtungen zur Rauchgasentstickung sowie zur Abscheidung von Dioxinen und Furanen. Teilweise mussten auch Modifikationen beziehungsweise Optimierungen im Bereich der Feuerungen beziehungsweise der Kessel sowie der vorhandenen Rauchgasreinigungsanlagen inklusive des Reststoffhandlings durchgeführt werden.

Die technische Umsetzung führte insbesondere bei Neuanlagen aber auch bei zahlreichen Altanlagen zu sehr aufwendigen und komplexen sowie energieintensiven Lösungen (Löschau M 2014). Zur Rauchgasentstickung wurden häufig katalytische Systeme (SCR) gewählt, welche sehr niedrige Emissionswerte ermöglichen. Teilweise wurde auch das einfachere und kostengünstigere nicht katalytische System (SNCR) gewählt, welches auch ausreichend war, um die



neuen gesetzlichen Vorgaben einzuhalten und teilweise ebenfalls erheblich zu unterschreiten. Zur Abscheidung der sauren Schadgase und der teilweisen Abscheidung von Schwermetallen wurden häufig nasse Rauchgaswäscher eingesetzt, teilweise wurden aber auch andere vorhandene Systeme optimiert oder neu errichtet. Zur Abscheidung von Dioxinen und Furanen sowie anderen organischen Schadstoffen und Schwermetallen wurden Adsorptionsverfahren vorgesehen, überwiegend das Flugstrom-Filterschicht-Verfahren, teilweise auch Festbett- beziehungsweise Wanderbettverfahren. Als Adsorptionsmittel wurden überwiegend Aktivkohle beziehungsweise Aktivkoks, vereinzelt auch mineralisches Adsorptionsmittel, zum Beispiel Zeolith, verwendet.

Insgesamt erreichte die technische Entwicklung der thermischen Abfallbehandlung und insbesondere der Rauchgasreinigung sowie des Reststoffhandlings aufgrund der Einführung der 17. BImSchV eine einzigartige Intensität. Neben der Weiterentwicklung beziehungsweise Neuentwicklung von Systemen zur Rauchgasreinigung wurden Systeme zur Erzeugung von Produkten aus den Reststoffen wie Kochsalz, Gips und Salzsäure realisiert. Hochtemperaturverfahren zur Herstellung von Baustoffen durch Einschmelzung von Flugaschen und Schlacke wurden zumindest im Pilotmaßstab entwickelt. Parallel dazu wurden

ganze Anlagen zur Hochtemperaturbehandlung von Abfällen gebaut mit dem Ziel, verwertbare Reststoffe zu erzeugen, wie zum Beispiel das Schwelbrennverfahren oder das Thermoselectverfahren. Diese Verfahren haben sich technisch beziehungsweise wirtschaftlich nicht durchgesetzt. Wie schwierig solche Projekte umzusetzen sind, zeigt auch das neuere Beispiel der ebenfalls gescheiterten Plasma Gasification Waste to Energy Plants in Teesside UK (Messenger B 2016).

Verschiedene Erfahrungen sowie Änderungen der Randbedingungen haben um die Jahrtausendwende die Intensität der technischen Entwicklungen bei der thermischen Abfallbehandlung deutlich verlangsamt.

- Die Experimente mit den Hochtemperaturverfahren hatten gezeigt, dass die Behandlung von Abfällen bei hohen Temperaturen technisch sehr anspruchsvoll, energieintensiv und teuer ist; sogar die relativ geringfügige Erhöhung der Feuerraumtemperatur von 800 auf 850 Grad Celsius hat bei zahlreichen Anlagen zu erheblichen Korrosionsproblemen geführt.
- Viele der realisierten neuen bzw. optimierten Systeme im Bereich der Rauchgasreinigung haben weitaus besser funktioniert als zunächst gedacht, so dass die nächste Anlagengeneration einfacher konzipiert und knapper dimensioniert errichtet werden konnte.
- Durch die zunehmende Privatisierung bzw. Teilprivatisierung der thermischen Abfallbehandlungsanlagen, unter anderem ausgelöst durch die Neuregelungen zur Überlassungspflicht im neuen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG 1994), verstärkte sich der Konkurrenzdruck zwischen den Anlagen. Stand bis dahin bei den kommunalen Eigentümern und Betreibern die Entsorgungssicherheit sowie die politische und damit ökologische Komponente im Vordergrund, wurden nun ökonomische Aspekte prioritär.
- Ausgelöst durch ein Urteil des Europäischen Gerichtshofs vom 27.2.2002 und der daraus resultierenden Versatzverordnung (VersatzV 2002) wurde die Zulässigkeit des Einsatzes von Abfällen zur Herstellung von Versatzmaterial beziehungsweise als Versatzmaterial geregelt. Dadurch konnte auf die technisch sehr aufwendige Herstellung und Aufbereitung einzelner hochwertiger Produkte aus den Reststoffen verzichtet werden.
- Die Energieerzeugung wurde zunehmend wichtiger, insbesondere auch für die mit abfallstämmigen Ersatzbrennstoffen betriebenen Anlagen.

Die beschriebenen Punkte führten dazu, dass die in Deutschland in den vergangenen 15 Jahren errichteten thermischen Abfallbehandlungsanlagen deutlich einfacher und kostengünstiger konzipiert wurden als die Anlagen in den neunziger Jahren. Technisch wurden überwiegend die nichtkatalytische Entstickung, die konditionierte Trockensorption beziehungsweise Sprühsorption und Gewebefilter gewählt (Löschau M 2014). Anlagen dieser Konzeption halten die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte nicht nur sicher ein, sondern unterschreiten sie in der Regel deutlich, auch wenn sie nicht in allen Bereichen die Emissionswerte der Anlagen aus den neunziger Jahren erreichen. Andererseits haben diese einfacheren Anlagen aber Vorteile bei der Energieeffizienz.



MHKW Ulm-Donautal,
Quelle: Zweckverband Ther-
maische Abfallverwertung
Donautal / Fernwärme Ulm
GmbH

Das MHKW Ulm verfügte bei Inbetriebnahme (1997) nicht nur über eine fünfstufige Rauchgasreinigungsanlage, sondern auch noch über aufwendige Anlagen zur Kochsalzerzeugung sowie zur Gipsherstellung aus den Abwässern der Rauchgasreinigungsanlage.

MHKW Wuppertal (2018),
Quelle: AWG Wuppertal

Im Rahmen eines großangelegten Modernisierungsprogramms zwischen 1988 und 1998 wurde die neue Rauchgasnachreinigung, bestehend aus der HOK (Herdofenkoksanlage) und der SCR-Anlage, fertig gestellt und in Betrieb genommen.



Die Novellierung der 17. BImSchV im Jahr 2003 (17. BImSchV 2003) regelte insbesondere die Anforderungen an Mitverbrennungsanlagen. Auch diese Fortschreibung brachte keine Anforderungen, welche einen umfassenden Innovationsschub auslösten. Die nächste Novellierung der 17. BImSchV im Jahr 2013

(17. BImSchV 2013) mit Einführung von Emissionsgrenzwerten für Ammoniak bei Anlagen mit katalytischer oder nicht katalytischer Entstickung und gleichzeitig teilweise höheren Anforderungen hinsichtlich der Emissionsgrenzwerte bei den Stickoxiden bedingte teilweise technische Anpassungen. Neue wesentliche technologische Entwicklungen wurden hierdurch jedoch nicht ausgelöst.

Mit dem aktuellen Durchführungsbeschluss der EU-Kommission über die BVT-Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (EU 2019) gemäß der IVU-Richtlinie (IVU 2010) wurden neue EU-weite Vorgaben in Bezug auf die Abfallverbrennung formuliert. Dabei sind die Emissionswerte nach dem Stand der Technik in Form von Emissionsbandbreiten getrennt für bestehende Anlagen sowie für Neuanlagen ausgewiesen. Die Werte gelten zwar nicht unmittelbar für den Betreiber, jedoch müssen die Inhalte für bestehende Anlagen innerhalb eines Jahres in nationales Recht überführt und innerhalb von vier Jahren angewendet werden. Bei Neuanlagen ist sogar unverzüglich zu gewährleisten, dass die in den BVT-Schlussfolgerungen genannten Emissionsbandbreiten nicht überschritten werden.

Die BVT-Schlussfolgerungen werden zu einer Neufassung der 17. BImSchV führen, wobei für die meisten Schadstoffe eine Grenzwertverschärfung erforderlich sein wird. Bei der Anwendung der genannten Emissionsbandbreiten kann derzeit noch nicht prognostiziert werden, für welchen jeweiligen Emissionsgrenzwert sich der Gesetzgeber letztendlich entscheiden wird. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass die oberen Werte der Bandbreiten als künftige Emissionsgrenzwerte zu erwarten sind (Gleis M 2019). Sollten die oberen Werte umgesetzt werden, sind die Aufgaben mit der zur Verfügung stehenden Technik umsetzbar, so dass sich in technischer Hinsicht kein Innovationschub abzeichnet; bei deutlich schärferen Werten wäre hierzu eine Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Relevante Auswirkungen ergeben sich aus den BVT-Schlussfolgerungen ansonsten allenfalls durch die Definition der Abgaskondensation als bestverfügbaren Stand der Technik. Hier dürfte sich ein Widerspruch zu Anhang 33 "Wäsche von Abgasen aus der Verbrennung von Abfällen" der deutschen Abwasserverordnung (AbwV 2020) ergeben. In Anhang 33 der AbwV wird untersagt, Abwasser aus der Abgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen in Gewässer einzuleiten. Andererseits gibt es dort Einleitgrenzwerte für Abwasser aus der Abgasreinigung sonstiger thermischer Abfallbehandlungsanlagen wie zum Beispiel Anlagen zur Verbrennung von gefährlichen Abfällen oder von Klärschlämmen. Die Formulierung wurde aus Anhang 47 Rahmen-AbwasserVwV (Rahmen-AbwasserVwV 1996) übernommen, als diese 1996 durch die AbwV mit ersetzt wurde. Die Regelung war schon damals offensichtlich unlogisch und zumindest fragwürdig. Die Regelung steht auch im Widerspruch zum Rest von Europa und dem Energienutzungsgebot (Karpf R, Drukmane L 2020).

Während sich aus den absehbaren immissionsschutzrechtlichen Rahmenbedingungen eher keine unmittelbaren größeren technischen Weiterentwicklungen ableiten lassen, wird die thermische Abfallbehandlung aber durch das hochaktuelle und viel diskutierte Thema Klima- und Ressourcenschutz in den kommenden Jahren stark beeinflusst werden.

Mit dem europäischen Green Deal wird gar eine Zukunft ganz ohne Verbrennungsanlagen gewünscht. Dieses Ziel liegt noch fern, aber der Weg dahin

wird durch viele Innovationstechnologien in den Bereichen Energieeffizienz, Dekarbonisierung und Produktgewinnung auch bei Abfallverbrennungsanlagen gekennzeichnet sein (Löschau M 2020).

Bei der Energieeffizienz sind zum Beispiel neben der Wärmerückgewinnung aus Abgas die Wasserstoffelektrolyse in Verbindung mit Power-to-X-Technologien und die Strom- und Wärmespeicherung zu nennen. Bei der Dekarbonisierung werden sich die Technologien zu CO₂-Abscheidung in Verbindung mit anschließenden Verwertungsmöglichkeiten (wie zum Beispiel die Methanisierung) sowie zur langfristigen CO₂-Speicherung weiterentwickeln. Hinsichtlich der Produktgewinnung haben neben der Phosphorgewinnung aus Klärschlammmasche vor allem Systeme zur Metallrückgewinnung aus Verbrennungs- und Rauchgasreinigungsrückständen Entwicklungspotential.

Literatur

17. BImSchV (1990) Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe (Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) vom 23. November 1990 (BGBl. I vom 30.11.1990 S. 2545, ber. S. 2832; 1999 S. 186)

17. BImSchV (2003) Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen (Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) vom 14. August 2003 (BGBl. I Nr. 41 vom 19.08.2003 S. 1633; 27.01.2009 S. 129)

17. BImSchV (2013) Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen (Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 1021, 1044, 3754)

AbwV (2020) Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Juni 2020 (BGBl. I S. 1287) geändert worden ist.

Barniske L (1985) Thermische Abfallbehandlung – Energienutzung und Umweltprobleme. In: Thermische Verfahren der Abfallwirtschaft – Energiegewinnung und Umweltverträglichkeit (Bundesministerium für Forschung und Technologie, Statusbericht 1985)

Barniske L (1987) Stand der Abfallverbrennung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Thomé-Kozmiensky KJ (Hrsg.) Müllverbrennung und Umwelt 2. EF-Verlag, Berlin

BImSchG (1974) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721, ber. S. 1193)

Club of Rome (1972) Grenzendes Wachstums, Deutsche Gesellschaft Club of Rome e.V. Historie: <https://www.clubofrome.de/historie>. Zugegriffen: 13. Juli 2020

Chemie.de (2020) Sevesounglück: <https://www.chemie.de/lexikon/SevesounglProzentC3ProzentBCck.html>. Zugegriffen: 15. Juli 2020

EU (2019) Durchführungsbeschluss der Kommission über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Abfallverbrennung vom 12. November 2019 (DE ABl. Nr. L 312 der Europäischen Union vom 03.12.2019, S. 55)

Gleis M (2019) BVT-Merkblatt Abfallverbrennung – die Ergebnisse des Review-Prozesses. In: Energie aus Abfall Band 16. TK-Verlag Karl J. Thomé-Kozmiensky, Neuruppin

Hagenmaier H (1985) Dioxinanalysen an Abfallverbrennungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky KJ (Hrsg.) Müllverbrennung und Umwelt. EF-Verlag, Berlin

(IVU 2010) Richtlinie 2010/75/EU des europäischen Parlaments und des Rates über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) vom 26. November 2010 (ABl. Nr. L 334 der Europäischen Union vom 17. Dezember 2010, S. 17)

Karpf R, Drukmane L (2020) Warum müssen in Deutschland Abgasreinigungsanlagen hinter MVA abwasserfrei sein? – Ein Widerspruch zum Rest von Europa und dem Energienutzungsgebot. In: Energie aus Abfall Band 17. TK-Verlag Karl J. Thomé-Kozmiensky, Neuruppin

Komorowski K (1985) Thermische Verfahren der Abfallwirtschaft in eine sichere und umweltfreundliche Entsorgung. In: Thermische Verfahren der Abfallwirtschaft – Energiegewinnung und Umweltverträglichkeit (Bundesministerium für Forschung und Technologie, Statusbericht 1985)

KrW-/AbfG (1994) Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrWG-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705)

Löschau M (2014) Reinigung von Abgasen unter besonderer Berücksichtigung der thermischen Abfallbehandlung. TK-Verlag Karl J. Thomé-Kozmiensky, Neuruppin

Löschau M (2020) Die Abfallverbrennungsanlage 2030. In: Energie aus Abfall Band 17. Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Neuruppin

Messenger B (2016) Air Products to Ditch Plasma Gasification Waste to Energy Plants in Teesside. <https://waste-management-world.com/a/air-products-to-ditch-plasma-gasification-waste-to-energy-plants-in-teesside>. Zugegriffen 30. Juli 2020

Olie K, Vermeulen PL, Hutzinger O (1977) Chlorodibenzo-p-dioxins and chlorodibenzofurans are trace components of fly ash and flue gas of some municipal incinerators in The Netherlands. Chemosphere No. 8, pp 455 - 459, Pergamon Press

Rahmen-AbwasserVwV (1996) Rahmen-AbwasserVwV - Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer vom 31. Juli 1996 (GMBL. 1996 S. 729 ff. aufgehoben)

Sager C, Quicker P (2017) 01.05.2017, 00:00 Uhr Entwicklung der Emissionsminderung bei der Abfallverbrennung: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/>

gefährstoffe/messverfahren/entwicklung-der-emissionsminderung-bei-der-abfallverbrennung/. Zugegriffen: 13. Juli 2020

Schäfer R (2012) „Lamettasyndrom“ und „Säuresteppe“: Das Waldsterben und die Forstwissenschaften 1979-2007. Veröffentlichte Dissertation, Institut für Forstökonomie, Universität Freiburg

TA-Luft (1964) Allgemeine Verwaltungsvorschriften über Genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung Luft), 08. September 1964 GMBI. S 433 ff)

TA-Luft (1974) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 28. August 1974 (GMBI. S. 426 ff)

TA-Luft (1986) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBI. S. 95 ff, ber. S. 202 ff)

Thomé-Kozmiensky, Müller H (1981) Rauchgasreinigung nach der Verbrennung der Abfälle. In: Thomé-Kozmiensky KJ (Hrsg.) Rauchgasreinigung nach der Abfallverbrennung. TU Berlin, Berlin

VersatzV (2002) Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2833)

Vogg H (1990) Zur Umweltrelevanz der Abfallverbrennung unter besonderer Berücksichtigung der Dioxin-/Furan-Problematik. In: Abfallwirtschaft und Abfallverbrennung (Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft Band 40). Erich-Schmidt Verlag, Bielefeld



Autorin

Dr.-Ing. Margit Löschau
Partnerin, Mitglied der Geschäftsleitung,
Standortleiterin Hamburg
TBF + Partner AG
Alsterarkaden 9
20354 Hamburg
tbfh@tbf.ch
www.tbf.ch



Autor

Dr.-Ing. Hans-Dieter Huber
Honorarprofessor
Universität Stuttgart
Institut für Siedlungswasserbau,
Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)
Bandtäle 2
70569 Stuttgart
huber_hans-dieter@t-online.de
www.iswa.uni-stuttgart.de



Drehrohrofen der
SAV Biebesheim,
Biebesheim,
Quelle: INDAVER

Die Abfallverbrennung als eine wichtige Einrichtung für die Siedlungsabfallhygiene und den Infektionsschutz

Markus Gleis

Einleitung

Die Entwicklung der Abfallverbrennung in Deutschland ist eng mit den Anforderungen an eine geregelte Siedlungsabfallhygiene und den Kampf gegen die Ausbreitung von Infektionskrankheiten verbunden.

Grundsätzlich gilt für alle großen Menschenansammlungen und Metropolen weltweit die Herausforderung, dass die Menschen nicht nur mit Trinkwasser, Nahrung und Gebrauchsgütern versorgt werden müssen, sondern dass auch die anfallenden Abfälle und Fäkalien sicher aus den Ansiedlungen entfernt und beseitigt werden müssen. Je nach Blüte und Organisationsgrad der Gesellschaft gab es bereits vor Jahrtausenden Lösungen, die auf die „reinigende Kraft“ des Feuers setzten.

In Deutschland beziehungsweise auf dessen historischen Siedlungsgelände blieben entsprechende Erfahrungen lange vergessen, so dass die Ausbreitung einer Vielzahl von Seuchen durch unsachgemäßen Umgang mit Siedlungsabfällen und Fäkalien begünstigt wurde.

Es war dann England, die als führende Industrienation die ersten Abfallverbrennungsanlagen 1870 in Paddington und 1874 in Nottingham in Betrieb nahm und denen unter anderem 1885 eine Anlage in New York in den USA folgte.

Schwierige Verbrennungsbedingungen der damaligen niederkalorischen Abfälle und der aus der unvollständigen Verbrennung herrührenden Geruchsbelästigungen führten aber bald wieder zur Schließung annähernd aller Anlagen in den Vereinigten Staaten und zum Aufbau von zentralen Deponien weit außerhalb der Städte. Dies löste eine Entwicklung aus, die mit Ausnahme eines kurzzeitigen Booms von inzwischen auch wieder stillgelegten Kleinverbrennungsanlagen in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg und eines kurzen Sinneswandels zur Zeiten der Ölkrise, noch bis in die heutige Zeit anhält.

Die Erkenntnis über den Nutzen der Abfallverbrennung bei der Seuchenbekämpfung setzte sich in Deutschland zwar etwas später durch, wurde dann aber ähnlich wie in Dänemark zu einer nachhaltigen Entwicklung, die bis zum heutigen Tag fort dauert.

Auslöser für den Bau von Müllverbrennungsanlagen in Deutschland war die Choleraepidemie von 1892 in Hamburg, die - zusammen mit neuen Erkenntnissen bezüglich der Übertragungswege durch Robert Koch im Jahre 1884 -, den Senat der Hansestadt dazu bewog in eine Müllverbrennungsanlage zu investieren. Die Anlage ging 1896 in Bullerdeich in Betrieb und leitete eine Entwicklung ein, die sich trotz verschiedener Rückschläge in den Zeiten während und nach den Weltkriegen bis zur aktuellen Zeit fortsetzt.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Klimadebatte sind die klassischen Aufgaben der Siedlungsabfallhygiene und des Infektionsschutzes durch die Fokussierung auf die Maßnahmen zur Minderungen von Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen und der Steigerung der Energieeffizienz der Verbrennungsanlagen nicht mehr konkret sichtbar gewesen, haben inzwischen aber durch den Ausbruch von COVID-19 und seine Folgewirkungen eine neue Präsenz erfahren. Die Anlagen und die dort Beschäftigten wurden deshalb nicht nur in ihrer Funktion als systemrelevant anerkannt, sondern auch deren Aufgabe für die Daseinsvorsorge einer Industriegesellschaft wurde wieder zu schätzen gelernt.

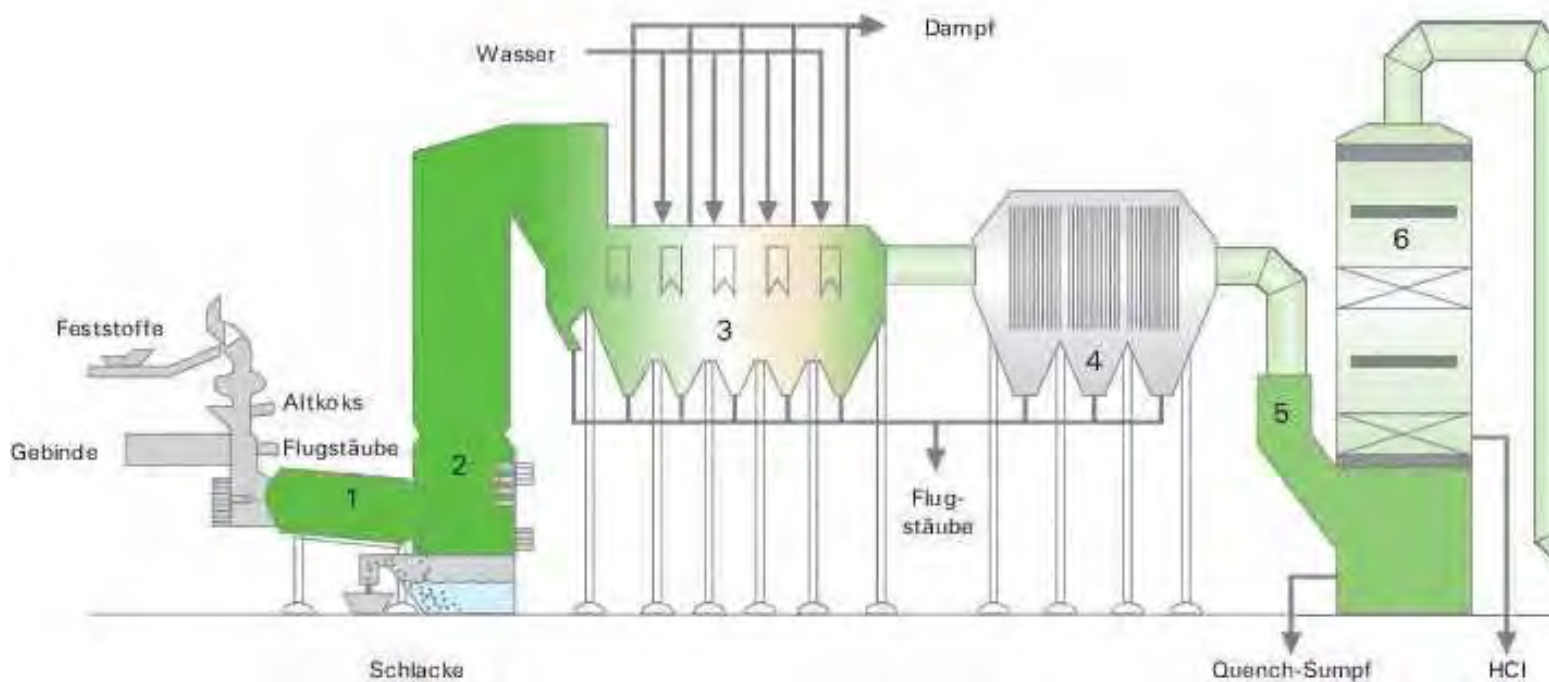
Wer vor dem Hintergrund des aktuellen Infektionsgeschehens dann noch glaubt, dass mit der Wunschvorstellung von „Zero Waste“ Infektionsschutz auch durch Kompostierung der Abfälle zu gewährleisten ist, hat nicht nur am aktuell weltweit stattfindenden Infektionsgeschehen zentrale Punkte nicht verstanden, sondern negiert bewusst die Erfahrungen, die sich schon vor weit über einem Jahrhundert aus der Choleraepidemie in Hamburg für den Schutz der Bevölkerung ergeben haben.

Aktuelle Entwicklungen unter Berücksichtigung des Infektionsgeschehens
Unabhängig von den dargestellten historischen Hintergründen lassen unterschiedliche jetzige Ereignisse, die von der Gesellschaft in Teilen als existenzbedrohend angesehen werden, die Aufgabe der Abfallverbrennung im Sinne einer Daseinsvorsorge wieder deutlicher erkennen.

Es geht dabei nicht nur um Infektionsgeschehen wie sie durch COVID-19 ausgelöst wurden und momentan noch werden, sondern auch zum Beispiel um die Entsorgung von mit Prionen belasteten Tiermehlen, um nach Hochwasserkatastrophen anfallenden Sperrmüll oder die Inaktivierung von hochpathogenen Erregern aus der Behandlung von Ebola-Patienten, was ohne den Einsatz unterschiedlichster Abfallverbrennungsanlagen nicht sicher zu gewährleisten wäre.

Infektionsgeschehen und adäquate thermische Behandlungsmethoden

Die Berücksichtigung von Infektionsgeschehen und die adäquate Antwort durch organisatorische und technische Lösungen fußt einerseits auf den vorhandenen



Erfahrungen und technischen Möglichkeiten andererseits aber auch auf das Vertrauen und die Bereitschaft die vorgeschlagenen Lösungen sachgerecht umzusetzen.

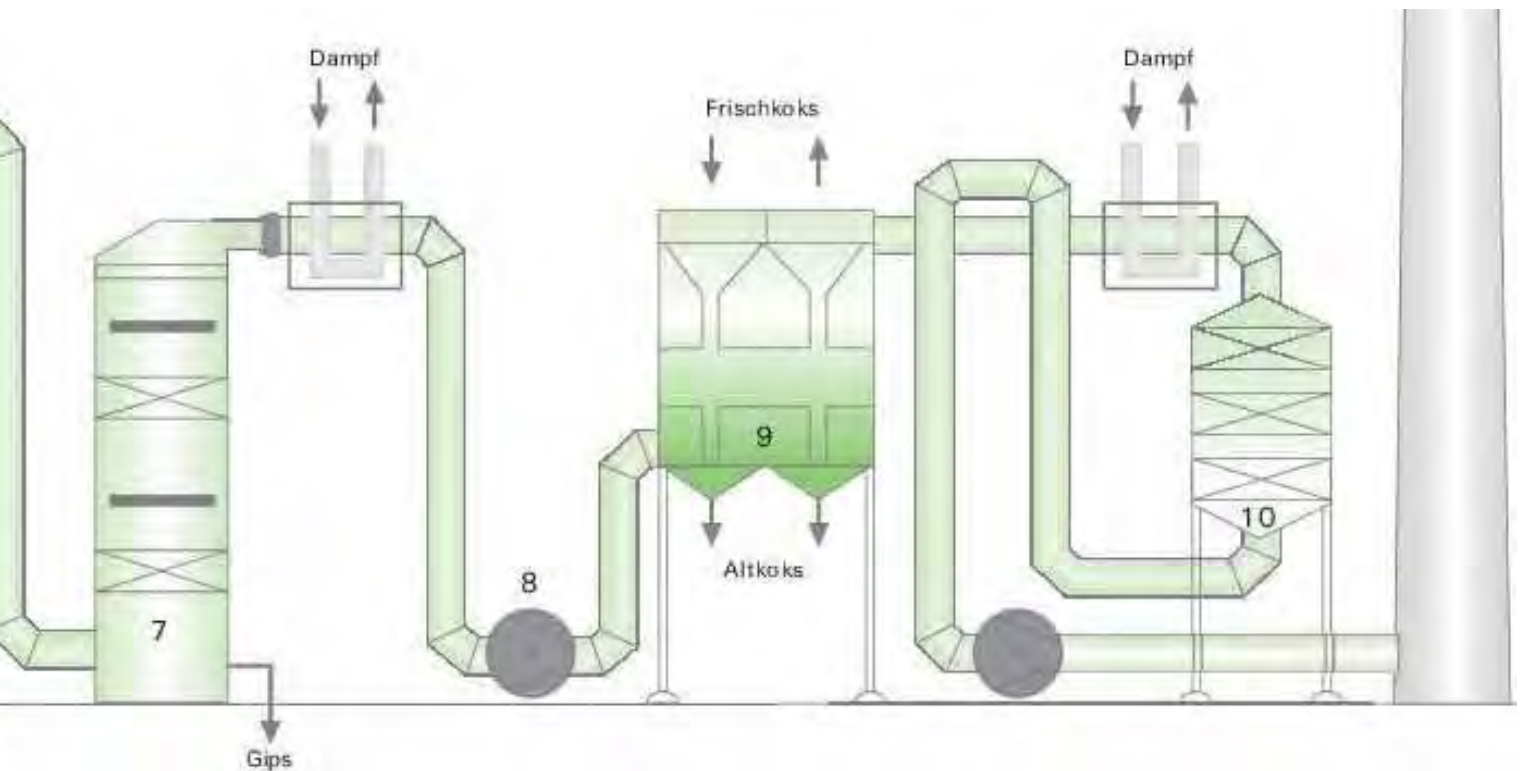
So ist als Einstieg in eine, an die jeweils augenblickliche Situation angepasste, Entsorgungslösung immer wieder darauf hinzuweisen, dass die langjährigen praktischen Erfahrungen bestätigen, dass, entgegen den gelegentlich in der Öffentlichkeit geäußerten Befürchtungen, von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes bei sachgemäßer Handhabung keine größeren Gefahren ausgehen als von ordnungsgemäß entsorgtem Siedlungsabfall und ähnlichen gewerblichen und industriellen Abfällen.

Ein diesem Thema direkt zugeordnetes Regelwerk stellt die „Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes“ dar, die als „Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 18“ regelmäßig aktualisiert und an die aktuellen Entwicklungen angepasst wird.

Hier wird auch sehr dezidiert auf die besonderen Anforderungen an die Sammlung und Entsorgung infektiöser Abfälle (gefährlicher Abfall 18 01 03*) hingewiesen, die sich aus der bekannten oder aufgrund medizinischer Erfahrung zu erwartenden Kontamination mit bestimmten Erregern der in Abstimmung mit dem Robert Koch-Institut in der Vollzugshilfe genannten Krankheiten ergeben, wenn dadurch eine Verbreitung der Krankheit zu befürchten ist. Die Liste umfasst daher Erkrankungen, die unter Berücksichtigung

- der Ansteckungsgefährlichkeit (Kontagiosität, Infektionsdosis, epidemisches Potenzial),
- der Überlebensfähigkeit des Erregers (Dauer der Infektionstüchtigkeit),
- des Übertragungsweges,
- des Ausmaßes und der Art der potenziellen Kontamination,
- der Menge des kontaminierten Abfalls sowie
- der Schwere der gegebenenfalls ausgelösten Erkrankung und deren Behandelbarkeit

besondere Anforderungen an die Infektionsprävention stellen und auch nur adäquaten thermischen Verfahren zu ihrer Inaktivierung oder Zerstörung zugeführt werden dürfen.



Über zahlreiche Infektionskrankheiten, die zum Teil auch eine Relevanz bei der Übertragung durch infektiöse Abfälle aufweisen können, stellt das Robert Koch-Institut zusätzlich aktuelle Informationen auf seinen Internetseiten bereit, die auch hinsichtlich der fortlaufenden Erfahrungen bei neu auftretenden Krankheitserregern angepasst werden.

Anlagenschema der SAV Hamburg der AVG, Hamburg, Quelle: INDAVER

- 1 Drehrohr
- 2 Nachbrennkammer
- 3 Dampfkessel
- 4 Elektrofilter
- 5 Quench
- 6 Saurer Wäscher
- 7 SO₂-Wäscher
- 8 Saugzug
- 9 Koksfilter
- 10 DeNO₂-Katalysator

Eingangsbereich SAV Hamburg der AVG, Hamburg, Quelle: INDAVER



In der Hochtemperaturverbrennungsanlage werden alle im Abfallschlüsselkatalog aufgeführten Materialien mit Ausnahme explosiver und radioaktiver Stoffe angenommen. Für krankenhausspezifische und infektiöse Abfälle stehen separate gekühlte Lagerbereiche zur Verfügung.

Die Anlage ist in zwei identische Linien aufgeteilt, die unabhängig voneinander betrieben werden und über eine eigene Rauchgasreinigung verfügen. Pro Jahr können 100.000 Tonnen Abfälle entsorgt werden. Die dabei entstehende Abwärme wird über eine benachbarte Heizkraftanlage in das Hamburger Fernwärmenetz eingespeist.



Aufgabesysteme der SAV
Hamburg der AVG,
Hamburg,
Quelle: INDAVER

Dies zeigt sich auch beim Ausbruch von COVID-19, die als meldepflichtige übertragbare Krankheit im ersten Ansatz die Entstehung eines infektiösen Abfalls (gefährlicher Abfall 18 01 03*) zur Folge hatte und damit alle Abfälle der Sonderabfallentsorgung zuzuweisen waren. Nach näherer Kenntnis der Übertragungswege konnten differenziertere Entsorgungsempfehlungen herausgegeben werden. So wurde in Koordination zwischen den zuständigen Einrichtungen von Bund und Ländern festgelegt, dass bei der Behandlung an COVID-19 erkrankter Personen in Kliniken und Krankenhäusern in der Regel keine größeren Mengen an Abfällen anfallen, die unter der Abfallschlüsselnummer (ASN) 18 01 03* deklariert werden müssen.

Die daraus folgenden Ansätze wurden unter der Maßgabe gewählt, das COVID-19 nahezu ausschließlich als Tröpfchen-Infektion übertragen wird und daher nicht flüssige Abfälle aus der Behandlung von COVID-19-Patienten unter Einhaltung der üblichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes und des Tragens geeigneter persönlicher Schutzausrüstung kein besonderes Infektionsrisiko darstellen und so in der Regel als nicht gefährlicher Abfall der Abfallschlüsselnummer ASN 18 01 04 zugeordnet und entsprechend entsorgt werden können. Die Abfälle sind dabei stets in verschlossenen und reißfesten Plastiksäcken (nähere Hinweise siehe unter Sammlung und Transport sowie Verpackung) der Abfallsammlung zuzuführen. Spitze und scharfe Gegenstände sind wie üblich in speziellen bruch- und durchstichsicheren Einwegbehältnissen zu sammeln und zu verpacken. Die Entsorgung der Einwegbehältnisse erfolgt über den ASN 18 01 01. Für diese Entscheidung war auch maßgebend, dass diese Abfälle ohne weiteren direkt Kontakt zu Personen in die Abfallverbrennungsanlage gelangen.

Die Abfälle aus der Diagnostik von COVID-19 sind, wenn sie nicht nur als einzelne Tests vorliegen, genau wie alle anderen Abfälle aus der mikrobiologischen und virologischen Diagnostik vor Ort mit einem anerkannten Verfahren zu inaktivieren. Eine Zuordnung der inaktivierten Abfälle zur ASN 18 01 03* ist deshalb nicht erforderlich. So behandelte Abfälle können der ASN 18 01 04 zugeordnet werden. Sofern in Ausnahmefällen, zum Beispiel durch große Probenmengen, die vorgeschriebene Inaktivierung vor Ort nicht möglich ist, sind die nicht inaktivierten Abfälle aus der Diagnostik der ASN 18 01 03* zuzuordnen. Die mit dieser Abfallschlüsselnummer verbundenen abfall- und transportrechtliche Vorgaben sind zu beachten, was in der Regel den Transport als

Gefahrgut zu einer dafür zugelassen Sonderabfallverbrennungsanlage zur Folge hat.

Gleichzeitig gewährleisten die bereits dargestellten Möglichkeiten der Abfallzuordnung zur den jeweiligen Abfallschlüsselnummern, dass bei sachgerechter Sortierung unter Verantwortung der gesundheitsdienstlichen Einrichtungen die Behandlungsanlagen (in der Regel Sonderabfallverbrennungsanlagen) nur Abfälle angeliefert bekommen, die diesem hohen Sicherheitsniveau bei der thermischen Behandlung beziehungsweise Beseitigung zugeordnet werden müssen.

Die infektiösen Abfälle sind ohne vorheriges Verdichten oder Zerkleinern, in den für ihre Sammlung verwendeten Behältnissen, in einer zugelassenen Anlage zu verbrennen. Wobei nach den Erfahrungen mit Krankheitserregern (Viren) der Risikogruppe 4 ausgehenden von der Behandlung eines Ebola-Patienten in Leipzig und der fehlenden Möglichkeit, die dabei anfallenden großen Mengen infektiösen Abfalls vor Ort zu inaktivieren, eine differenzierte Vorgabe mit Schutzmaßnahmen für die in den Sonderabfallverbrennungsanlagen beschäftigten Personen (Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – TRBA 300) erarbeitet wurde, die kurz vor der Veröffentlichung durch den Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) steht.

Als weitere Besonderheit gilt beim Auftreten von Erregern Transmissibler Spongiformer Enzephalopathie (TSE), was zur Entstehung kontaminierter Tiermehle geführt hat, dass die Inaktivierung bevorzugt durch Verbrennung des kontaminierten Materials zu erfolgen hat. Ein Umstand, der vor allem in den Neunziger Jahren zum Aufbau und der Nutzung entsprechender Verbrennungs- und Mitverbrennungsmöglichkeiten für Tiermehle geführt hat.

Fazit

Fasst man den Umgang mit früheren und aktuellen Infektionsgeschehen und deren Bekämpfung zusammen, so zeigt sich deutlich, dass das Vorhandensein von Abfallverbrennungskapazitäten und eine differenzierte Form der Abfallannahme in den Anlagen, die dem Infektionsrisiko Rechnung tragen, wesentliche Voraussetzung sind, um das Infektionsgeschehen beherrschbar zu machen.

Es zeigt sich auch, dass die Abfallverbrennung weiterhin ein nicht zu vernachlässigbarer Bestandteil der Siedlungsabfallhygiene ist, der auch gerade im Pandemiefall nicht zu unterschätzen ist, da Zwischenlager nicht inaktivierter und damit potentiell infektiöser Abfall auch der Ausgangspunkt für eine neues Infektionsgeschehen sein können.

Der Beitrag ist meinen leider verstorbenen Freunden und Wegbegleitern Jürgen Vehlow und Bernt Johnke gewidmet.



Autor

Dipl.-Ing. Markus Gleis
Umweltbundesamt
Fachgebiet III 2.4
„Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer“
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
markus.gleis@uba.de
www.uba.de

**Der aktuelle Status der hygienisch sicheren
Abfallbehandlung:**

**Thermischen Abfallbehandlung -
Schlackeaufbereitung - Deponierung**

Die Herkunft, die Zusammensetzung und die Verwertung der Abfälle – was machen wir zukünftig daraus?

Martin Treder

1. Einleitung

In England wurde 1874 die erste Abfallverbrennungsanlage aus gesundheitlichen Gründen gebaut, da man feststellte, dass Abfälle Krankheiten hervorrufen können. Aufgrund einer Cholera-Epidemie wurde im Jahr 1896 die erste Müllverbrennungsanlage (MVA) Deutschlands in Hamburg in Betrieb genommen.

Der Hauptzweck der Anlagen lag in der Volumenreduktion und Hygienisierung. Erst mit der Erdölkrise in den 1980er Jahren begann man mit der konsequenten Energienutzung der Abwärme aus der Verbrennung von Abfällen.

Mit dem Ablagerungsverbot für unvorbehandelte Siedlungsabfälle zum 1. Juni 2005 mussten neue Behandlungskapazitäten geschaffen werden. Auch die Sortierung von Abfällen wurde intensiviert, sodass zunehmend heizwertreichere Abfallfraktionen entsorgt werden mussten. Durch die Mitverbrennung in Zement- und Kohlekraftwerken konnten Teilmengen aufgenommen werden, für den Rest wurden sogenannte Ersatzbrennstoff (EBS)-Kraftwerke errichtet.

Heute verfügt Deutschland über rund 100 Thermische Abfallbehandlungsanlagen (TAB gleich MVA und EBS-Kraftwerk). Eine Differenzierung, die statistisch zwar immer noch erfolgt, ist in der Praxis jedoch nicht mehr relevant, da es keine sinnvollen Abgrenzungskriterien (weder technisch, genehmigungsrechtlich, emissionsschutz- noch abfallrechtlich) gibt.

Mit der Weiterentwicklung von der Abfallentsorgung hin zur Kreislaufwirtschaft und der zunehmenden Verknüpfung von Sektoren hat sich auch die Aufgabe der TAB weiterentwickelt. Die Ziele der thermischen Abfallbehandlung liegen somit in der:

- Hygienisierung von Abfällen, um Krankheiten vorzubeugen;
- Schadstoff-Zerstörung (organische Stoffe) und -entfrachtung (Schwermetalle aufkonzentrieren und aus dem Ökosystem ausschließen)
- Volumenreduktion, um Deponieraum einzusparen
- Schaffung einer nachhaltigen (sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen), flächendeckenden, gesicherten und anwenderfreundlichen Entsorgungsinfrastruktur
- Reduzierung von Abfalleinträgen in die Ökosysteme (Littering, Meeresverschmutzung etc.)
- nachhaltigen Entsorgung nicht verwertbarer Fraktionen, wie:
 - Rückstände aus Umweltschutzmaßnahmen (Klärschlämme etc.)
 - Wertstoff-abgereicherter sowie Schadstoff- und Störstoff-angereicherter Sortierreste (Siebreste etc.)
 - Sonderabfälle beziehungsweise schadstoffreiche Sonderfraktionen (Kunststoffe mit Flammschutz etc.)
 - Hygieneartikel (Windeln etc.), medizinische Produkte (Abfälle aus dem Gesundheitswesen etc.) oder potenziell kontaminierte Abfälle (Covid-belastet etc.)
 - Kontaminierte Bioabfälle (Eichenprozessionsspinner, Ambrosia, Rußrindenkrankheit beim Ahorn etc.)
 - Nicht verwertbarer „Rest“, der übrig bleibt, wenn Wertstoffe an

- der Anfallstelle bereits getrennt erfasst wurden (Haus- und Gewerbeabfälle etc.)
 - Abfälle aus Sonderentsorgungsmaßnahmen (Brandabfälle, Hochwasserschäden etc.)
- Rückgewinnung von Ressourcen (Energie, Mineralik, Metalle aus den Schlacken bzw. Rauchgasreinigungsrückständen)
- Möglichkeit zum Aufbau eines hochwertigen Recyclings durch kostengünstige und gesicherte Entsorgung der Sortierreste – Recycling und Thermik gehen „Hand in Hand“
- Energieversorgung (Nutzung der Abwärme durch Transformation in Strom, Wärme und Prozessdampf - fossile Energieträger werden substituiert)
- Sektorenkopplung (effiziente Verbindung von unterschiedlichen Bereichen der Daseinsvorsorge – Abfall, Abwasser (Klärschlamm Entsorgung etc.), Energieversorgung (Strom, Fernwärme, Prozessdampf, Wasserstoffherzeugung, Power-to-X etc.), Mobilität etc.)
- Erbringung von Systemdienstleistung bei Energiesystemen (Stromnetzstabilität (Frequenzhaltung, Schwarzstartfähigkeit, Regelleistung etc.), Fernwärmesysteme und zukünftig auch bei Gasnetzen)
- Reduzierung von Treibhausgasen, da
 - Methanemissionen aus neuen Deponien vermieden werden,
 - Abwärme fossile Energien ersetzt,
 - Rückgewinnung von Ressourcen aus Abfällen, da Kreislaufführung in der Regel klimafreundlicher ist als die Gewinnung von Rohstoffen.

Im folgenden Beitrag werden einige Aspekte der TAB als eine der tragenden Säulen der Abfall- und Ressourcenwirtschaft näher beleuchtet.

2. Energie

Die Thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB), zu denen die ITAD insgesamt rund 100 Müllverbrennungsanlagen (MVA/MHKW) und Ersatzbrennstoffkraftwerke (EBS-KW) zählt, sind bundesweit flächendeckend verteilt – die ITAD vertritt hiervon über 80 Anlagen mit rund 90 Prozent der Kapazität (insg. rund 27 Millionen t Verbrennungskapazität). Hinzu kommen noch die Sonderabfall- (etwa 30 SAV), Klärschlammmono- (etwa 30 KVA) und Altholzverbrennungsanlagen (etwa 60 Altholz-KW) sowie rund 50 Zementwerke, die derzeit fast 69 Prozent des Brennstoffenergieeinsatzes durch Abfälle decken. Die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken läuft zunehmend aus und spielt in einigen Jahren keine Rolle mehr.

Die somit rund 220 Monoabfallverbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen sind die tragende Säule der Kreislaufwirtschaft und leisten bereits heute einen signifikanten Beitrag zur integrierten Energieversorgung. Die TAB können bei der weiteren Fortentwicklung einer sektorenübergreifenden Verzahnung der Energiesysteme (Strom-, Wärme- und Wasserstoffnetze) eine noch größere Rolle spielen. Darüber hinaus werden insbesondere die TAB zunehmend Systemdienstleistungen für die Übertragungs- und Verteil-Netze aufgrund ihrer „rotierenden Massen“ (Generatoren) mit der installierten Leistung von über 2.000 Megawatt übernehmen.

Die Verbrennung von Abfällen ist ein thermischer Prozess, bei dem Abfälle (nicht Brennstoffe) eingesetzt werden und Abwärme entsteht. Diese wird im Rahmen eines KWK-Prozesses (direkt an der TAB oder extern über Prozessdampf) genutzt. Die Anlagen müssen auch dann betrieben werden, wenn sie theoretisch keine(n) Wärme/Strom in ein Netz einspeisen können. Die Be-

triebsfahrweise der TAB richtet sich somit nach dem Abfallanfall im Bunker und nicht nach dem Energiebedarf der Kunden. Somit handelt es sich primär um einen „Prozess“ der „Abfallentsorgung“ und nicht um ein „Kraftwerksprozess“, um Energie bereitzustellen (die Energienutzung ist ein Folgeprozess).

Daher dürfen TAB nicht mit konventionellen Kraftwerken gleichgesetzt werden. Auch darf "Abfall" nicht mit "Brennstoff" gleich gesetzt werden. Brennstoffe sind kostenpflichtige normierte Produkte, die zielgerichtet hergestellt und gelagert werden. Sie werden nur eingesetzt, wenn dies notwendig ist. Abfälle entstehen jedoch durch wirtschaftliche Tätigkeiten. Es findet also keine zielgerichtete Herstellung statt, sie können in der Regel auch nur schwer gelagert werden, haben sehr heterogene Zusammensetzung und sind kostenpflichtig zu entsorgen.

Die TAB können energiewirtschaftlich wie folgt charakterisiert werden:

- TAB gelten als Erneuerbare Energien (EE) Anlagen, erhalten aber keine zusätzliche EEG-Vergütung, haben dadurch aber eine Vorrangspeisung.
- Viele stromerzeugende Anlagen nehmen am Herkunftsnachweisverfahren des UBA teil, sodass sie nachweislich EE-Strom durch den biogenen Anteil im Abfall – über 50 Prozent - erzeugen.
- Demnächst werden rund 95 Prozent der TAB (der Fernwärmeanschluss wird weiter vorangetrieben) als KWK-Anlage betrieben. Die meisten gelten sogar als hocheffiziente KWK-Anlagen.
- Die Grundlastfahrweise von TAB-Anlagen sorgt für eine Strompreissenkung für das Gesamtsystem. Sie ersetzen teurere fossile Kraftwerke, die sonst den Strom produzieren würden. TAB-Anlagen mindern so die volkswirtschaftlichen Stromgestehungskosten. Dieser Effekt wird weiter zunehmen, sodass der Großhandelsstrompreis um etwa 1,30 Euro je Megawattstunde bis 2030 reduziert werden könnte (Quelle: Energy Brainpool (1)).
- In Deutschland werden 50 Prozent der genutzten Energie der TAB grundsätzlich als EE („biogener Anteil des Abfalls“) eingestuft. Wie weiter unten ausgeführt wird (siehe Abbildung 6), wurden somit in 2019 rund 7,6 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente eingespart.
- Im Gebäudeenergiegesetz (GEG) wird die Energienutzung aus Abfall als Abwärme anerkannt und somit mittels eines sachgerechten Bilanzrahmens bewertet. Der Emissionsfaktor liegt bei 20 gr/kWh und der Primärenergiefaktor wird mit Null bewertet.
- Die Bundesregierung (2) stellt fest: „Die bei der Verbrennung nutzbare fossile Primärenergie des Abfalls ist im Rahmen von Lebenszyklusanalysen definitionsgemäß bereits den Abfallprodukten zugerechnet.“
- Alle Mitgliedsanlagen der ITAD nutzen die Abwärme aus dem Verbrennungsprozess in Form von Prozessdampf, Fernwärme und Strom in unterschiedlichen Konstellationen. Die ITAD Mitgliedsanlagen exportierten etwa 22 Millionen MWh an Wärme und produzierten etwa 10 Millionen MWh Strom (3) in 2019.

Nahezu alle stromerzeugenden TAB sind derzeit in der Überlegung oder Planung, einen Elektrolyseur zur Wasserstoffherzeugung (H₂) auf ihrem Betriebsgelände zu errichten. Die TAB-Anlagenstandorte bieten (auch im Vergleich zu vielen anderen Standorten) herausragende Bedingungen für die H₂-Erzeugung:

- Hohe Anzahl an Betriebsstunden – häufig über 8.000 Volllaststunden (Wind-Offshore bis zu 4.000 Volllaststunden)
- Niedrige Stromgestehungskosten (in der Regel Opportunitätskosten gegen EEX Strommarkt)

- Ideale Infrastruktur (Wasseraufbereitung für Elektrolyse, Netzanschluss, Personal etc. vorhanden)
- Standort (flächendeckend, gute Verkehrsanbindung, Kundennähe, Genehmigungsverfahren etc.)
- Know-how und wirtschaftliche Stärke vorhanden
- Sektorenkopplung zur Mobilität – H₂ für Busse, Abfallsammelfahrzeuge, Schienenverkehr und Herstellung von eFuels über Power-to-X-Anlagen (PtX)
- Elektrolyseur steigert das Systemdienstleistungsangebot zur Netzstabilisierung
- Nutzung der Koppelprodukte aus dem Elektrolyseur:
 - H₂ kann Heizöl-/Gas-betriebene Zünd- und Stützbrenner ersetzen, gegebenenfalls auch Wärmesicherung für Fernwärme
 - Abwärme aus H₂-Produktion kann durch bestehende Infrastruktur zusätzlich genutzt werden
 - Sauerstoff (O₂) kann für interne (für den Kesselbetrieb) und externe (Kläranlage am Standort, Verkauf) Zwecke genutzt werden.

Als Beleg für zukunftsweisende Projekte bei den TAB sind die folgenden Beispiele genannt, die zeigen, dass die ITAD-Mitgliedsunternehmen bereits auf dem Weg in die Wasserstoffwirtschaft sind:

- Pilotprojekt bei der AWG, MVA Wuppertal (4) - H₂ Produktion und Nutzung für Busse)
- Partner bei „Reallabore der Energiewende“ mit der MVA (SRS EcoTherm GmbH (5)) in Salzbergen
- Gewinner des NRW Wettbewerbs "Modellregion Wasserstoffmobilität" ist die „Kompetenzregion Düssel.Rhein.Wupper“(6) mit sechs TAB.

Um diese Projektideen weiter voran zu bringen, ist ITAD auch der Wasserstoffinitiative GET H2 (www.get-h2.de) beigetreten. Deren Ziel ist es, ein landesweites Wasserstoffnetz aufzubauen.

Über einen Anschluss der TAB an ein Wasserstoffnetz ergeben sich weitere Handlungsoptionen zur Sektorenkopplung:

- Ein- und Ausspeisung von H₂
- Nutzung des klimaschädlichen Kohlendioxids (CO₂) aus dem Reingas kann als Kohlenstoffquelle (C-Rohstoff) in einer defossilisierten Gesellschaft zum Aufbau einer „Renewable Carbon“ Industrie genutzt werden
- Über PtX-Anlagen können eFuels und Basischemikalien (Methanol, Ammoniak etc.) produziert werden – auch als Rohstoff für Kunststoffherstellung (Schließen von Kunststoff-Kreisläufen)

Ein Pilotprojekt bei der ZAS_t (7) (MVA Zella-Mehlis, Thüringen) zur H₂-Produktion mit H₂-Tankstelle, CO₂-Abscheidung mit Methanol-Produktion (CO₂ und H₂ reagieren zu Methanol) befindet sich in der Projektierung. Des Weiteren werden mittels einer Laboranlage bei der MVA Bonn Erkenntnisse zur CO₂ Abscheidung des Reingases gewonnen, um in einen weiteren Schritt daraus Methanol zu synthetisieren.

TAB können somit einen bedeutenden Beitrag zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland leisten, wenn die rechtlichen Hürden abgebaut würden („ausschließlich EE-Strom“, Umlagen auf Stromerzeugung abbauen, Zertifizierungssysteme etc.) und Anschubfinanzierungen erfolgen. Investitionen wurden getätigt, Ausschreibungen laufen – Investitionssicherheit in die Zukunft wird von der Branche gefordert (siehe Ausführungen „Gedanken zum Schließen von Kohlenstoffkreisläufen“).

Anlagenarten	Abfalleinsatz 2017				
	Anzahl	Input [Mio. t]			davon gef. Abfälle
		insg.	davon Ausland	Anteil Ausland [%]	
Abfallverbrennungsanlagen	84	21,585	1,252	5,8	
Klärschlammverbrennungsanlagen	23	2,069	0,048	2,3	
Sonderabfallverbrennungsanlagen	33	1,353	0,139	10,3	
Sonstige Anlagen zur therm. Abfallbehandlung (Pyrolyse, etc.)	16	0,113	0,037	32,7	
Summe Therm. Abfallbehandlungsanlagen	156	25,120	1,476	5,9	2,298
EBS-Kraftwerke	33	4,716	0,273	5,8	
Biomassekraftwerke	110	8,710	0,766	8,8	
Anderes Kraftwerk (z.B. Kohlekraftwerk)	42	3,104	0,089	2,9	
Heizwerk (Wärmeerzeugung)	305	1,442	0,025	1,7	
Mitverbrennung (Zement-, Kalk-, Ziegel- oder Stahlwerk)	61	4,775	0,228	4,8	
Summe Feuerungsanlagen	551	22,747	1,381	6,1	2,261
Summe Thermik	707	47,867	2,857	6,0	4,5594

Angabe in 1.000 t	2018					Quote [%]	
	Abfallaufkommen insg.	Beseitigung		Verwertung		Verwertung	Recycling
		sonstige Beseitigung	Therm. Beseitigung	Energetische Verwertung	Stoffliche Verwertung		
Siedlungsabfälle insgesamt	50.260	712	179	15.646	33.723	98,2	67,1
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (über öffentliche Müllabfuhr)	13.526	414	0	10.898	2.214	96,9	16,4
Spermmüll	2.696	56	8	1.204	1.429	97,7	53,0
Bioabfälle (ohne Kantinenabfälle)	9.962	3	0	195	9.765	100,0	98,0
getrennt gesammelte Fraktionen (Glas, PPK, LVP, etc.)	18.243	11	9	1.003	17.221	99,9	94,4
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (separat erfasst)	3.692	26	155	2.098	1.413	95,1	38,3
Sonstige Siedlungsabfälle (Straßenkehricht, etc.)	2.140	201	7	249	1.682	90,2	78,6
Abfälle aus Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen	28.846	27.983	0	14	849	3,0	2,9
Bau- und Abbruchabfälle	228.120	26.902	91	1.351	199.776	88,2	87,6
Produktions- und Gewerbeabfälle	55.086	13.794	2.945	12.492	25.855	69,6	46,9
Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen	54.885	5.772	342	18.518	30.253	88,9	55,1
Abfallaufkommen Insgesamt	417.197	75.163	3.558	48.022	290.456	81,1	69,6
				51,6 Mio. -- 12,4 %			

Abb. 1
Verbrennungsanlagen 2017,
Quelle: Destatis
"Abfallentsorgung" - Fachserie 19 Reihe 1 - vom 25.06.2019

3. Abfallmengen und Entsorgung

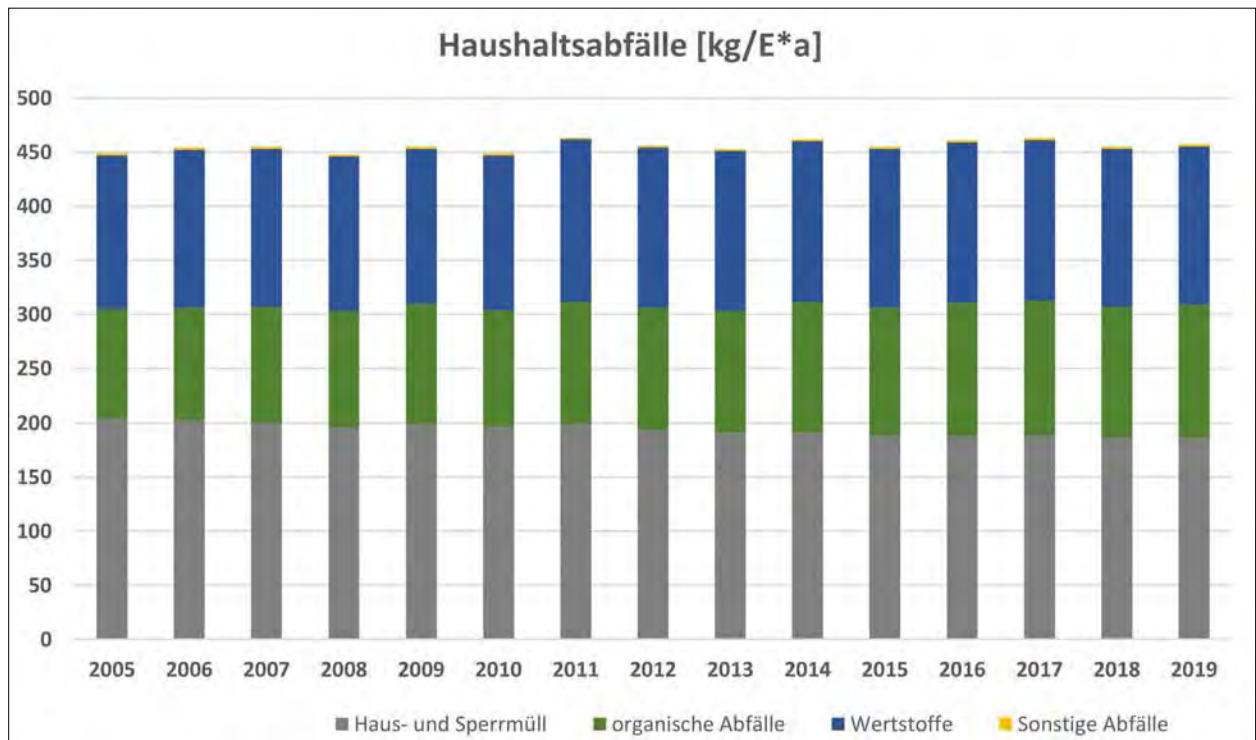
Das Statistische Bundesamt (Destatis) veröffentlicht in der Regel jährlich zwei relevante Statistiken zum Abfallaufkommen und zur Abfallentsorgung:

- Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 (letzte Fassung für 2017 vom 25.06.2019; siehe Abbildung 1) und
- Abfallbilanz (letzte Fassung für 2018 vom 01.07.2020; siehe Abbildung 2).

Demnach werden zwischen 51,6 und 47,9 Millionen Tonnen Abfälle verbrannt.

Anmerkungen zu Abbildung 1 und 2:

- Bei Abb. 1 handelt es sich um den Input in die rund 700 deutschen Thermischen Abfallbehandlungsanlagen für das Jahr 2017, wogegen es sich in Abbildung 2 um das deutsche Abfallaufkommen in 2018 handelt.
- In Abbildung 2 wird nur das nationale Abfallaufkommen berücksichtigt, teilweise findet die Entsorgung aber auch im Ausland statt. In Abbildung 1 sind hingegen auch Importmengen berücksichtigt.
- In der Abbildung 2 sind unter „Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen“ keine Abfälle der Abfallgruppe „1908 Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen (anderweitig nicht genannt)“, also zum Beispiel Klärschlämme, enthalten. Diese sind den Produktionsabfällen zugeordnet.
- Ob alle thermisch behandelten Abfallmengen tatsächlich erfasst werden, ist fraglich, da ohne Zweifel auch nennenswerte Mengen zum Beispiel in betriebseigenen Verbrennungsanlagen (Verbrennungsanlagen nach der 1. BImSchV und TA-Luft) eingesetzt, aber nicht berichtet werden. Im Bereich der Verbrennung von Altholz muss zusätzlich auch der Bereich Hausbrand betrachtet werden.



Ob so die größten Abweichungen zu erklären sind, kann nicht beurteilt werden. Auch bezüglich der Definitionen und den daraus resultierenden Zahlen gibt es in der Branche zum Teil starke Divergenzen. Ein Beispiel ist die Definition, Anzahl der Anlagen und Durchsatzleistung von TAB. Demnach unterteilt Destatis nach 84 Abfallverbrennungsanlagen und 33 EBS-Kraftwerken (s. Abb. 1) – ITAD betrachtet hingegen 100 TAB mit einer Jahreskapazität von rund 27 Millionen Tonnen (8).

Abb. 3
Entwicklung der
Haushaltsabfälle,
Quelle: ITAD (nach Zahlen
von destatis)

4. Siedlungsabfall-Aufkommen und Zusammensetzung

Im Jahr 2019 wurden bei den privaten Haushalten insgesamt 38,0 Millionen Tonnen Abfälle nach Destatis (9) eingesammelt. Im Vergleich zum Vorjahr waren das rund 0,3 Millionen Tonnen beziehungsweise 0,8 Prozent mehr. Das Pro-Kopf-Aufkommen an Haushaltsabfällen stieg von 455 auf 457 Kilogramm. Dieser leichte Anstieg war fast ausschließlich auf Bioabfälle zurückzuführen.

Langfristig betrachtet ist das Abfallaufkommen Pro-Kopf annähernd konstant, Bioabfälle nehmen auf Kosten von Haus-/Sperrmüll leicht zu, wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist.

Bei den getrennt erfassten Wertstoffen kann man seit 2005 keine signifikante Änderung feststellen. Diese schwanken zwischen 143 und 150 kg/E*a.

4.1 Siedlungsabfall-Zusammensetzung

Die Abfallzusammensetzung bei privaten Haushalten ist von den drei getrennt betrachteten Fraktionen Haus-/Sperrmüll, Bioabfall und Wertstoffen geprägt, wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist. In der Abbildung 4 sind die getrennt erfassten Fraktionen bei privaten Haushalten nochmals dezidierter betrachtet (10).

Vergleicht man die Zusammensetzung des Abfalls (getrennt erfasste Fraktionen) des Jahres 2019 (456 kg/E) mit dem aus 2005 (450 kg/E), kann man folgende Tendenzen feststellen:

Abfallaufkommen [kg/E] in 2019

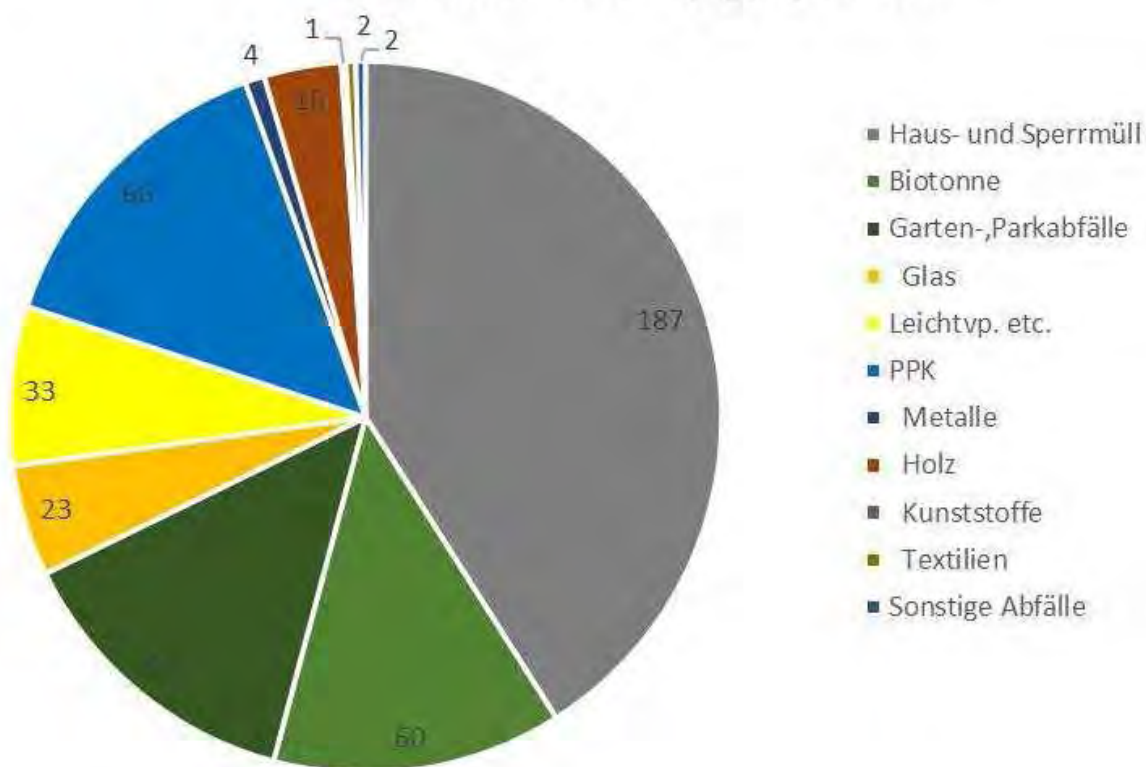
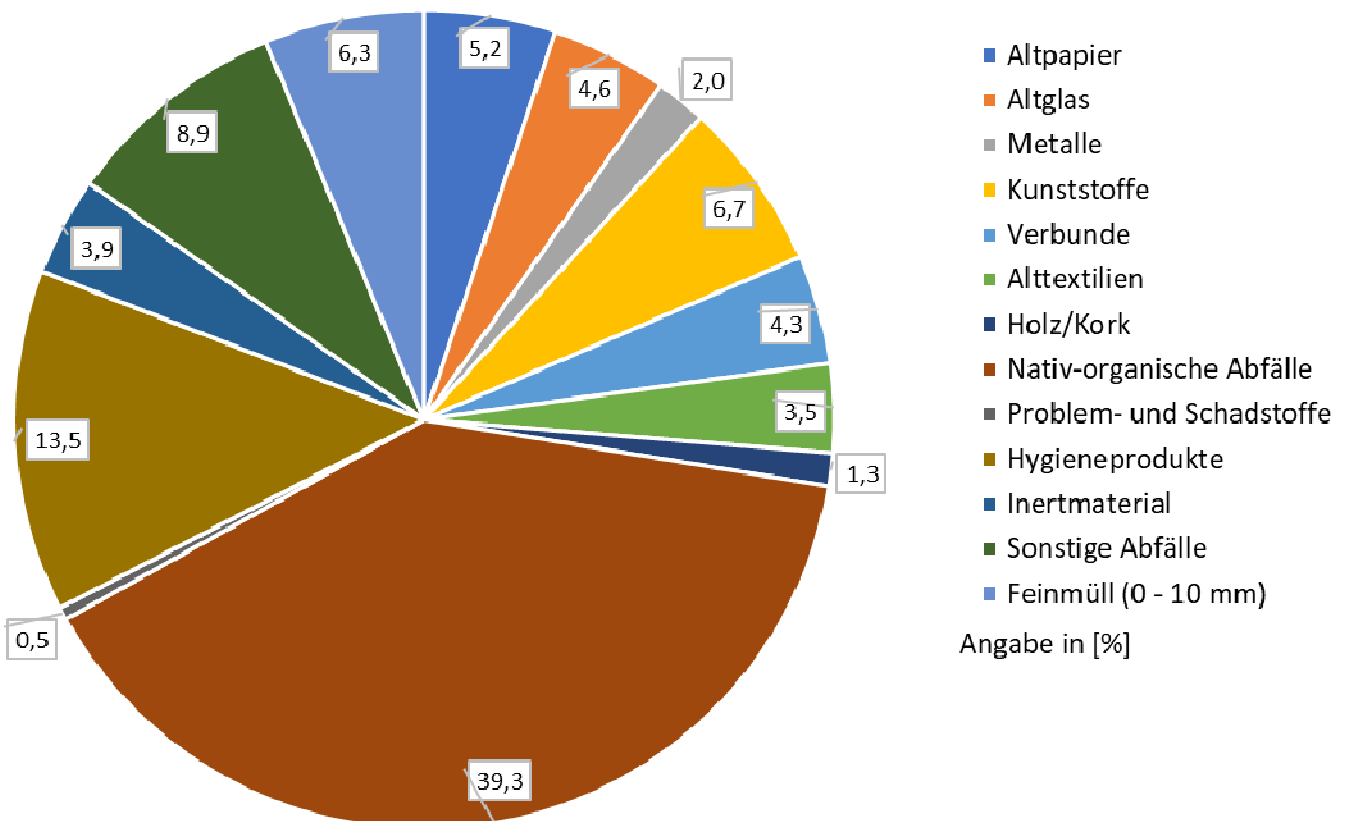


Abbildung 4 Getrennt erfasste Haushaltsabfälle,
Quelle: destatis: Aufkommen an Haushaltsabfällen

Abbildung 5 Zusammensetzung von Hausmüll
Quelle:UBA: VERAS, UBA-Texte 113/2020



- der Haus-/Sperrmüllanteil ist nur um etwa 4 Prozent gesunken
- der Anteil an Bioabfällen ist um etwa 4 Prozent gestiegen
- der PPK-Anteil ist leicht um rund 1,5 kg/E (von 16,0 auf 14,5 Prozent) gefallen
- die Leichtverpackungen (incl. anderer Wertstoffgemische) sind um 3 Kilogramm gestiegen (7,2 Prozent)
- der Anteil von Textilien hat sich nahezu verdoppelt von 1 auf 2 Kilogramm.

Für das Jahr 2017 hat das UBA eine Hausmüllanalyse (11) beauftragt. Die in Deutschland über die Systemabfuhr erfasste Hausmüllmenge betrug 12,95 Millionen Tonnen in 2017 (spezifische Menge etwa 156 kg/E*a). Neben dem Hausmüll aus privaten Haushalten sind darin auch Mengen mit gewerblicher Herkunft enthalten. Die Untersuchungen beziehen sich jedoch nur auf den Hausmüll aus privaten Haushalten mit 128,2 kg/E (Differenz etwa 18 Prozent Geschäftsmüll).

Die Menge und die Zusammensetzung sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Die Hausmüllmenge ist beispielsweise von den folgenden wesentlichen Merkmalen abhängig:

- Siedlungsstruktur – von „ländlich dicht“ (110,5 kg/E) bis „städtisch“ (151,1 kg/E)
- Abfuhrsystem – von „Regelintervall“ (139,2 kg/E) bis „Gebührenrelevante technisierte Systeme“ (103,5 kg/E)
- Bebauungsstruktur – von Außenbereich (118,6 kg/E) bis Großwohnanlagen (158,0 kg/E).

Die Studie führt nach Aussage der Autoren zu der Erkenntnis, dass eine Abhängigkeit zwischen den Wertstoff- und Schadstoffmengen im Hausmüll und den Getrenntsammlensystemen anhand der Daten nicht möglich ist.

4.2 Bioabfälle

In der aktuellen abfallwirtschaftlichen Diskussion spielen zwei Abfallströme eine besondere Rolle – die Kunststoffe und der Bioabfall.

Aufgrund der Menge und der abfallpolitischen Diskussion (Anschlussgrad Biotonne, Novellierung der Bioabfallverordnung, ökobilanzielle Bewertung etc.) sollen im Folgenden die Bioabfälle aus energetischer Sicht näher betrachtet werden.

Die Entsorgung von Bioabfällen über die Restmülltonne wird häufig als Ressourcenverschwendung ohne weiteren Nutzen klassifiziert. Die Biotonne leiste somit einen Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz. Dabei wird suggeriert, dass zum einen keine energetische Nutzung der Bioabfälle stattfindet und zum anderen die Bioabfallvergärung/Kompostierung klimafreundlicher seien.

Unbestritten ist der Beitrag von biologischen Behandlungsverfahren zur Humusversorgung von Böden von sehr großer und zunehmender Bedeutung. Das Schließen von Stoffkreisläufen, indem Nährstoffe als Dünger wieder zurückfließen, ist ein sehr positiver Aspekt, der durch TAB nicht geleistet werden kann. Rund 50 Prozent der eingesammelten Biomasse kann als Kompost wieder eingesetzt werden.

Die Energienutzung und der Klimaschutz sollten auch nicht als alleinige Kriterien zur Beurteilung eines Behandlungsverfahrens herangezogen werden.

Dennoch darf die Bedeutung der thermischen Abfallbehandlung aus energetischer und klimapolitischer Sicht nicht vernachlässigt werden. Jüngste „missverständliche Äußerungen“ hierzu sind zum Beispiel:

- "Bioabfälle aus Küche und Garten in der Restmülltonne sind verschwendete Ressourcen. Dort enden sie nur in der Müllverbrennung." BMU: "Aktion Biotonne Deutschland" (12)
- Bioabfälle werden im Regelfall direkt verbrannt statt zunächst in eine energetische (Vergärung) und anschließend eine stoffliche Verwertung (Kompostierung) zu gehen. Als Vergärungsmaterial stellt das Biogut darüber hinaus einen wichtigen Baustein der Energiewende dar, indem aus den Abfällen klimafreundliches Biogas erzeugt wird. NABU: Homepage (13)

Auch beziehungsweise gerade die biogenen Abfälle in der Restabfalltonne tragen zur Absicherung der Energiewende und zum Klimaschutz bei.

Bereits bei der Novellierung der BioAbfV in 2014 hat die ITAD im Rahmen einer Studie von Dr. Wiegel (ICU) (14) aufgezeigt, dass bei sachgerechter Bewertung vorhandener Entsorgungskonzepte zum Beispiel bei einer Kombination aus TAB und Kompostierungs- oder Vergärungsanlage eine verpflichtende flächendeckende Bioguterfassung inklusive Bau neuer Behandlungskapazitäten nicht zwangsläufig der bessere Weg ist. Die Ergebnisse haben sich durch die neuere UBA Studie (15) erhärtet.

Die besondere Vorteilhaftigkeit der energetischen Nutzung von Abfällen wird im Rahmen von zwei jährlich erscheinenden Erhebungen bestätigt:

- AGEE-Stat: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland (Dez. 2020)
- UBA: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2018; Climate Change 37/2019 (Nov. 2019)

In der folgenden Abbildung 6 (AGEE-Stat) und 7 (UBA) wird die Energie- und Klimarelevanz aus biogenen Materialien betrachtet.

Durch die Stromerzeugung aus Abwärme bei TAB wird die größte spezifische Treibhausgasvermeidung erzielt (vergleicht man dies mit allen erneuerbaren Energieträgern ist nur die Wasserkraft mit 0,743 Tonnen CO_{2eq}/MWh geringfügig besser). Bei der Wärmenutzung liegt die spezifische Treibhausgasvermeidung bei TAB mit 0,216 Tonnen CO_{2eq}/MWh leicht über dem Durchschnitt (0,202), aber deutlich besser als Biogas und Biomethan.

Das UBA betrachtet jährlich die verursachten und vermiedenen spezifischen THG-Emissionen und berechnet hieraus die vermiedenen Netto-Emissionen pro Megawattstunde Strom und Wärme. Zusätzlich wurde von der ITAD der „Effizienzfaktor“ berechnet, der das Verhältnis von verursachten zu vermiedenen Emissionen ausdrückt.

Bei der Stromerzeugung ist sowohl die „Netto-Betrachtung“ als auch der Effizienzfaktor bei der energetischen Nutzung in der TAB am vorteilhaftesten. Bei der Wärmenutzung liegt die Netto-Vermeidung grob betrachtet im Mittelfeld. Auffällig ist der sehr positive Effizienzfaktor, der sich im Wesentlichen durch die fast emissionsfreie Wärmenutzung ergibt.

Dies wird auch im Gebäudeenergiegesetz mit den AGFW-Merkblättern FW 309 aufgenommen (Primärenergiefaktor Null und den Emissionsfaktor von 20 gr/kWh).

Energie	EE 2019	vermiedene THG-Emissionen	spez. THG-Vermeidung
	[GWh]	[1.000 t CO ₂ -Äq.]	t/MWh
Strom			
biogener Anteil des Abfalls	5.806	4.309	0,742
biogene Festbrennstoffe & Klärschlamm	11.106	7.498	0,675
Klärgas	1.581	986	0,624
Deponiegas	285	177	0,621
biogene flüssige Brennstoffe	397	204	0,514
Biomethan	2.620	1.203	0,459
Biogas	28.425	11.536	0,406
Wärme			
Deponiegas	102	29	0,284
biogene Festbrennstoffe & Holzkohle (GHD)	19.146	5.155	0,269
biogene Festbrennstoffe & Klärschlamm (Industrie)	23.784	6.263	0,263
biogene flüssige Brennstoffe	2.380	538	0,226
Klärgas	2.402	521	0,217
biogener Anteil des Abfalls	15.308	3.303	0,216
biogene Festbrennstoffe & Klärschlamm (HW/HKW)	6.121	1.292	0,211
biogene Festbrennstoffe & Holzkohle (Haushalte)	71.354	12.891	0,181
Biogas	13.315	2.214	0,166
Biomethan	3.314	454	0,137

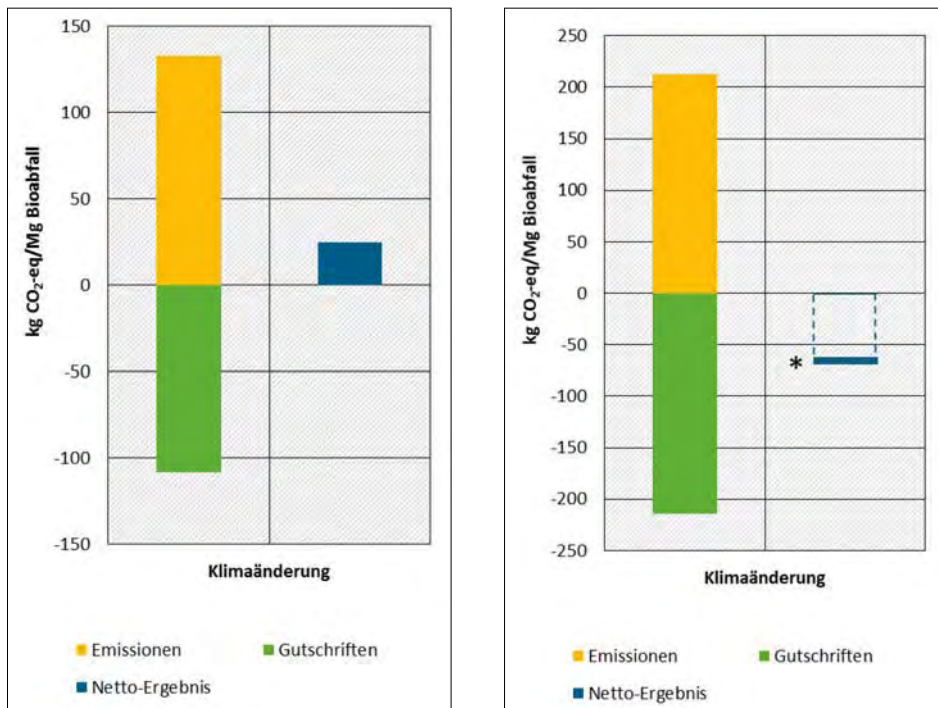
Abb.6
Energieerzeugung und Klimarelevanz,
Quelle: AGEE-Stat : Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren
Energien in Deutschland (Dez. 2020)

Energie	Emissionen 2018 [kg CO _{2eq} /MWh]			"Effizienz- faktor"
	verursacht	vermieden	netto	
Strom				
biog. Abfall	5	738	733	148
feste Biomasse	74	739	665	10
Klärgas	126	739	613	6
Deponiegas	126	738	612	6
fl. Biomasse	203	739	536	4
Biomethan	291	739	448	3
Biogas	345	739	394	2
Wärme				
biog. Abfall	1	217	216	217
fl. Biomasse	4	160	156	40
feste Biomasse (Pellets)	22	330	308	15
feste Biomasse (Kessel)	20	287	267	14
feste Biomasse (Industrie)	22	293	271	13
feste Biomasse (Fernwärme)	24	233	209	10
Deponiegas	36	330	294	9
feste Biomasse (Einzelfeuerung)	23	173	150	8
Klärgas	35	262	227	7
fl. Biomasse (Biodiesel)	68	301	233	4
fl. Biomasse (Pflanzenöl)	120	357	237	3
Biogas	151	326	175	2
Biomethan	158	303	145	2

Abb.7
Energieerzeugung und Klimarelevanz,
Quelle: UBA: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2018;
Climate Change 37/2019

Abb. 8
Ökobilanzergebnisse (Wirkungskategorien Klimaänderung) für die Kompostierung (links) und Vergärung (rechts),
Quelle: UBA: Ermittlung von Kriterien für hochwertige anderweitige Verwertungsmöglichkeiten von Bioabfällen, Texte 09/2021, Jan. 2021

* Nettowirkung für neue und zukünftige Anlagen mit einer deutlichen Minderung der THG-Emissionen



Auch der Vergleich der TAB mit anderen Behandlungsoptionen für Bioabfälle liefert ein verzerrtes Bild. In der ifeu-Studie (16) zu Bioabfällen „Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“ aus 2012 wurde der Stand-der-Technik-Vergärung mit ihren außerordentlich positiven Umweltwerten häufig bereits als so realistisch angesehen, dass sie das Konzept "Vergärung" in anderen Veröffentlichungen als genereller Verfahrenstyp betrachtet wird. Im ifeu-Gutachten selbst wird die Kernaussage jedoch relativiert: "Im Einzelfall unter bestimmten Voraussetzungen kann auch ein bestehendes und optimal ausgerichtetes Restabfallbehandlungssystem aus ökologischer Sicht eine mögliche Alternative darstellen."

Aktuellste Untersuchungen zur Bioabfallverwertung im Auftrag des UBA (17) unter anderem vom Öko-Institut zeigen, dass die Kompostierung zur Klimabelastung beiträgt. Auch bei der Vergärung von Bioabfällen fällt der positive Klimanutzen weitaus geringer aus, als in der ifeu Studie, wie Abbildung 8 zeigt:

Die Stand-der-Technik-Vergärung im ifeu-Gutachten aus 2012 kam noch auf eine CO_{2eq}-Entlastung zwischen 180 und 190 Kilogramm je Tonne Biogut. Die neuen Ergebnisse kommen jedoch nur noch maximal auf ein Drittel.

5. Klimarelevanz der TAB

Bei der Verbrennung von Abfällen ist die vollständige Oxidation von kohlenstoffhaltigen Abfällen zu Kohlendioxid (CO₂) das primäre Ziel – oder anders ausgedrückt: „Die Pflicht der Anlagenbetreiber besteht darin, möglichst viel CO₂ zu produzieren.“ Diese – zugegebener Maßen – überspitzte Aussage spiegelt das Dilemma der Verbrennung von Abfällen wider.

Es spielen viele Aspekte eine Rolle, um die Klimarelevanz der TAB zu beurteilen.

5.1 Unterscheidung biogen/fossil

Abfälle kann man nach den drei Bestandteilen klassifizieren:

- Mineralik, Metalle, Inertes
- Wasser
- Brennbare kohlenstoffhaltige Abfälle

Bei den brennbaren Abfallbestandteilen unterscheidet man, je nach Herkunft des Kohlenstoffs, zwischen biogenen und fossilen Abfällen. Zu den biogenen Fraktionen zählen Bioabfälle, Textilien (Wolle, Baumwolle, Seide, Leder etc.), Papier, Pappe, Kartonage (PPK), Holz etc. Die fossilen Bestandteile bestehen hingegen zu über 95 Prozent aus fossil stämmigen Kunststoffen (Thermoplaste, Duroplaste, Beschichtungen, Klebstoffe, Farben etc.) sowie geringe Mengen an Tensiden, Ölen, Medikamenten etc. - zur Kohlenstoffbilanzierung laufen gerade noch Untersuchungen.

Somit ist die Klimarelevanz der thermischen Behandlung von Abfällen sehr eng mit der Verbrennung von Kunststoffen verknüpft. Nur ein kleiner Teil der klimarelevanten Emissionen aus der TAB stammt aus den fossilen Brennstoffen für Zünd- und Stützbrenner sowie den fossilstämmigen „Nicht-Kunststoffen“.

Zur Reduktion der THG-Emissionen aus TAB stehen, neben der Umstellung des Eigenverbrauchs an fossilen Energieträgern, theoretisch drei Optionen zur Verfügung:

I. Abfallzusammensetzung

Die Abfallzusammensetzung hängt natürlich im großen Maß von der Produktgestaltung ab. Fast alle Produkte werden nach der Gebrauchsphase zu Abfällen. Bei den Kunststoffen kann dies wenige Minuten betragen (Verpackungen) bis hin zu mehreren Jahrzehnten (Bauprodukte). Um somit die THG-Emissionen zu senken, bestehen zwei Optionen:

- Weniger Kunststoffabfälle verbrennen - durch weniger Konsum, Steigerung der Abfallexporte, Steigerung der Recyclingquote etc.,
- Umstellung von fossil- auf biogen-stämmige Kunststoffe.

Zur ersten Option kann man feststellen, dass die Kunststoffproduktion kontinuierlich steigt, der Export an Kunststoffabfällen sinkt und die hochwertige Recyclingquote nahezu stagniert. Zur zweiten Option kann man feststellen, dass in 2019 weltweit insgesamt 3,8 Millionen Tonnen biobasierte Polymere (18) produziert wurden. Dies entspricht nur rund ein Prozent der Produktionsmenge der fossilbasierten Polymere. Das UBA stellt 2014 jedoch in einer eigenen Studie (19) optimistisch fest: „In dieser Studie wird angenommen, dass eine langfristige Umstellung der erdölbasierten Industrie auf nachwachsende oder regenerativ erzeugte Rohstoffe gelingt. Es wird zudem davon ausgegangen, dass die Anteile an Produkten, die auf Erdölbasis produziert wurden, bis zum Jahr 2050 großen Teils schon als Abfall entsorgt wurden. Unter diesen Voraussetzungen sind die Kohlendioxidemissionen fossilen Ursprungs aus Abfallverbrennungsanlagen im Jahr 2050 zu vernachlässigen.“

Die Aussage wird sinngemäß 2019 vom UBA (20) bekräftigt: „Der Anteil der fossilen Treibhausgasemissionen bei der energetischen Verwertung von Abfallströmen wird bis 2050 nahezu vollständig reduziert.“

Ob man diesen Optimismus teilt, muss jeder für sich selbst entscheiden. Fest steht, diese Option liegt außerhalb des Einflussbereichs der TAB-Betreiber.

II. Annahmebedingungen und Vorbehandlung

Der Anlagenbetreiber kann durch seine Annahmebedingungen den Kunststoffanteil im Abfall senken, sei es durch den Ausschluss von diversen Abfallschlüsselnummern oder durch restriktive Annahmebedingungen und den entsprechende Abfallkontrollen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Vorsortierung von Abfällen, indem kunststoffhaltige Abfälle aussortiert und extern entsorgt werden.

Bei beiden Optionen (Annahmebedingungen und Vorbehandlung) hat der TAB-Betreiber zwar einen Einfluss auf seine THG-Emissionen, allerdings findet nur eine Verlagerung statt – keine Reduktion der THG-Emissionen.

Im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) wird diskutiert, ob Abfälle einen CO₂-Preis erhalten sollen. Damit gewinnt auch die Bepreisung von C-haltigen Abfällen eine neue Relevanz (21).

III. CO₂ Abscheidung

Nur die CO₂ Abscheidung aus dem Reingas mit nachhaltiger C-Nutzung oder C-Deponierung stellt eine Option dar, die sowohl im Einflussbereich der Anlagenbetreibers liegt und zu keiner Verlagerung führt. Die Techniken bezeichnet man als Carbon Capture and Utilisation (CCU) oder Storage (CCS). Eine begriffliche Weiterentwicklung liegt in Bioenergy with CCU/S (BECCU), also wenn CO₂ aus (teil-)biogenen Materialien stammen. Dies trifft auf die TAB zu, sodass man auch hier von BECCU sprechen kann.

Erste BECCU-Anlagen werden in den Niederlanden betrieben, in Deutschland befindet sich eine Anlage in der Projektierung (ZAST in Zella-Mehlis, Thüringen). Durch fehlende Rechtsgrundlagen, dem niedrigen Technology Readiness Level (TRL) sowie fehlenden Business-cases sind diese Anlagen (noch) nicht wirtschaftlich. Wenn aber CO₂-Preise von über 100 Euro je Tonne bezahlt werden müssen, könnten sich bei entsprechenden Rahmenbedingungen gegebenenfalls interessante Geschäftsmodelle entwickeln.

5.2 Bestimmung des biogenen Anteils

Eine rechtliche Grundlage zur Bestimmung des biogenen Anteils aus Abfällen existiert nicht. Lediglich Kohlekraft- und Zementwerke, die Ersatzbrennstoffe einsetzen und am europäischen Emissionshandel teilnehmen, bestimmen den biogenen Anteil im EBS. Dies verringert die emissionshandelspflichtigen Emissionen und spart somit Kosten. Die kontinuierliche Emissionsmessung spielt seit Beginn der 3. Handelsperiode im Jahr 2013 im Emissionshandel eine Rolle. Für die Messung gilt die europäische Monitoring-Verordnung, nach der bei mehr als 5.000 Tonnen CO₂ je Jahr eine Genauigkeit von kleiner 2,5 Prozent eingehalten werden muss.

Viele TAB-Betreiber messen bereits CO₂ im Reingas, allerdings ohne Eichung (kein Pflichtwert aus der 17. BImSchV). Die durchschnittliche CO₂-Konzentration liegt zwischen 9,9 und 10,1 Volumen-Prozent im Reingas (2017 bis 2019 nach ITAD-Erhebungen). Mit dieser kontinuierlichen CO₂-Emissionsmessung lässt sich aber nicht der biogene vom fossilen Anteil der CO₂-Emissionen unterscheiden.

Wie hoch der biogene beziehungsweise fossile Anteil im Abfall ist, kann durch anerkannte Bestimmungsverfahren (DIN EN ISO 13833 - „Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung des Verhältnisses von Kohlendioxid aus Biomasse (biogen) und aus fossilen Quellen“) ermittelt werden.

Darüber hinaus können hinsichtlich der Klimarelevanz von TAB die Treibhausgase Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O) betrachtet werden. Diese THG können bei normaler Verbrennung bis zu zwei Prozent der CO₂eq-Menge betragen.

Prinzipiell gibt es vier Verfahren zur Bestimmung des fossilen beziehungsweise biogenen Anteils im Abfall.

- Manuelle Sortierung statt (MS)
- Selektive Lösemethode statt (SDM)
- Radiokarbonmethode (statt C14)
- Bilanzenmethode statt (BM)

Klimabilanz TAB 2019 (Berechnungsschema ITAD)				
Klimarelevante Belastung				
Abfallfraktion	Menge [t]	Emissionsfaktor		Emissionen [t CO _{2eq}]
		[t CO _{2eq} /t Abfall]	Quelle	
Hausmüll (AVV 200301)	12.124.000	0,315	UBA (Bilteswki 2011; gemäß HkRNDV; ITAD)	3.819.060
AVV 191210 u. 191212	8.082.000	0,468		3.782.376
sonstige Abfälle	3.906.000	0,446		1.742.076
Summe/Durchschnitt	24.112.000	0,388		9.343.512
Fremdenergie (Abschätzung max 2 % auf Emissionen)			ITAD	186.870
Entlastung durch Substitution				
Energie	Menge [MWh]	Substitutionsfaktor		Emissionen [t CO _{2eq}]
		[t CO _{2eq} / MWh]	Quelle	
Strom (prod.)	10.110.000	0,733	UBA, ITAD	7.410.630
Prozessdampf (exp.)	12.432.000	0,330		4.100.695
Fernwärme (exp.)	9.549.000	0,215		2.053.035
Summe/Durchschnitt	32.091.000	0,423		13.564.360
CO_{2eq} Gutschrift Metallverwertung aus Abfall (Schlacke) <small>(ca. 20 kg reine Metalle/t Abfall - 50 kg CO_{2eq}/t Abfall)</small>			EdDE, ITAD	1.205.600
Saldo <small>(Stand: 05.05.2020)</small>	Entlastung ca.	5.239.578		[t CO _{2eq}]
		0,217		[t CO _{2eq} / t Abfall]

Abb. 9
Klimabilanz der ITAD
Mitgliedsanlagen in 2019

Zur Bestimmung von heterogenen Abfallgemischen ist nur die C14-Methode geeignet und zugelassen. Dies ist eine „quasi-kontinuierliche-ex-post“ Analyse, bei der nur Abfallchargen (in der Regel Monatswerte) analysiert werden.

Bei den Ersatzbrennstoffen für die Mitverbrennung in Kohle- und Zementwerken wird die SDM verwendet. Dies ist aber bei stückigen, festen und gemischten Abfällen nicht möglich.

5.3 Bilanzielle Bestimmung der Klimarelevanz

Die ITAD erhebt jährlich Daten bei den über 80 Mitgliedsanlagen zur verbrannten Abfallmenge, der erzeugten Energie und die zurückgewonnenen Metalle. Unter Berücksichtigung der Emissions- und Substitutionsfaktoren ergibt sich dann momentan noch eine Klimaentlastung von rund 5,2 Millionen Tonnen CO_{2eq}, wie Abbildung 9 zeigt (jährliche Auswertung der ITAD und veröffentlicht im Jahresbericht).

Bei dieser bilanziellen Betrachtung wird noch berücksichtigt, dass die genutzte Energie aus TAB fossile Energie substituiert. Die Rückgewinnung von Metallen aus der Schlacke macht bereits einen signifikanten Anteil an den Gutschriften aus.

Ziel der Anlagenbetreiber ist es natürlich, auch in der Zukunft weiterhin zur positiven Klimabilanz beizutragen. Ob dies gelingt, hängt von zahlreichen Einflüssen ab, die der Anlagenbetreiber teilweise nur bedingt selbst beeinflussen kann.

I. Positiver Klimabeitrag

Der TAB Betreiber hat einen direkten Einfluss auf geringere direkte und indirekte THG-Emissionen:

- Zunächst besteht die triviale Möglichkeit, weniger Abfall zu verbrennen. Wenn dies aber nicht einher geht mit Abfallvermeidung und hochwertigem Recycling, findet nur eine Verlagerung statt. Die Entsorgungssicherheit und die wirtschaftliche Existenz werden gegebenenfalls auch in Frage gestellt.
- Effizienzsteigerungen bei der internen und externen Energienutzung kann erfolgen, wenn zum Beispiel auch externe Abnehmer der Abwärme vorhanden sind. Die Metallausbeute aus der Schlacke kann erhöht werden und gegebenenfalls auch eine Metallrückgewinnung aus den Rauchgasreinigungsprodukten.
- Die unter den Kapiteln Annahmebedingungen und Vorbehandlung und CO₂ Abscheidung Maßnahmen treffen auch hier zu.

II. Höhere Klimabelastung

Eine geringere Klimaentlastung ergeben sich durch sich verschlechternde Rahmenbedingungen – zumindest aus Sicht des TAB-Betreibers. Dies sind:

- Geringerer Anteil an Metallen in der Schlacke
- Die Substitutionsgutschriften sinken, da der Energiemix immer klimafreundlicher und die Metallproduktion immer weniger klimarelevant wird.

III. Unsicherheiten

Neben den oben genannten Faktoren, deren Entwicklung natürlich nicht vorausschaubar sind, gibt es allerdings auch noch strukturelle Fragen, wie sich die Klimarelevanz entwickeln kann:

- Eine wesentliche Frage ist die Bilanzgrenze und Zuordnung der Emissionen und Substitutionen. Beim Gebäudeenergiegesetz (GEG) wird beispielsweise die Energienutzung aus Abfall als Abwärme anerkannt und somit mittels eines sachgerechten Bilanzrahmens positiv bewertet. Bei der Stromerzeugung nach EEG gilt jedoch der Ansatz von 50:50 biogen/fossil und bei der internationalen Betrachtung das Quellenprinzip – alle Emissionen werden dem „Schornstein“ zugerechnet.
- Die Emissionsfaktoren, die die ITAD verwendet, werden auch vom UBA im Rahmen des Herkunftsnachweises verwendet. Jedoch gibt es auch andere Berechnungsmethoden und die Frage, welche Treibhausgase werden betrachtet.
- Komplexe Fragen der Bilanzierung im Rahmen von bereits erfolgten CCU/S-Maßnahmen, freiwilligen CO₂-Kompensationen und verpflichtende CO₂-Abgaben werden kaum diskutiert. Viele Unternehmen gehen dazu über, ihre Scope 3 Emissionen (also zum Beispiel auch die bei der Abfallentsorgung entstehenden Emissionen) zu kompensieren. Dann dürften diese Emissionen bei der Verbrennung dem Anlagenbetreiber nicht mehr „belasten“. Vergleichbares gilt bei der EU-Diskussion zum Thema eines CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM). Auch die Nachhaltigkeit von CCU/S Maßnahmen ist noch nicht abschließend geklärt, genauso wenig wie die Bilanzierung von Renewable Carbon.

Wahrscheinlich wird sich die Wahrheit irgendwo zwischen dem UBA-Ansatz „keine fossilen Treibhausgasemissionen bei der energetischen Verwertung von Abfällen“ und dem flächendeckenden Einsatz von CCU/S bewegen.

5.4 Gedanken zum Schließen von Kohlenstoffkreisläufen

Nehmen wir das Ziel einer klimaneutralen Gesellschaft bis spätestens 2050 ernst, müssen wir anfangen, den fossilen Kohlenstoff (C) im Boden zu lassen. Aber auch in einer defossilisierten (auf die Bezeichnung „dekarbonisiert“ wird

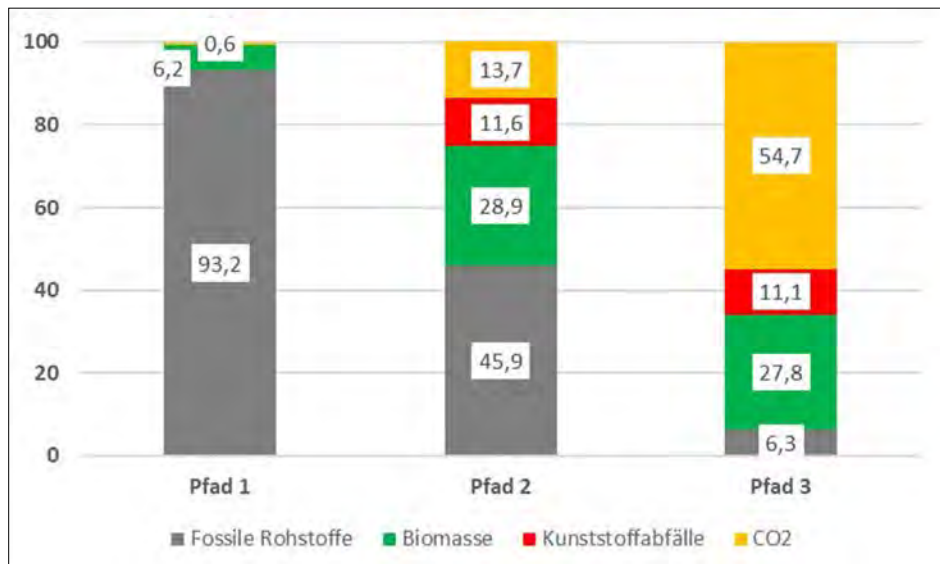


Abb.10
Rohstoffmix in den
Transformationspfaden
als Prozent Kohlenstoff,
Quelle: VCI. Roadmap
Chemie2050

bewusst verzichtet, da C für Industrie und Mobilität unabdingbar ist) Gesellschaft werden weiterhin riesige Mengen an C benötigt. Derzeit werden in Deutschland insgesamt rund 19 Millionen Tonnen Kohlenstoff (einschließlich recyceltem Kohlenstoff) umgewandelt und als Material im System verwendet.

Fossile Ressourcen machen 89 Prozent (Erdöl 81 Prozent, Erdgas acht Prozent etc.) aus und biogene Quellen sind für 11 Prozent des Kohlenstoffeintrags verantwortlich(22).

Doch wie sollen die fast 90 Prozent Kohlenstoff aus fossilen Quellen ersetzt werden? Die Diskussion „Teller statt Tank“ haben wir schon vor zig Jahren geführt, mit dem relativ klaren Ergebnis zugunsten des „Tellers“. Auch 100 Prozent Recycling von Kunststoffen wäre umweltökonomisch fatal (siehe unten). Ein Lösungsansatz, mit schon weitreichend entwickelten Ansätzen, ist die Verwendung von „Erneuerbarem Kohlenstoff“ („Renewable Carbon“).

Erneuerbarer Kohlenstoff umfasst alle C-Quellen, die die Verwendung von zusätzlichem fossilem C aus der Geosphäre vermeiden oder ersetzen (23). Es gibt nur drei Quellen für erneuerbaren Kohlenstoff, diese stammen aus der:

- Biosphäre - gewonnen aus allen Arten von Biomasse
- Atmosphäre - aus direkter CO₂-Nutzung (Direct air capture) und mineralischen Bindungsprozessen
- Technosphäre - aus dem stofflichen und chemischen Recycling von bereits existierenden Kunststoffen und anderen Produkten der organischen Chemie durch Carbon Capture and Utilisation (CCU), chemischem Recycling sowie Power-to-X (PtX).

Erneuerbarer Kohlenstoff zirkuliert zwischen Biosphäre, Atmosphäre und Technosphäre und schafft so eine Kohlenstoffkreislaufwirtschaft, darüber hinaus kann die Geosphäre auch als C-Speicher dienen.

Bei einem ambitioniertem Klimaschutz (Pfad 3) geht der Verband der Chemischen Industrie (VCI) (24), als einer der Hauptnutzer von Kohlenstoff, davon aus, dass fast 55 Prozent des Kohlenstoffs aus dem CO₂ stammt (Pfad 1 keine Änderung; Pfad 2 mittlere Ambitionen), wie Abbildung 10 (für trockene Biomasse wird 50 % C-Gehalt angenommen, für Kunststoffe 80 % und für fossile Rohstoffe 86 %) zeigt (25).

Bei allen Szenarien (siehe Quellenverzeichnis 22-24) wird davon ausgegangen, dass wir in einer defossilisierten Gesellschaft mehr C aus CO₂-Quellen benötigen als aus Biomasse bereitgestellt wird.

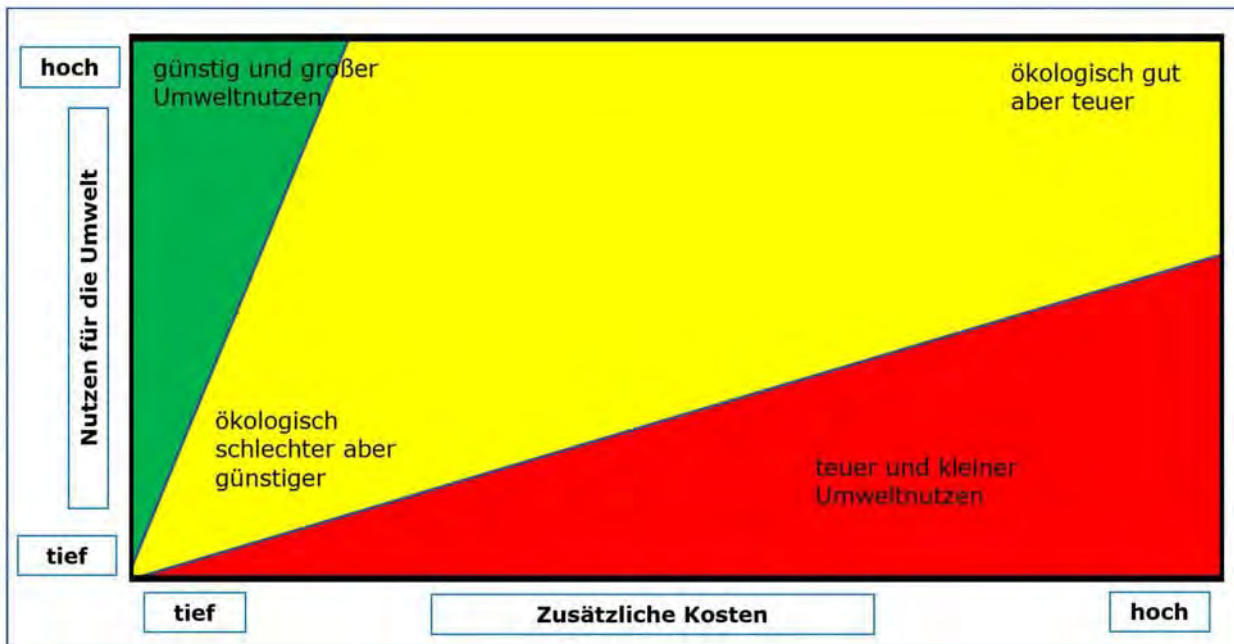


Abb. 11
Kosten/Nutzen-Effizienz
von abfallwirtschaftlichen
Maßnahmen,
Quelle: In Anlehnung an
Prof. Bunge: Kosten-
Nutzen-Analyse von
umweltbezogenen Maß-
nahmen im Recyclingbe-
reich, Mai 2016

6. Ausblick

Wie oben dargelegt, spielen die TAB eine unersetzliche Rolle in der Abfallwirtschaft. Ob noch weitere Funktionen hinzukommen, wie das Schließen der C-Kreisläufe - also von der „Müllverbrennung“ hin zur „Multi-Output-TAB“ – muss man begleiten und die Rahmenbedingungen richtig setzen.

Wir sollten uns immer wieder fragen, ob wir uns in der Abfallwirtschaft auf das Wesentliche bezüglich Ressourcen konzentrieren?

- Kunststoffe, Altholz, PPK, Biomasse sind keine knappen Ressourcen!
- Metalle und Phosphate sind knappe und wertvolle Ressourcen!
- Zunehmend auch mineralische Rohstoffe (siehe „Sandraub“ in Asien und Afrika)
- Demnächst auch Kohlenstoff?

Übrigens: Geld, Geist, Fläche und klimafreundliche Energie sind definitiv knappe Ressourcen.

Wir müssen nach abfallwirtschaftlichen Maßnahmen streben, die kostengünstig sind und einen hohen Nutzen haben. Dies ist häufig leider nicht der Fall, wie auch Prof. Bunge darlegt. Am Beispiel von abfallwirtschaftlichen Maßnahmen (26) wird der Nutzen für die Umwelt (ausgedrückt an Umweltbelastungspunkten (eUBP)) ins Verhältnis zu den zusätzlichen Kosten gesetzt. Eine vereinfachte Abbildung (Abb. 11) zeigt dies sehr plakativ:

Maßnahmen im teuren „roten Bereich“, die aber nur einen marginalen ökologischen Nutzen abwerfen, sollten nicht durchgeführt werden (einige Verpackungsmaterialien).

Maßnahmen im „grünen Bereich“ sind kostengünstig und bringen gleichzeitig einen großen ökologischen Ertrag, wie zum Beispiel das Alu-Dosenrecycling. Diese Maßnahmen würden ohnehin durchgeführt, da die Wertstoffvermarktung auch ohne Subventionen Erlöse erzielt (bis vor Kurzem noch Alttextilien, Glas, PPK, Metalle etc.).

Anlass zu Diskussionen gibt der „gelbe Bereich“.

„Wie viele TAB als Multi-Output-Anlage müssen beziehungsweise können wir uns leisten, wenn wir auf der einen Seite die Entsorgungssicherheit aufrechterhalten müssen und auf der anderen Seite in 2050 klimaneutral werden wollen?“

Die Antwort fällt erwartungsgemäß sehr unterschiedlich aus.

Quellenverzeichnis

1. Energy Brainpool, Beitrag Thermischer Abfallbehandlung zur Energiewende, Feb. 2017
2. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/18606 vom 17.04.2020, Antwort auf Frage 26
3. ITAD-Jahresbericht 2019 – s. Energie-Aufstellung
4. http://www.awg.wuppertal.de/ueber-uns/aktuelles/artikel.html?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=553&cHash=943fea74bc28dfb28a928aff6925f388
5. <https://www.ems-vechte-surfer.de/nachrichten/reallabor-der-energie-wende-salzbergen-erhaelt-zuschlag--309244.html>
6. <https://www.kompetenzregion-wasserstoff-drw.de/>
7. <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/energie-zella-mehlis-rund-acht-millionen-euro-fuer-methanol-produktionsanlage-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-201014-99-944853>
8. Prognos: Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung - Roadmap 2040, Aug. 2020
9. Destatis – Daten 16.12.2020
10. Grundlage ist destatis: Aufkommen an Haushaltsabfällen
11. UBA: VERAS, UBA-Texte 113/2020
12. <https://www.bmu.de/pressemitteilung/bundesweites-buendnis-setzt-sich-fuer-mehr-biotonnen-ein/>
13. <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/abfall-und-recycling/bioabfall/biomuell.html>
14. ICU: Erweiterte Bewertung der Bioabfallsammlung, März 2014
15. UBA: Ermittlung von Kriterien für hochwertige anderweitige Verwertungsmöglichkeiten von Bioabfällen, Texte 09/2021, Jan. 2021
16. UBA: Optimierung der Verwertung organischer Abfälle, Texte 31/2012, Juli 2012
17. UBA: Ermittlung von Kriterien für hochwertige anderweitige Verwertungsmöglichkeiten von Bioabfällen, Texte 09/2021, Jan. 2021
18. Nova-Institut: Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities, Production and Trends 2019-2024, Hürth 2020



MVA Wuppertal, Krankanzel,
Quelle: Breer

19. UBA: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, CLIMATE CHANGE 07/2014, April 2014
20. UBA: Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten, Jan. 2019
21. Treder/Gehring: Abfallwirtschaft durch Brennstoffemissionshandel, Teil 1 Nov. 2020 und Teil 2 Dez. 2020, Müll und Abfall
22. S. Kaiser, S. Bringezu: Use of carbon dioxide as raw material to close the carbon cycle for the German chemical and polymer industries, Journal of Cleaner Production, 271 (2020) – June 2020
23. nova-Paper #12 on renewable carbon, Sept. 2020
24. DECHEMA und FutureCamp für den VCI, Roadmap Chemie 2050, Sept. 2019
25. Aus VCI, Roadmap Chemie 2050. Für trockene Biomasse wird 50 % C-Gehalt angenommen, für Kunststoffe 80 % und für fossile Rohstoffe 86 %.
26. Prof. Bunge: Kosten-Nutzen-Analyse von umweltbezogenen Maßnahmen im Recyclingbereich, Mai 2016



Autor

Martin Treder
ITAD - Interessengemeinschaft der
Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in
Deutschland e.V.
Peter-Müller-Straße 16a
D-40468 Düsseldorf
www.itad.de

Abb. rechte Seite:
RMVA Köln,
Restmüllbunker,
Quelle: AVG Köln



Die Sammlung



Entladen eines Unterflurpress-
container,
Quelle: SIDCON

Status: Kontaktarme Abfallsammlung

Bart Zonnenberg

Unterflurcontainer und Unterflurpresscontainer

Unterflursammelsysteme in der haushaltsnahen Sammlung ermöglichen durch ihre Art der Entleerung mit einem Kran am Sammelfahrzeug eine berührungslose Aufnahme des Containers, die Entleerung und das Wiedereinsetzen in den Betonschacht. Die neue Generation der Unterflursysteme sind Unterflurpresscontainer, die ein Vielfaches an Fassungsvermögen haben und so erfordern sie noch weniger Sammlungsaktivitäten. Unterflurpresscontainer können auch bei Platzmangel oder sehr hohem Sammlungsaufkommen eine Lösung sein. Der Lader kommt nicht mit dem Behälter in Kontakt. Mit seiner Kransteuerung hält er einen weiten Abstand zum dem ganzen Prozess der Entsorgung von Abfällen ein.

Containermanagementsystem

Smarte Unterflursysteme stehen in Verbindung mit einem Containermanagementsystem. Zugangskontrolle regelt die Nutzung und den Zugriff auf den Behälter. Frequente Informationen zum Füllstand geben eine Übersicht über die Füllgeschwindigkeit pro Behälter und Standort. Dies ermöglicht zum Beispiel eine Sammlungsoptimierung. Das spart Fahrten und somit die CO₂-Belastung.



Automatisierte Aufnahme: Seitenlader, Frontlader, Absetz- und Abrollkipper

Müllgroßbehälter (MGB), Container in Form von Mulden und großen Presscontainern für Gewerbe-, Industrie-, Bau- und Abbruchabfall werden kontaktarm aufgenommen, entladen und entleert durch die Fahrzeugtechnik. Der Fahrer hat nur noch entfernt Kontakt mit dem Abfall.

Seitenlader für MGB und Frontlader für Taschenbehälter, Quelle: REMONDIS, kommunal service jena



Autor
 Bart Zonnenberg
 Sidcon BV
 Bijsterhuizen 1120A
 6546 AS Nijmegen
 Niederlande
 b.zonnenberg@sidcon.nl
 www.sidcon.nl/de



Disponent bei Tourenplanung,
Quelle: iStock

Status: Digitalisierung für eine berührungs- und kontaktlose Abfalllogistik in der smarten Stadt für eine sichere Entsorgung rund um die Uhr

Lara van Rijswijk

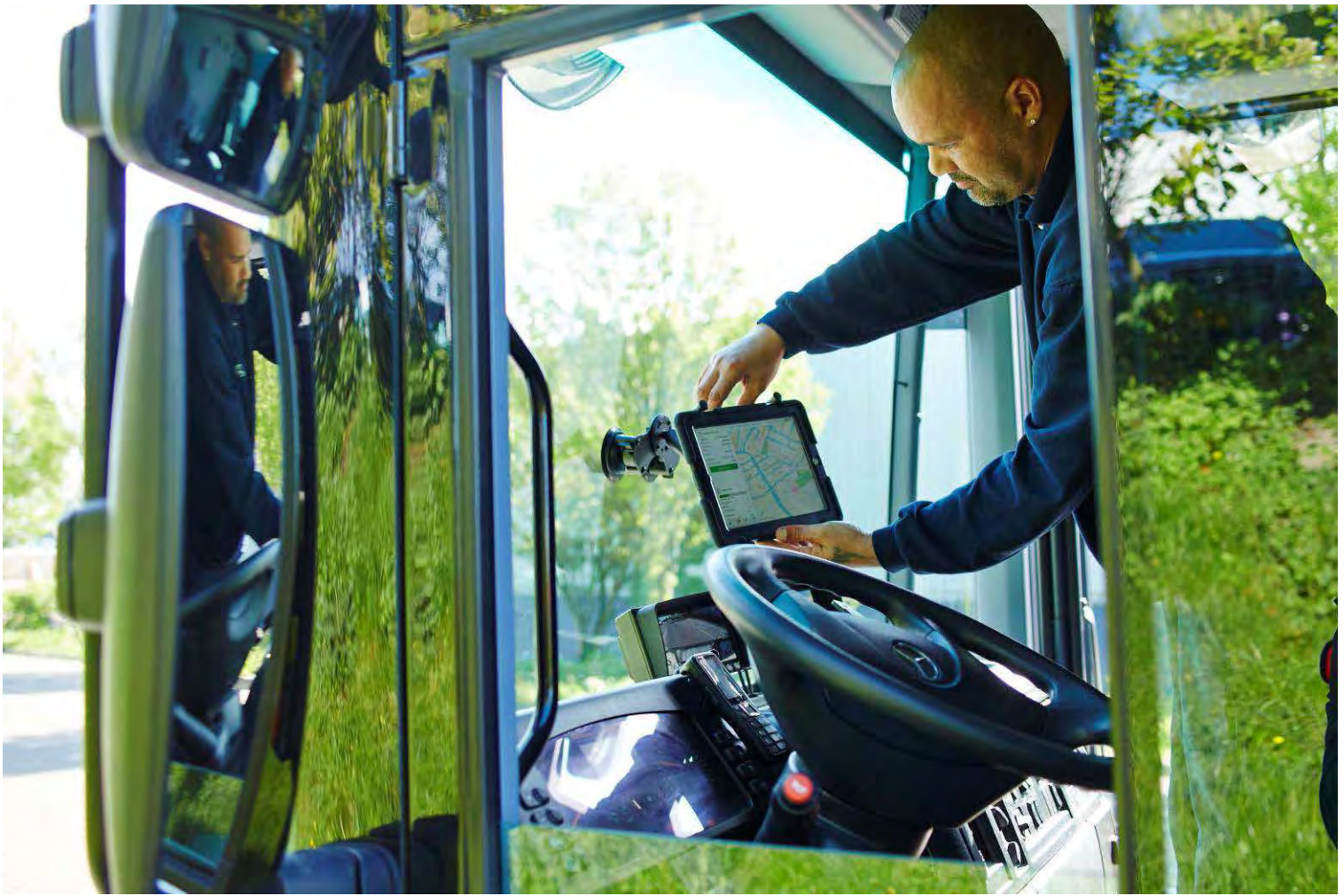
In Zeiten von zunehmendem Personalmangel, Umwelt- und Kostenbewusstsein sowie den zusätzlichen Gesundheitsrisiken durch die COVID-19-Pandemie bietet die Digitalisierung der Entsorgungslogistik smarte Lösungen für diese Herausforderungen der Branche.

Digitales Routing

Smarte Abfallcontainer ausgestattet mit Zugangskontrollen, Füllstandsensoren und RFID-Chips zum Tracken des Standortes und Zustands stehen über Funknetze in Echtzeit mit dem Containermanagementsystem des Entsorgers in Verbindung. Für die Disposition werden Prognosen zum notwendigen Entsorgungszeitpunkt generiert und zeitgleich treffen über das Kundenportal Information zu Lieferungen, Entleerungen oder Bedarfe durch den Kunden ein.

All diese Anforderungen fließen in eine Tourenplanung ein, die jeweilige Tour wird real-time während der Fahrt aktualisiert und optimiert. In dem Tourenplanungssystem können auch die Erfahrungswerte von langjährig beschäftigten Mitarbeitern und Fahrern, wie beispielsweise besondere Wegführungen oder Ladesituationen sowie aktuelle Verkehrsmeldungen wie Baustellen, Stauprognosen und Streckensperrungen eingepflegt werden. Das sind beste Voraussetzungen für eine effiziente und sichere Fahrt. Der Fahrer kann vor Ort jederzeit mit seinem Mobilgerät Störzustände wie fehlerhafte Befüllung oder Vanda-

Abbildungen rechte Seite,
Tourenführung mit Mobilgerät,
Quelle: AMCS





Waage,
Quelle: AMCS

lismus per Foto dokumentieren. Digitale Lieferscheine oder Rechnungen werden für den Kunden erstellt. Diese Prozesse können in Echtzeit durch eine cloudbasierte Lösung generiert werden – dies ist gerade in den Zeiten von Homeoffice und Mobilem Arbeiten ein wesentlicher Vorteil.

Digitales Stoffstrommanagement

Nach Beendigung der Sammeltour fährt das Sammelfahrzeug zur Müllverbrennungsanlage auf die Waage. Mit einer ID-Card (Barcode, QR-Code, Zugangscode oder RFID-Chip) und der Kennzeichenerkennung identifizieren sich der Fahrer, die Firma und das Fahrzeug. Das Fahrzeug wird automatisch verwogen. Nach dem Entladen am Müllbunker geht es zurück zur Waage, wo das Fahrzeug anhand der Daten aus der Erstverwiegung mithilfe der Kennzeichenerkennung oder der ID-Card eindeutig identifiziert werden kann. Die Wareneingangspapiere inklusive Wiegeschein werden digital erstellt und fließen in das ERP-System. Digital und papierlos laufen die Buchungsprozesse ab und die Wiege- und Lieferscheine sowie die Rechnungen werden generiert und über ein Kundenportal zur Verfügung gestellt oder per E-Mail versendet.

Dieser digitale und automatisierte Prozess kann 24 Stunden an 365 Tagen verfügbar sein; der Prozess kann ohne Personal durchgeführt werden.

Stoffströme vom Verbrennungsprozess der Anlage wie Gips, Filterstäube und Rohschlacke werden verladen für den Transport zu den Recyclingunternehmen und an der Ausgangswaage erfasst. Die Daten fließen in das ERP-System und lösen Lieferscheine, Dokumentationen und Rechnungen aus. Müllverbrennungsanlagen gewinnen mit angeschlossenen Aufbereitungsanlagen, wie zum Beispiel einer HMV-Schlackeaufbereitung, Mineralik beispielsweise für die Baubranche sowie Fe- und NE-Metalle in unterschiedlichen Körnungen und Qualitäten für die Verhüttung.



Mit einer IT-Lösung für diese Form des Recyclings können die unterschiedlichen Sekundärrohstoffe erfasst, bewertet, bepreist und gehandelt werden. Auf dem Werkhof der Anlage können diese Mengen mit Mobilgeräten erfasst und bewertet werden, zur Dokumentation der Qualität können Fotos in allen Phasen des Prozesses der Aufbereitung der Sekundärrohstoffe zugefügt werden. Alle Informationen fließen in das System, das die unternehmerische Entscheidung über die Bestands- und Qualitätskontrolle unterstützt. Dokumentationen, Lieferscheine und Rechnungen stehen in Echtzeit zur Verfügung und können auf digitalem Weg zur Verfügung gestellt werden.

Dokumentation von
Qualitäten,
Quelle: iStock

Fazit

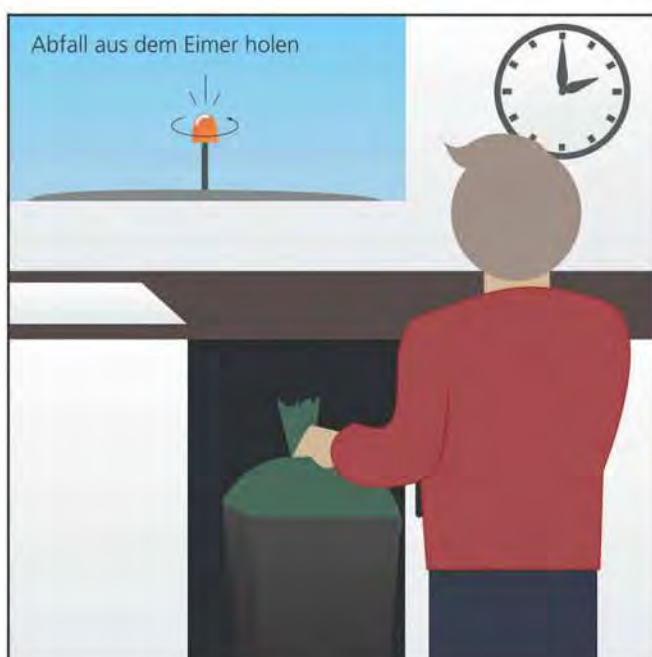
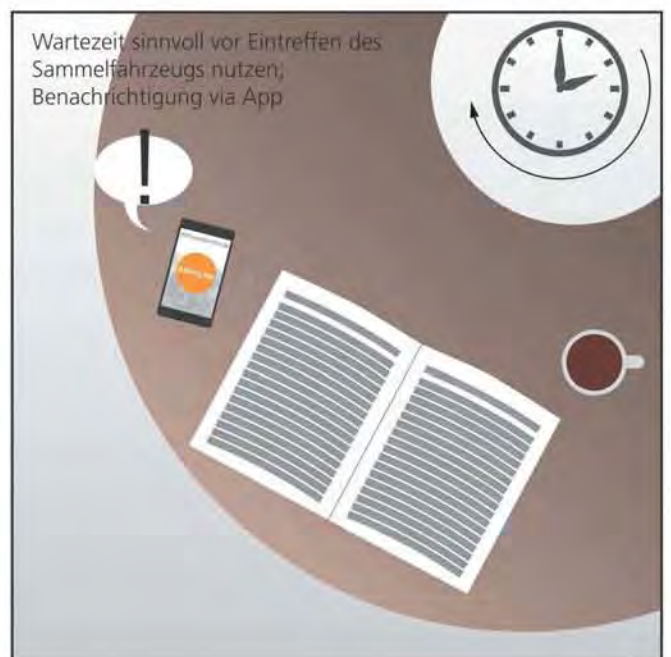
Die digitalen, plattformorientierten Logistiklösungen schaffen eine kontaktlose, berührungsfreie und papierlose Arbeitswelt in der Zeit der COVID-19-Pandemie. Sie schaffen Sicherheit und stehen für eine hochwertige Dokumentation und Transparenz. Das steigert die Zufriedenheit bei den Kunden, beim Personal und den Unternehmen.

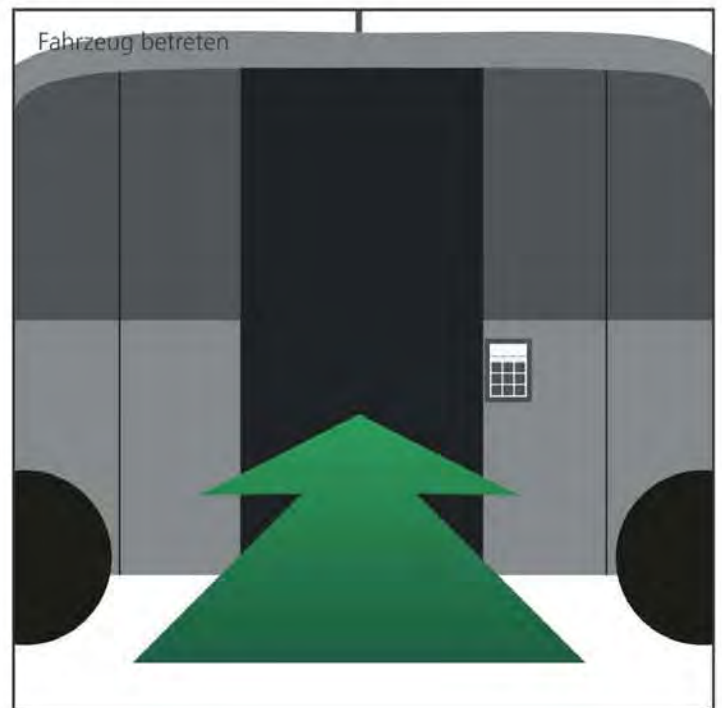
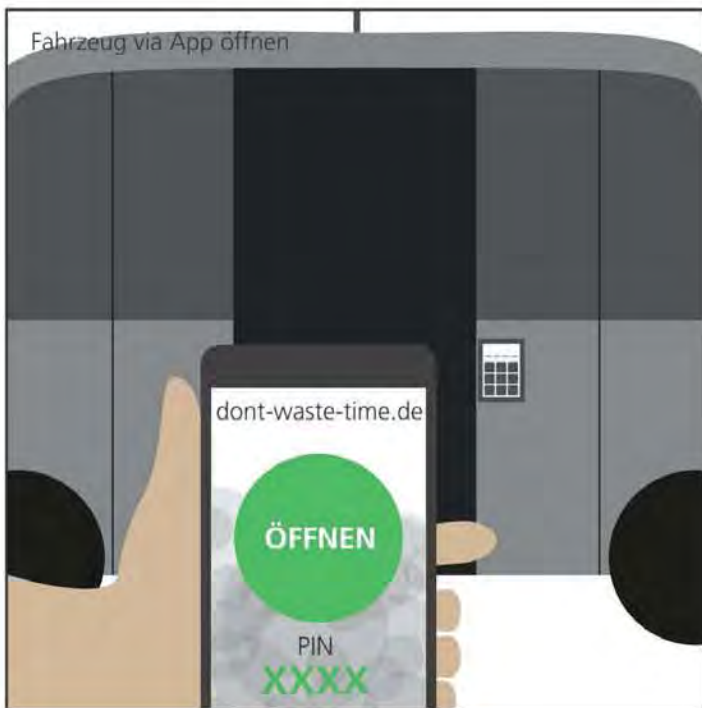
Der Weg zu Smart Cities.



Autorin

Lara van Rijswijk
Head of Marketing EMEA
AMCS Group
Muiderstraatweg 15-E
1111 PS Diemen
Niederlande
lara.vanrijswijk@amcsgroup.com
www.amcsgroup.com





Zukunft: Kontaktarme Sammellogistik

Volker Fennemann

Technische und organisatorische Neuerungen bilden die Basis für eine zukünftige kontaktarme haushaltsnahe Sammellogistik.

Die Bereitstellung von größeren Behältern durch eine alternde Bevölkerung beziehungsweise Belegschaft kann entfallen.

Die Verknüpfung von KI-basierten Kommunikations- und Steuerungssystemen mit autonomen, regional agierenden Fahrzeugen ermöglicht, zu definierten auslastungsschwachen Tageszeiten, eine „on-demand“ Abholung von Abfällen zur Beseitigung oder Verwertung. Gleichzeitig können Fahrzeuge aus dem Mobilitäts- und Logistikbereich besser ausgelastet werden.

Fehlwürfe lassen sich reduzieren und die gesammelten Mengen stehen in besserer Qualität zur Verfügung.

Wertstoffhöfe als lokale Wechselstationen der Behälterkartuschen ermöglichen eine hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge.

In einem weiteren Schritt können Ver- und Entsorgung gekoppelt werden, um Laufleistungen zu optimieren und Verkehrsbelastungen zu reduzieren.



Autor

Dipl.-Ing. (FH) Volker Fennemann
 Abteilungsleiter Umwelt und Ressourcenlogistik
 Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik
 Joseph-von-Fraunhofer Str. 2-4
 44227 Dortmund
 volker.fennemann@iml.fraunhofer.de
 www.iml.fraunhofer.de

Abbildungen,
 Konzept einer KI-basierten
 Sammellogistik,
 Quelle: Fennemann

**Anlagenportraits:
Praxis, Großtechnik und Verfahrenssicherheit**



RMVA Köln,
Quelle: AVG Köln

Zur Rolle der Müllverbrennungsanlagen am Beispiel Köln

Andreas Freund und Tilo Dumuscheit

Ob auf nationaler oder internationaler Ebene, die Abfallwirtschaft wandelt sich zur Ressourcen schonenden Kreislaufwirtschaft. Sie ist auf dem Weg zur Circular Economy. Ist da noch Platz für die Müllverbrennung und wenn ja, welche Rolle spielt sie? Mancherorts ist schon das Lied vom Abgesang der Thermischen Verwertung zu hören.

Doch in regelmäßigen Abständen wird deren Notwendigkeit selbst den schärfsten Kritikern vor Augen geführt. So auch während der wohl schwersten Krise der Bundesrepublik Deutschland – der Corona-Krise.

Müllverbrennungsanlagen sind ein essentieller Baustein einer modernen Abfallwirtschaft. Sie sind systemrelevant. Sie leisten einen unverzichtbaren Beitrag zur Verwertung von Restmüll. Sie hygienisieren den Abfall, indem sie Krankheitserreger und Umweltgifte zerstören und tragen zur Sauberkeit unserer Kommunen bei.

In Köln beginnt der Umweltschutz bereits vor der Thermischen Verwertung. Durch das duale Anliedersystem Schiene/Straße entlasten wir den Straßenverkehr und verringern Schadstoffemissionen schon beim Transport zur Anlage.

Müllverbrennungsanlagen arbeiten bei hohen Temperaturen: In Köln erzielen wir Temperaturen von 1.000 bis 1.200 Grad Celsius und zerstören so das Gros an Schadstoffen in den vier Kesseln. Die aufwendige, hocheffiziente Abgasreinigung sorgt in der Kölner Anlage zudem für sehr niedrige Emissionswerte deutlich jenseits der gesetzlichen Vorgaben.



RMVA Köln,
Anlieferung,
Quelle: AVG Köln

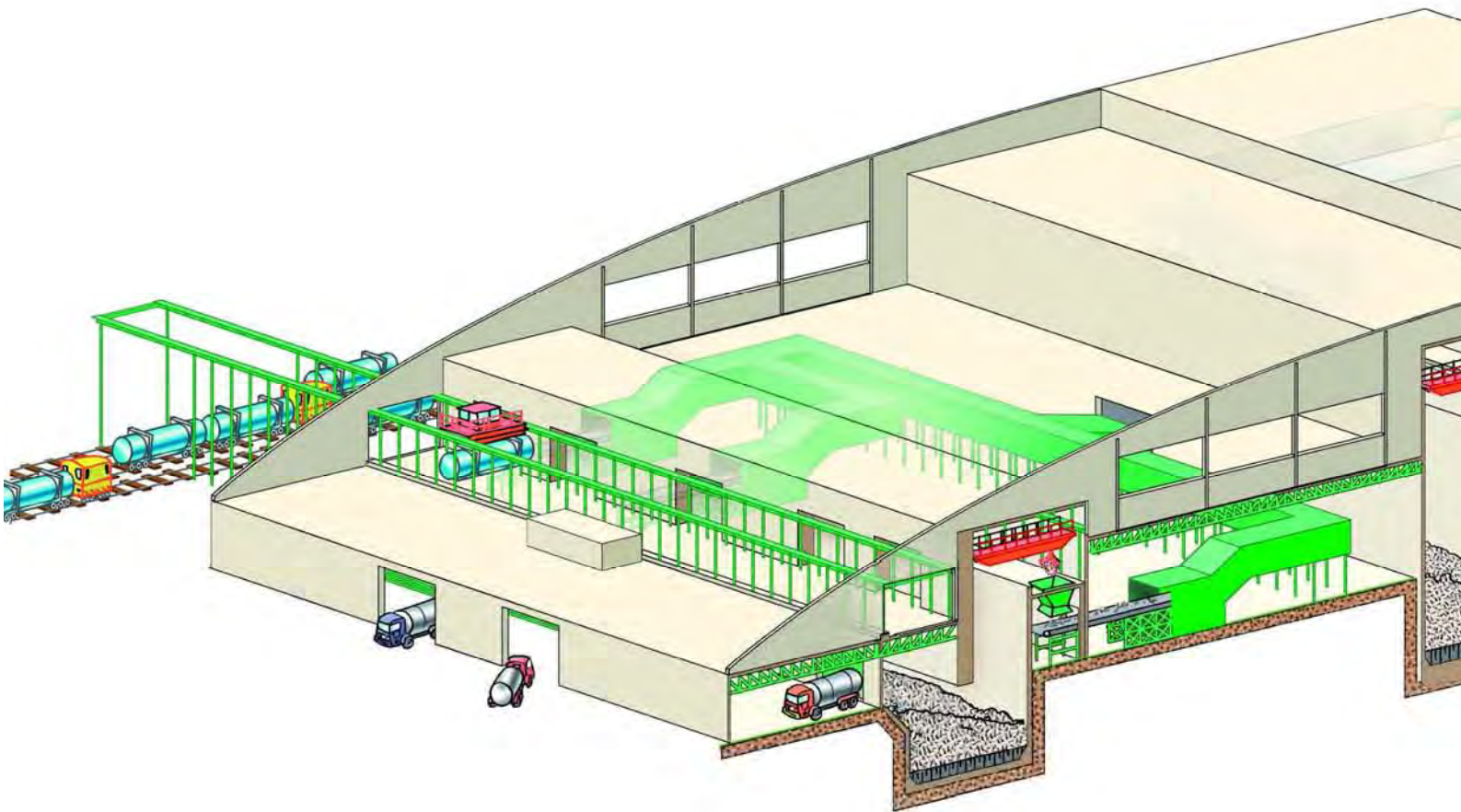


RMVA Köln,
Leitwarte,
Quelle: AVG Köln

Ganz nebenbei leisten wir regional einen Beitrag zur Energieversorgung mit heimischen, zu rund 50 Prozent erneuerbaren Energieträgern. Als Kraft-Wärme-Kopplung konzipiert, liefert die Anlage Strom und Dampf beziehungsweise Fernwärme. Rund 450.000 Megawattstunden Energie produziert sie jährlich. Nach Abzug des Eigenverbrauchs reicht dies, um rund 275.000 Menschen mit Strom zu versorgen. Dies spart den Transport wie auch den Einsatz fossiler Energieträger.

Das Konzept der Ressourcenschonung reicht jedoch weiter. Müllverbrennung ist die effizienteste Methode, Altmetalle und Schrotte aus dem Abfall zu gewinnen. In einem zweistufigen Verfahren schleusen wir vor und nach der thermischen Verwertung Fe- und NE-Metalle aus dem Müllstrom. Die verbleibende Rostasche wird in einer Aufbereitungsanlage für den Einsatz im Straßen- und Wegebau vorbereitet.

Müllverbrennung ist und bleibt unverzichtbar, solange die Circular Economy nicht alle Lebens- und Arbeitsbereiche komplett durchdrungen hat. Sie schont natürliche Ressourcen, die Umwelt und das Klima und zeigt sich gerade in Krisenzeiten als ein Eckpfeiler einer funktionierenden Daseinsvorsorge.

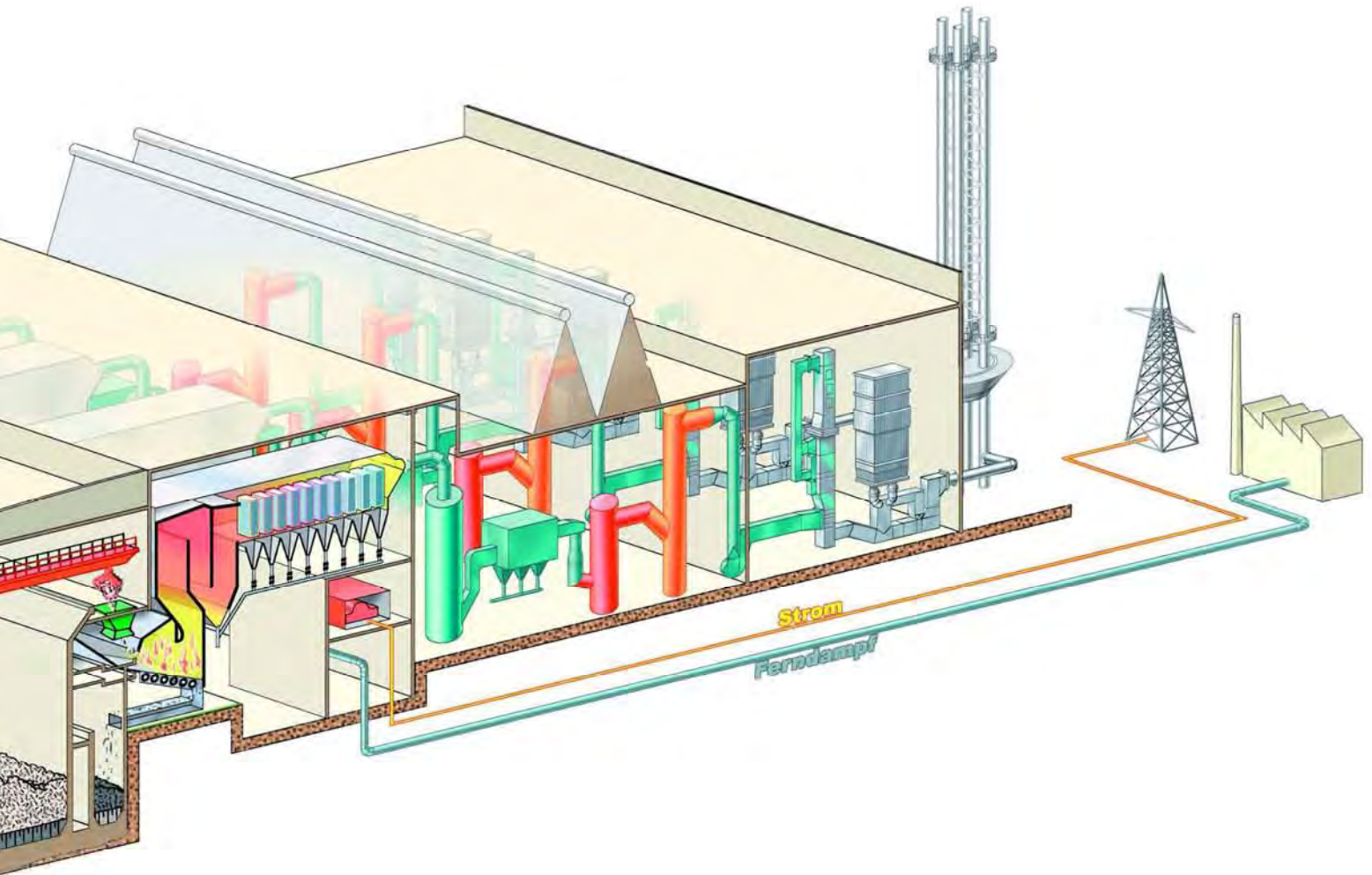


Eckpunkte der Restmüllverbrennungsanlage Köln:

- Seit 1998 in Betrieb
- Aufgabe: Verbrennung von Resthausmüll, Sperrmüllresten und Sortierresten aus der Gewerbeabfallaufbereitung
- Duales Anlieferkonzept (Straße – Schiene mit fünfgleisigem Containerbahnhof)
- Integrierte Aufbereitungsanlage, die der Verbrennung vorgeschaltet ist. Durchsatzleistung entsprechend der Verbrennungsmenge deutlich über 700.000 Tonnen pro Jahr
Aufgabe: Wertstoff-/Störstoffsortierung; Heizwert-Homogenisierung
- Verbrennungsleistung: über 700.000 Tonnen pro Jahr mit vier Verbrennungslinien - Rostfeuerung (Walzenrost)
- KWK-Anlage mit einer jährlichen Produktion von rund 450.000 Megawattstunden (Strom und Wärme), eingebunden in das Energieversorgungsnetz der Stadt Köln
- Fünfstufige, hocheffiziente Abgasreinigung - Gewebefilter, HCl-Wäscher (saure Stufe) und SO₂-Wäscher (basische Stufe), Katalysator, Herdofenkoksfilter
- Reststoffverwertung: Rostasche (Verwendung im Straßen-, Wege- und Lärmschutzwallbau), Kesselasche, Filterstäube, Mischsalze aus der Abgasreinigung (Verwendung als Versatzmaterial im Bergbau), Gips (Verwendung in der Bauindustrie), Harz (zur sicheren Entsorgung)



RMVA Köln, Sortieranlage, Restmüllbunker, Turbinenhalle und Abgasreinigung, Quelle: AVG Köln



RMVA Köln, Anlagenschema,
Quelle: AVG Köln



Autor

Andreas Freund
Sprecher der Geschäftsführung der AVG
Köln
AVG Köln GmbH
Geestermünder Str. 23
50735 Köln
info@avgkoeln.de
www.avgkoeln.de



Autor

Tilo Dumuscheit
Pressesprecher der AVG-Gruppe
AVG Köln GmbH
Geestermünder Str. 23
50735 Köln
TDumuscheit@avgkoeln.de
www.avgkoeln.de



IHKW Andernach, Anlieferung,
Quelle: EEW

IHKW Andernach: Hocheffiziente Energieversorgung für einen Industriestandort

Rolf Ebert und Peter Eisenblätter

Das Industrieheizkraftwerk (IHKW) Andernach ist ein auf Ersatzbrennstoff (EBS) basierendes Industrieheizkraftwerk. Aus der energetischen Verwertung dieser speziell aufbereiteten Haushalts-, Gewerbe- und Industrieabfälle gewinnt das IHKW an 365 Tagen im Jahr Prozess- und Heißdampf sowie Strom ausschließlich für das Weißblechwerk der thyssenkrupp Rasselstein GmbH in Andernach.

Statt kostbare Primärenergieträger wie Kohle, Öl oder Gas zu verbrennen, nutzt das IHKW die Energie des Abfalls. Dabei steckt in einer Tonne EBS etwa genauso viel Energie wie in einer Tonne Braunkohle oder 250 Litern Heizöl. Aus 140.000 Tonnen Abfall werden so jährlich 292.000 Megawattstunden Prozess- und Heißdampf sowie 86.000 Megawattstunden Strom produziert.

Besonders effektiv und damit auch ökonomisch sinnvoll wird die Energiegewinnung aus Ersatzbrennstoff durch die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung, wie sie beim Industrieheizkraftwerk umgesetzt wird. Durch dieses Verfahren kann das IHKW Andernach bis zu 80 Prozent der Energie aus den Brennstoffen verwerten.

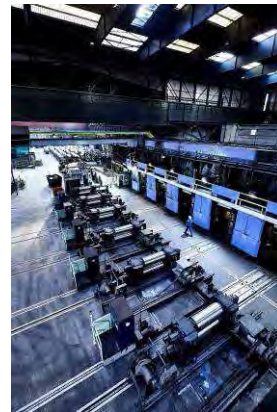
Das IHKW hat eine installierte Leistung von 13 Megawatt elektrisch und 150 Megawatt thermisch. Den Dampfbedarf deckt ein mit wassergekühltem Rost ausgestatteter Feststoffkessel, der mit EBS sowie Produktionsrückständen des Weißblechherstellers betrieben wird. Zusätzlich verfügt das Kraftwerk über erdgasgefeuerten Back-up- und Spitzenlastkessel zur Absicherung der Wärmeversorgung.



Insgesamt erreicht das IHKW Andernach im Betrieb einen Netto-Jahresnutzungsgrad von etwa siebzig Prozent. Frischdampf wird in eine Entnahme-Kondensationsturbine geleitet. Prozess- und Heizdampf für Rasselstein bei sieben Bar ausgekoppelt. Ein Spitzenwert für einen EBS-Kessel mit Rostfeuerung, wenn man die hohe Stromerzeugung von 86 Gigawattstunden pro Jahr bei einer Dampfauskopplung von etwa 290 Gigawattstunden pro Jahr berücksichtigt.

Spitzenwerte liefert das IHKW Andernach auch bei den Immissionsdaten. Zentraler Baustein ist das zweistufige Abgasreinigungsverfahren. Der eingesetzte Gewebefilter gehört zur Kategorie der Hochleistungsfilter mit Abgasreinigungsleistungen von mehr als 99,5 Prozent der staubförmigen oder staubgebundenen Inhaltsstoffe des Abgases.

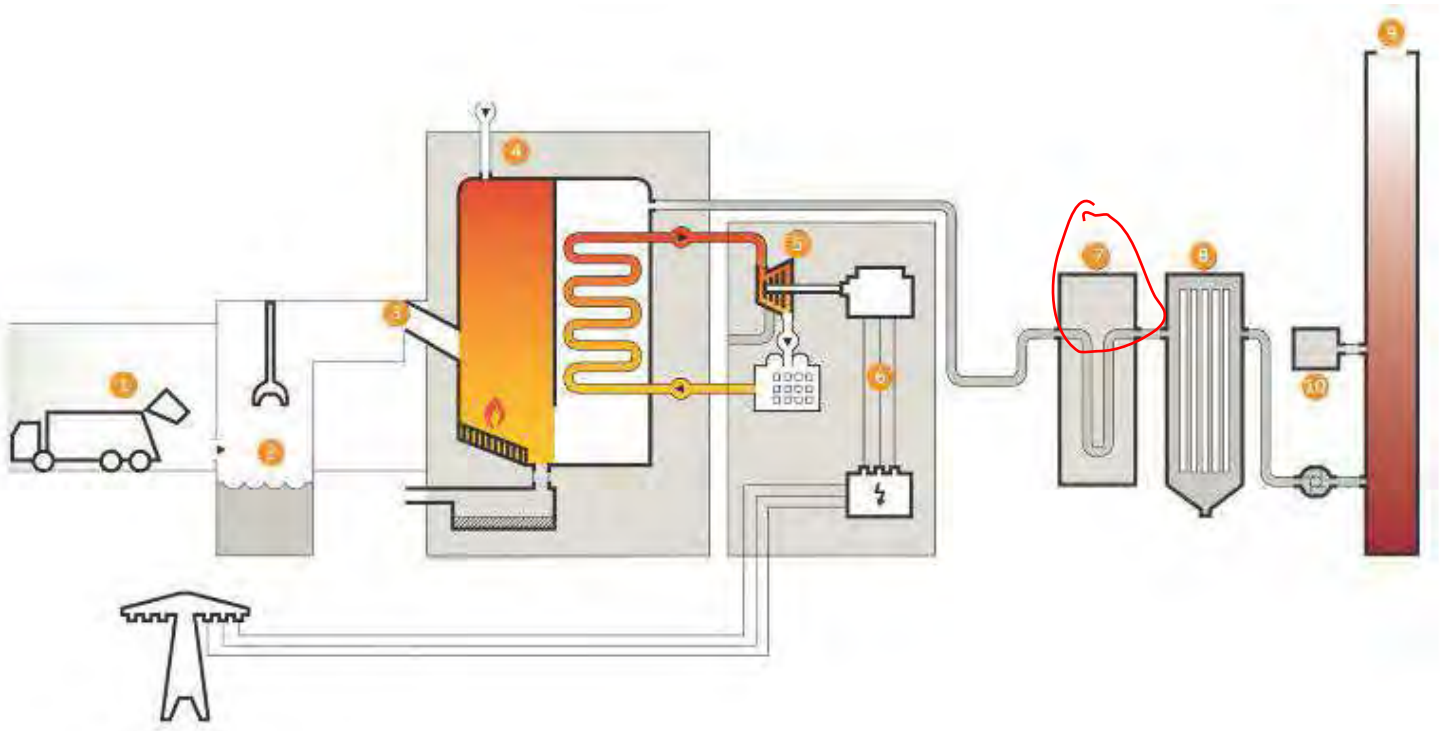
Das IHKW Andernach vereint alle Anforderungen an Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutz. Grüne Energie, gewonnen aus dem Rohstoff Abfall, ist ein wichtiger Standortfaktor für die Industrie.



Daten

Inbetriebnahme	2008/2009
Gesamtinvestitionen	85 Millionen Euro
Kapazität	140.000 Tonnen EBS/Jahr
Anzahl Verbrennungslinien	1
Speichervolumen EBS-Bunker	6.260 Kubikmeter ≈ 2.191 Tonnen
Heizwertbereich des Abfalls	11-15 Megajoule/Kilogramm
Stromerzeugung	86.000 Megawattstunden/Jahr ≈ 25.000 Haushalte
Prozessdampferzeugung	292.000 Megawattstunden/Jahr

thyssenkrupp Rasselstein, Andernach, weltweit größter Produktionsstandort für Verpackungsstahl, Kaltwalzen, Coils, Quelle: thyssenkrupp Steel Europe AG



IHWK Andernach,
Anlagenschema,
Quelle: EEW

- 1 Wöchentlich werden mehrere tausend Tonnen EBS in die thermische Abfallverwertungsanlage transportiert.
- 2 Im Ersatzbrennstoffbunker mit einem Fassungsvermögen von circa 2.200 Tonnen wird das Brennmaterial gesammelt und zwischengelagert. Dort herrscht ein leichter Unterdruck, damit keine Gerüche nach außen dringen. Bereits damit beginnt der Umweltschutz.
- 3 Der EBS wird durch die EBS-Krananlage automatisch und kontinuierlich in den Aufgabetrichter gegeben, von wo aus er auf den Feuerungsrost der Verbrennungslinie (Kessel) gelangt.
- 4 Da EBS bei den hohen Temperaturen im Kessel von selbst verbrennt, sind keine zusätzlichen fossilen Energieträger notwendig. Lediglich beim An- und Abfahren des Kessels werden Gasbrenner zugeschaltet, um die Mindesttemperatur von 850 Grad Celsius zu gewährleisten. Diese hohe Temperatur ist gesetzlich vorgeschrieben. Die Schadstoffe werden so weitgehend zerstört. Zugleich werden die Stickoxide durch die Zugabe von Harnstoff in umweltneutralen Stickstoff und Wasser umgewandelt.
- 5 Mit der Wärmeenergie des Kessels werden stündlich 65 Tonnen Dampf erzeugt. Der Dampf treibt mit einem Druck von 68 Bar und einer Temperatur von 523 Grad Celsius eine Turbine mit nachgeschaltetem Generator an.
- 6 So werden jährlich etwa 86.000 Megawattstunden elektrische Energie erzeugt und nach der Verstromung des Dampfes im Hochdruckteil der Dampfturbine als Prozessdampf in das Werksnetz von thyssenkrupp Rasselstein eingespeist.
- 7 Mit einer Temperatur von rund 180 Grad Celsius strömt das Abgas aus dem Kessel direkt in die mehrstufige Abgasreinigungsanlage. Durch die Zugabe von Kalkhydrat in den Abgasstrom und durch die Vermischung des Abgases mit Rezikulat in einem Wirbelreaktor erfolgt die Abscheidung der sauren Bestandteile des Abgases.



IHKW Andernach,
Quelle: EEW

8

Mit Hilfe von Herdofenkoks werden nun Schwermetalle, Dioxine und Furane gebunden und zusammen mit dem in den Rauchgasen enthaltenen Staub im folgenden Gewebefilter abgeschieden.

9

Anschließend verlässt das gereinigte Gas mit Hilfe eines Saugzugs den 60 Meter hohen Kamin. Was übrig bleibt, sind Schlacke, Flugasche und Filterstäube. Die Schlacke wird aufbereitet und anschließend im Straßen- und Deponiebau verwendet. Flugasche und Filterstaub werden im Bergversatz verwertet.

10

Die Anlage hält die besonders strengen gesetzlichen Emissionsgrenzwerte sicher ein und unterschreitet sie meist deutlich. Eine Messstation am Kamin ermittelt und überwacht die Emissionen kontinuierlich.



Autor

Rolf Ebert

Technischer Projektleiter für den Bau des IHKW Andernach sowie daran anschließend bis Ende 2019 dessen technischer Geschäftsführer
EEW Energy from Waste GmbH
www.eew-energyfromwaste.com



Autor

Peter Eisenblätter

Technischer Geschäftsführer
IHKW Andernach GmbH
EEW Energy from Waste GmbH
www.eew-energyfromwaste.com



Klärschlammverwertungsanlage
(KSV) Zürich,
Quelle: ERZ Entsorgung +
Recycling Zürich

Klärschlammverwertungsanlage des Kantons Zürich

Andreas Münzmay, Jens van Helt, Dieter Bühler

Seit dem 1. Oktober 2006 ist die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft aufgrund der darin enthaltenen Schadstoffe, darunter verschiedene Schwermetalle, in der Schweiz verboten. Deshalb hat der Kanton Zürich frühzeitig mit der Planung für den Bau einer zentralen Monoverbrennungsanlage, der Klärschlammverwertungsanlage (KSV) Zürich, mit einer Kapazität von 100.000 Jahrestonnen entwässerten Klärschlammes (EKS) begonnen.

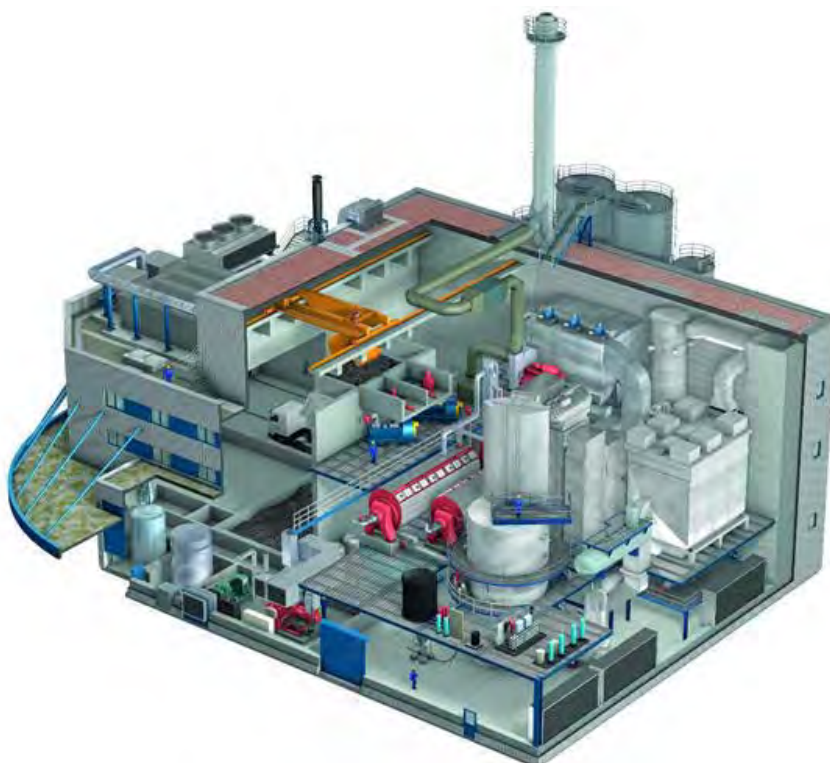
In einem ersten Schritt wurde eine Standortevaluation mit den Kriterien Wirtschaftlichkeit, Transportlogistik, CO₂-Bilanz, Energienutzung und Platzreserve für eine spätere Phosphorrückgewinnung durchgeführt. Neben den im Vergleich geringen prognostizierten Entsorgungskosten (CHF 106 pro Tonne EKS) führten folgende Argumente zur Wahl des Standorts auf dem Areal des Klärwerks Werdhölzli, dem größten Klärwerk der Schweiz:

- Die Abwärme der KSV kann direkt im Klärwerk verwendet werden, wodurch sich die CO₂-Bilanz deutlich verbessert.
- Gut ein Drittel der zu verarbeitenden Schlammmenge fällt auf dem Klärwerk vor Ort an.
- Platzreserven für eine Phosphorrückgewinnung sind noch ausreichend vorhanden.
- Schließlich bieten sich Synergien mit der vorhandenen Klärgasaufbereitungsanlage und der teilweise bereits vorhandenen Infrastruktur sowie der Personalorganisation.

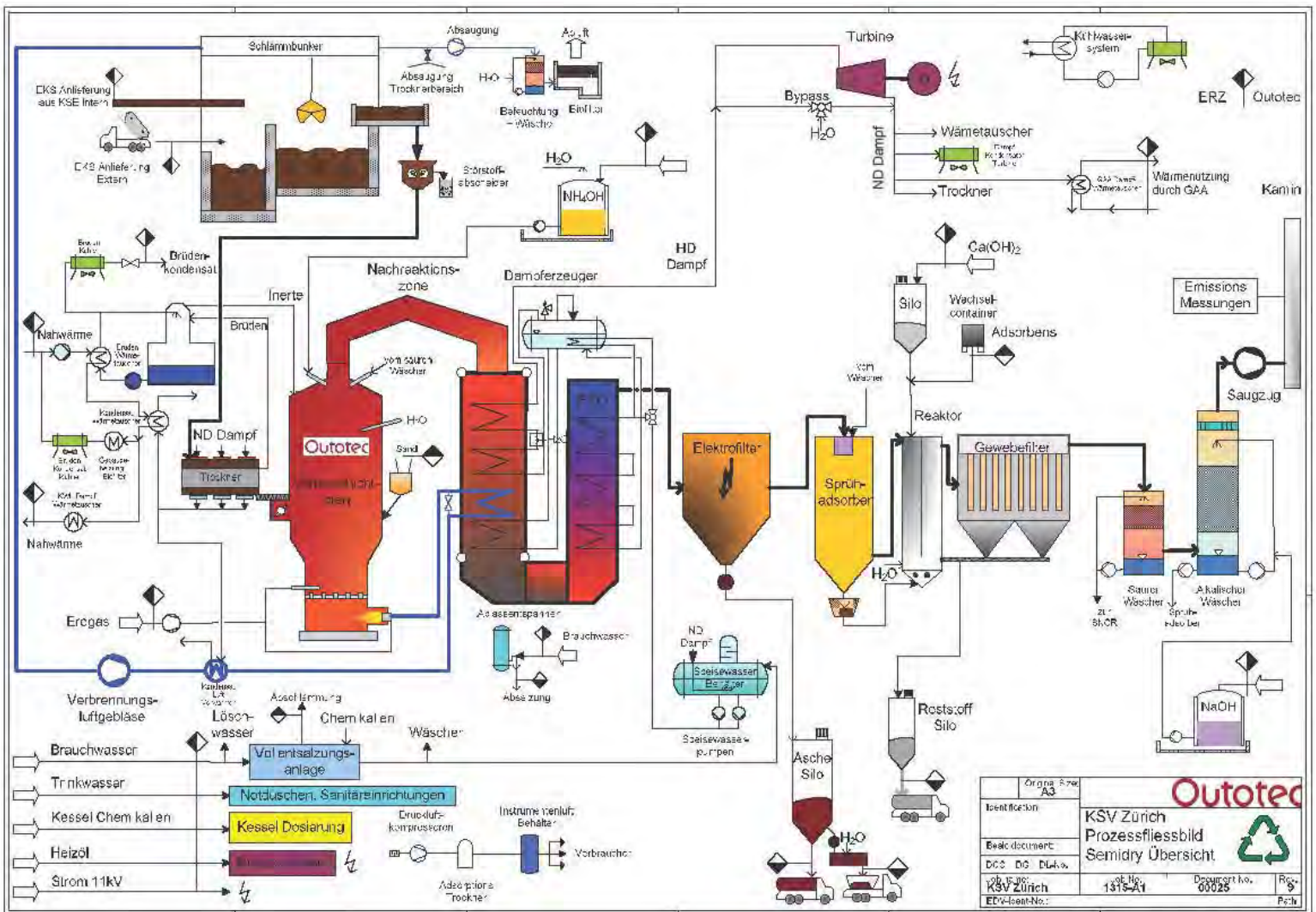


Nach einer sehr kurzen Planungsphase von weniger als einem Jahr wurde in einer öffentlichen Ausschreibung ein Totalunternehmer (Generalunternehmer über alle Gewerke inklusive Ausführungsplanung) ermittelt. Als Hauptkriterium für die Wahl des Unternehmers wurden die Jahreskosten der Anlage gewertet.

Kläranlage Werdhölzli mit KSV und Ozonungsanlage,
Quelle: ERZ Entsorgung + Recycling Zürich



Klärschlammverwertungsanlage Zürich,
Quelle: ERZ Entsorgung + Recycling Zürich



Prozessübersicht,
Quelle: ERZ Entsorgung +
Recycling Zürich

Das mit der Detailplanung des TU ergänzte Projekt wurde dem Zürcher Stimmvolk zur Abstimmung vorgelegt und mit einem historisch hohen Anteil an Ja-Stimmen von 93,9 Prozent angenommen. In der anschliessenden Realisierungsphase wurde die Anlage in einer Bauzeit von knapp zwei Jahren errichtet und am 1. August 2015 in Betrieb genommen.

Die Monoverbrennungsanlage hat einen nominalen Durchsatz von 100.000 Tonnen pro Jahr kommunalen, stabilisierten und entwässerten Klärschlamm (EKS), was etwa 12,5 Tonnen je Stunde entspricht. Rund 34 Prozent des Durchsatzes an Klärschlamm kommen direkt vom Klärwerk Werdhölzli, der Rest wird von circa 70 dezentralen Kläranlagen (ARAs) angeliefert. Der entwässerte Klärschlamm wird im Durchschnitt mit 30 Prozent Trockensubstanz angeliefert (Bandbreite von 25 bis 40 Prozent TS möglich).

Die KSV produziert phosphorhaltige Asche für die zukünftige P-Verwertung und Dampf, der zur Abwärmenutzung und Stromproduktion genutzt wird. Der mit der Verbrennungswärme des Klärschlammes erzeugte Hochdruckdampf wird zur Vortrocknung des Klärschlammes, zur Erzeugung von elektrischem Strom sowie im Abwasserreinigungsprozess, zum Heizen der Gebäude des Klärwerks und zur Verwendung durch die Biogas Zürich AG genutzt.

Das im Abwasserreinigungsprozess entstehende Klärgas wurde früher in Blockheizkraftwerken zur Wärmeerzeugung genutzt und kann jetzt zu Biogas umgewandelt und in das Erdgasnetz der Stadt Zürich eingespeist werden. Die dabei erzeugte Biogasmenge kann als erneuerbare Energie den Verbrauch von 5.000 Wohnungen decken.

Die Energie aus der Klärschlammverwertungsanlage trägt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen der Stadt Zürich und damit zu den Zielen der "2.000-Watt-Gesellschaft" bei.

Massen- und Energieströme:

- Rauchgasmenge: 24.000 Nm³/h
- Dampfmenge: 9,7 t/h (64 bar(a), 450°C)
- Produktion Wärme: 25,3 GWh/a (Nutzwärme)
- Produktion Strom: 7,0 GWh/a (Netto-Enthalpie)

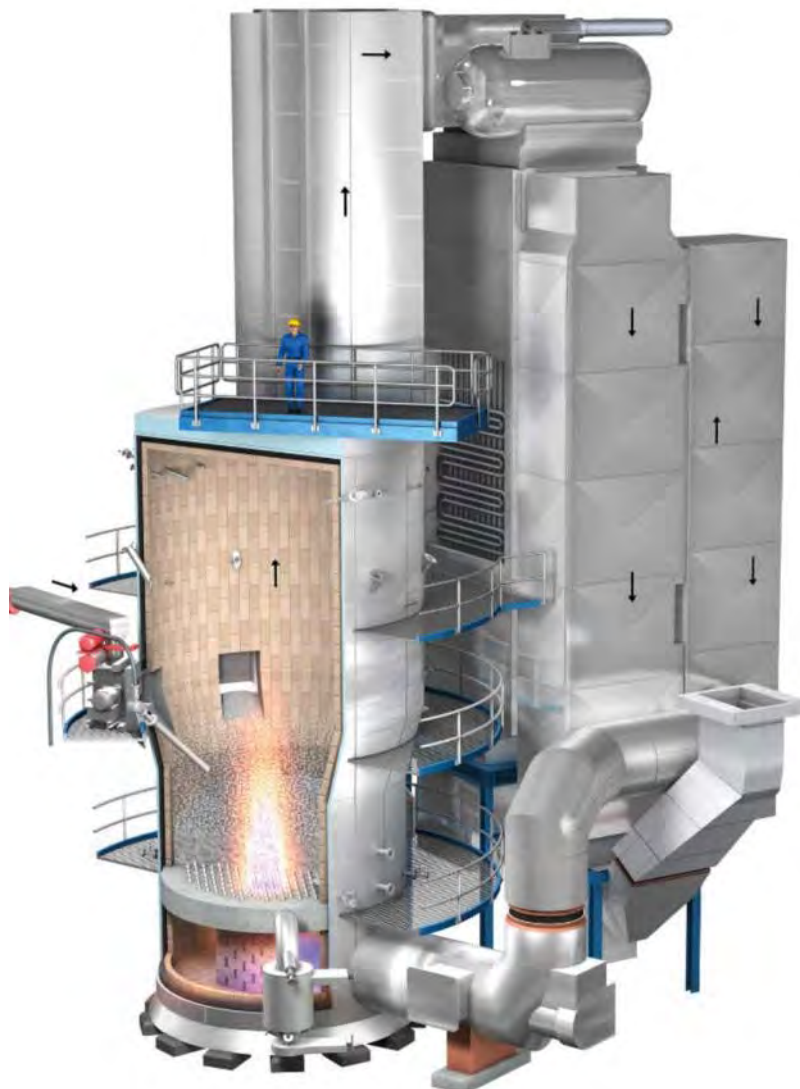
Die Anlage ist sehr kompakt gebaut. In einem zusammenhängenden Gebäudekomplex, bestehend aus einer großen Ofenhalle und einem Kopfbau sind auf einer Grundfläche von rund 2.200 Quadratmeter alle Komponenten der verschiedenen Verfahrensabschnitte und alle Nebenanlagen beginnend von der Schlammanlieferung und -lagerung über die Trocknung, Verbrennung, Energieerzeugung, Rauchgasreinigung bis zu den Lager- und Verladeeinrichtungen für Betriebs- und Reststoffe sowie auch die Elektro- und Leittechnik geschützt und dennoch gut zugänglich untergebracht.

Die Anlieferung des externen EKS erfolgt über LKW. Er wird in einem Bunker mit einem Fassungsvermögen von 1.500 Kubikmeter für fünf Tage Schlamm-lagerung vermischt und zwischengelagert. Die Mischung und Beschickung auch mit dem EKS aus dem eigenen Klärwerk erfolgt über eine Krananlage mit Zweischalengreifer.

Der entwässerte Klärschlamm wird dann in einem der beiden Scheibentrockner (zwei mal 100 Prozent Redundanz) von 30 Prozent TS auf 42 Prozent TS getrocknet, bevor er in den Wirbelschichtofen eingetragen wird. Dem Wirbelschichtofen ist ein Kessel zur Dampferzeugung nachgeschaltet. Der erzeugte Hochdruckdampf wird über eine Dampfturbine zur Stromerzeugung genutzt. Dieser Strom wird für den Eigenbedarf der KSV genutzt.



Bunkerabkipfstelle,
Quelle: ERZ Entsorgung +
Recycling Zürich



Wirbelschichtofen mit
Dampfkessel,
Quelle: ERZ Entsorgung +
Recycling Zürich



Die Rauchgasreinigung besteht aus einer Linie. Bereits im Wirbelschichtofen ist eine Ammoniak-Dosierung (SNCR) zur Reduzierung der Stickoxidemissionen integriert. Zur primären Entstaubung ist dem Kessel ein zweistufiger Elektrofilter nachgeschaltet. Im Sprühtrockner wird das Rauchgas mittels Zugabe von Abschlämmwasser aus dem Alkali-Wäscher abgekühlt, bevor im nachgeschalteten Reaktor ein Gemisch aus Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) und Aktivkohle zudosiert wird. Dies dient der Abscheidung der sauren Rauchgasbestandteile und von Quecksilber. Das beladene Adsorbens und die Aktivkohle werden im Gewebefilter wieder abgeschieden. Es folgt ein zweistufiger Wäscher mit einer sauren und einer alkalischen Stufe zur Abtrennung der verbliebenen sauren Bestandteile.

Das gereinigte Rauchgas verlässt die Anlage über den 37,5 Meter hohen Kamin. Als Reststoffe fallen Asche und Kalk an. Der beladene Kalk muss deponiert werden. Die Asche wird zur späteren Phosphorrückgewinnung zu einer Monodeponie transportiert und zwischengelagert.

Die KSV wird nun seit fünf Jahren erfolgreich betrieben und zeigt das Energiepotential der thermischen Klärschlammverwertung auf. Darüber hinaus ermöglicht die Klärschlammverbrennung die Weiterführung des Stoffkreislaufs von Phosphor. Die Schweiz gibt die Realisierung einer Phosphor-Rückgewinnung bis ins Jahr 2026 vor.

Aktuell ist der Kanton Zürich an einem Vorprojekt in Zuchwil beteiligt. Beim Phos4Life-Verfahren wird die Klärschlammmasche mit Schwefelsäure aufgeschlossen, Eisen mittels Solvent-Extraktion abgetrennt und die entstehende Phosphorsäure durch Evaporation aufkonzentriert.

Autoren



Dipl.-Ing. Andreas Münzmay
Mitglied der Geschäftsleitung, Leitung
Engineering Klärschlammbehandlung
TBF + Partner AG
Calwer Straße 7
71034 Böblingen
my@tbf.ch
www.tbf.ch



Dipl.-Ing. Jens van Helt
Mitglied der Geschäftsleitung, Standortleitung
Böblingen
TBF + Partner AG
Calwer Straße 7
71034 Böblingen
vhj@tbf.ch
www.tbf.ch



Dipl. Ing. ETH Dieter Bühler
Mitglied der Geschäftsleitung, Leitung
Engineering Elektrosysteme
TBF + Partner AG
Beckenhofstrasse 35
8042 Zürich / Schweiz
bue@tbf.ch
www.tbf.ch

Abbildungen linke Seite

Ofenhalle mit Wirbelschichtofen und
Montage Scheibentrockner,
Quelle: ERZ Entsorgung +
Recycling Zürich



Sonderabfallverbrennungsanlage, SAVA, Brunsbüttel, Quelle: REMONDIS

Sonderabfallverbrennung

Michael J. Schneider

Thermische Behandlung von Sonderabfällen

Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAV) sind auf die Entsorgung besonders überwachungsbedürftiger fester, flüssiger und pastöser Abfälle spezialisiert, die auf Grund ihrer hohen Konzentration an organischen und anorganischen Schadstoffen nicht stofflich oder thermisch in „normalen“ Müllverbrennungsanlagen (MVA/MHKW) für Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und Sperrgut verwertet werden können.

Die zu behandelnden problematischen Abfälle umfassen Reststoffe aus der chemischen Industrie, Abfälle von Handelsprodukten wie Farben, Lacke, Lösungsmittel, Teere, Chemikalien oder Kunststoffe. Säuren, Pestizide, infektiöse Krankenhausabfälle, Tierkadaver und Materialien aus Haushaltssammlungen wie Lackreste, Holzschutzmittel oder kontaminierte Verpackungen gehören ebenfalls zu dieser Stoffgruppe, die auf Grund ihrer Umwelt- oder Gesundheitsschädlichkeit getrennt vom Hausmüll gesammelt und in speziell dafür zugelassenen Anlagen verwertet und beseitigt werden muss.

Abfallschlüsselnummer

Die Einstufung der Abfälle erfolgt je nach Gefährlichkeit, was unter anderem Auswirkungen auf die Nachweisführung und die Behandlung dieser Abfälle hat. In der Europäischen Union ist das Europäische Abfallverzeichnis (EAV), welches in Deutschland mit der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) in nationales Recht überführt wurde, für die Bezeichnungen und die Einstufung entscheidend. Alle Abfallarten, die im europaweit einheitlichen EAV als gefährlich



eingestuft sind, werden durch einen Stern hinter der Abfallschlüsselnummer gekennzeichnet.

Tanklager,
Quelle: REMONDIS

Anlagentechnik

Sonderabfälle kommen häufig in Gemischen aus festen, pastösen, flüssigen und zum Teil auch gasförmigen Stoffen vor, wobei auch Fässer (Gebinde) mit teilweise unbekanntem Abfällen wie zum Beispiel Krankenhausabfälle anfallen. Da für diese Stoffgemische eine „Rostfeuerung“ wie in den üblichen Müllverbrennungsanlagen unter anderem wegen der flüssigen Anteile ungeeignet ist, werden in SAV stattdessen aus dem Industrieofenbereich stammende robuste Drehrohröfen eingesetzt.

Das speziell für SAV-Anlagen entwickelte System „Drehrohröfen und Nachbrennkammer“ zerstört durch die Verbrennungstemperaturen von 1.000 bis 1.300 Grad Celsius im Drehrohr und mehr als 1.000 Grad Celsius in der Nachbrennkammer die organischen Schadstoffe und bindet die anorganischen Schadstoffe in der glasartigen beziehungsweise gesinterten Schlacke und den Filterstäuben.

Da in den zur Zeit in Deutschland betriebenen Anlagen ein Kessel integriert ist, kann die Verbrennungsenergie je nach Standort zur Einspeisung von Prozessdampf und/oder zur Erzeugung von Strom genutzt werden.

Durch die aufwendige nachgeschaltete mehrstufige Rauchgasreinigung liegt der Ausstoß von Staub, Kohlenstoffmonoxid, Stick- und Schwefeloxiden, Chlorwasserstoff, Quecksilber und sämtlichen Kohlenstoffen bei modernen SAV auch bei Schadstoffspitzen deutlich unter den gesetzlich vorgegebenen Grenzwerten der 17. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV). Die Emissionen werden ständig überprüft und an die zuständigen Behörden übermittelt.



Labor,
Quelle: REMONDIS

Zwecks Steigerung der Energieeffizienz oder einer zusätzlichen Verbesserung der Rauchgasreinigung zur Emissionsminderung wie Quecksilberrückhaltung oder der Auskopplung von Fernwärme werden die Anlagen im laufenden Betrieb ständig optimiert und den veränderten Rahmenbedingungen angepasst.

Ziele der Sonderabfallverbrennung

Definierte Ziele der umweltschonenden Beseitigung und Verwertung von gefährlichen Abfällen sind damit:

- Hygienisierung durch Zerstörung und Eliminierung umweltgefährdender organischer Stoffe,
- Auffangen und Aufkonzentrieren der Schwermetalle in den Flugstäuben,
- Verringerung des Abfallvolumens,
- Verwertung oder Beseitigung der Reststoffe (Schlacke, Gips und Stäube) durch den Einsatz im Deponiestraßenbau oder als Bergsicherungsmaßnahmen im Untertage-Versatz,
- Metallrückgewinnung (Stahlschrott) aus der Schlacke.

Entsorgungssicherheit und Kreislaufwirtschaft

Bundesweit sind mit Stand 2020 insgesamt 30 SAV mit einer genehmigten Gesamtkapazität von rund 1,61 Millionen jährlich Tonnen in Betrieb. 22 dieser Anlagen sind entweder nur innerbetrieblich oder öffentlich nur eingeschränkt zugänglich. Die acht rein öffentlich zugänglichen SAV verfügen über eine Kapazität von 0,68 Millionen Tonnen jährlich. Im Jahr 2017 wurden rund 1,35 Millionen Tonnen Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen eingesetzt.

Die Sonderabfallentsorgung betrifft alle Bereiche der Kreislaufwirtschaft: Industrie, Gewerbe, Handel, Kommunen und Verbraucher. Vorrangige Ziele sind der Schutz der Gesundheit des Menschen, der Schutz der Umwelt und der natürlichen Ressourcen und eine nachhaltige, schadstofffreie Güterproduktion durch die Funktion der Sonderabfallentsorgung als „Schadstoffseneke“ und der damit verbundenen Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Kreislauf.

Vor diesem Hintergrund sichert eine hochwertige Sonderabfallentsorgung Deutschland als Industriestandort und hier insbesondere die Produktion der chemischen und pharmazeutischen Industrie ab. Auch bei der gesetzlich verankerten Nutzung von Abfällen als Recyclingrohstoff müssen bei der „Vorbereitung zur Wiederverwertung“ die Schadstoffe vor der erneuten Nutzung aus den Stoffströmen umweltneutral entfernt werden, um eine Schadstoffaufkonzentration zu vermeiden.

Für eine moderne, kreislauforientierte Industriegesellschaft ist es daher von besonderer Wichtigkeit, über eine bedarfsentsprechende, geschlossene Entsorgungskette für gefährliche Abfälle von Speziellsammelgefäßen- und Transportfahrzeugen, Lagerkapazitäten, Verwertungs-, Behandlungs- und Beseitigungsanlagen bis hin zu entsprechenden Deponien zu verfügen und die vorhandenen Kapazitäten ständig dem Stand der Technik und den Marktanforderungen anzupassen.

Sonderabfallverbrennungsanlage REMONDIS SAVA

Als Beispiel für eine SAV kann die seit 1998 kontinuierlich betriebene Anlage der REMONDIS SAVA GmbH in Brunsbüttel in Schleswig-Holstein dienen, die neben festen, pastösen und flüssigen gefährlichen Abfällen auch unzerkleinerte Stoffe oder Abfälle, die zunächst umgepackt werden müssen, wie zum Beispiel palettierte Gebinde, spezielle Flüssigkeiten wie PCB-haltige Öle, Anilin oder organische Lösungsmittel wie THF (Übernahme in Chargentanks), stark saure oder heiße Stoffe sowie reaktive Verbindungen (Direkteindüsung über Sonderchargenstation) und salzsaures Abwasser zur Verwertung über eine spezielle Eindampfanlage übernimmt und entsprechend verwertet und beseitigt.

Die REMONDIS SAVA verfügt über eine der modernsten Anlagen zur thermischen Behandlung gefährlicher Abfälle in Europa.

Die Jahreskapazität beträgt bei einem Durchsatz von fünf Tonnen Abfällen je Stunde etwa 55.000 Tonnen jährlich.

Die Anlage auf einen Blick

- Energieeintrag 24,2 MW
- Jahreskapazität bis zu 55.000 t/a
- Feuerungstechnik Drehrohrofen
- Feuerungstemperatur 950–1.200 °C
- Nachbrenntemperatur > 1.100 °C
- Rauchgasverweilzeit > 2 sec
- Dampfmenge 28 t/h
- Strommenge max. 4,5 MW
- Rauchgasreinigung 7-stufiges Nass-Trocken-Verfahren



Autor

Michael J. Schneider
Leiter Presse & Öffentlichkeitsarbeit
REMONDIS Assets & Services GmbH
& Co. KG
Brunnenstr. 138
44536 Lünen
michael.schneider@remondis.de
www.remondis.de



Betriebsgelände ZRE und
Region Nordwest (RNW) der
Stadtreinigung Hamburg,
Hamburg,
Quelle: Stadtreinigung
Hamburg

Projekt ZRE - Zentrum für Ressourcen und Energie

Dr. Heinz-Gerd Aschoff und Verena Höck

An dem Standort der ehemaligen Müllverbrennungsanlage Stelling Moor in Hamburg wird das Zentrum für Ressourcen und Energie (ZRE) als ein modernes Abfallbehandlungszentrum zur Sortierung von Siedlungsabfällen mit nachgeschalteter thermischer Verwertung errichtet. Durch die Verwertung wird chemische Energie in thermische und elektrische Energie umgewandelt und in Form von Fernwärme in Hamburger Wärmenetze und von Strom in das Netz der örtlichen Energieversorgungsunternehmen eingespeist.

Die Zielsetzung des ZRE ist, aus dem Siedlungsabfall einen möglichst hohen Anteil für das stoffliche Recycling abzutrennen und aus dem nicht recycelbaren Anteil, in Abhängigkeit des bestehenden Bedarfs an Fernwärme, möglichst flexibel Fernwärme und Strom bereitzustellen.

Zur Umsetzung dieses Ziels werden die folgenden Anlagenteile errichtet:

- Hausmüllaufbereitung
- Heizkraftwerk für einen Hochkalorik (HK)-Brennstoff, bestehend aus dem HK-Kessel zur Dampferzeugung und der HK-Abgasreinigung
- Heizkraftwerk für einen Niederkalorik (NK)-Brennstoff, bestehend aus dem NK-Kessel zur Dampferzeugung und der NK-Abgasreinigung
- Wasser/Dampf-Kreislauf, bestehend aus Dampfturbinen, Luftkondensatoren und der Fernwärmeübergabestation

Das geplante ZRE befindet sich auf dem Betriebsgelände der Stadtreinigung Hamburg AöR im Stadtteil Bahrenfeld des Stadtbezirks Hamburg Altona. Auf diesem Grundstück sind sowohl das ZRE als auch die Region Nordwest (RNW) ansässig.

Die Zielsetzung der **Hausmüllaufbereitung** ist, möglichst viele Wertstoffe aus dem Hausmüll zu gewinnen und einem Recycling zuzuführen. Der nicht recy-

celbare Anteil wird als hochkalorische Beziehungsweise niederkalorische Fraktion thermisch verwertet.

Als Wertstoffe werden die folgenden Stoffströme durch unterschiedliche Techniken aus dem angelieferten Hausmüll abgetrennt:

- Eisenhaltige Metalle
- Nichteisenmetalle
- Papier, Pappe und Kartonage (PPK)
- Kunststoffe (Polyolefine)
- Glas

Außerdem werden die niederkalorischen und die hochkalorischen Fraktionen voneinander getrennt und in unterschiedlichen Kesseln thermisch verwertet.

Der angelieferte Hausmüll wird zunächst über einen Zerkleinerer gefahren, um die Gebinde zu öffnen und den Abfall auf eine definierte Korngröße zu bringen. Nach der Zerkleinerung durchläuft der Siedlungsabfall zwei Trommelsiebe, in denen das Feingut und die groben Störstoffe zum Schutz der nachfolgenden Technik abgetrennt werden. Die groben Störstoffe werden in den Zerkleinerer rückgeführt.

Das Feingut aus den beiden Trommelsieben wird zusammengeführt und mit einem Überbandmagneten von eisenhaltigem Material entfrachtet. Um weitere Sortierschritte zu ermöglichen, wird aus dem eisenentfrachteten Stoffstrom im dritten Trennschritt die wertstoffarme, überwiegend biogene Feinfraktion abgetrennt und für die thermische Verwertung im Niederkalorik-Kessel (NKK) bereitgestellt.

Aus dem Grobgut nach der dritten Trennstufe werden mittels Wirbelstromabscheider die Nichteisen-Metalle (NE-Metalle) abgetrennt. Anschließend durchläuft dieser Stoffstrom einen Windsichter, der das Leichtgut abtrennt, um anschließend die automatische Glassortierung zu durchlaufen.

Das Grobgut aus den ersten beiden Trennstufen durchläuft die folgenden Verfahrensschritte:

- Windsichtung und optische Trennung zur Gewinnung von Papier, Pappe, Kartonagen - PPK (positive Aussortierung). Das PPK wird automatisch mittels einer Presse zu Ballen kompaktiert und im Ballenlager zum Abtransport gelagert. Alternativ kann diese Fraktion auch zerkleinert und der thermischen Verwertung zugeführt werden.
- Magnetabscheider zur Fe-Entfrachtung
- Jeweils eine NIR-Sortierstufe (Nahinfrarot), um Polyolefine auszuschleusen
- Die Polyolefine durchlaufen anschließend noch einen ballistischen Separator, um flächige Bestandteile wie Folien oder Textilien zu separieren. Diese Fraktion wird im Hochkalorik-Kessel thermisch verwertet. Die Polyolefine werden zu Ballen gepresst und für den Abtransport bereitgestellt.

Der Durchgang der NIR-Sortierung wird nach der Polyolefinabtrennung im Hochkalorik-Kessel (HKK) thermisch verwertet.

Im **Niederkalorik-Kessel (NKK)** werden die organische Feinfraktion aus der Sortierung sowie Siebüberlauf, Grüngut, Laub und Altholz thermisch verwertet. Für den NKK wird ein Input von etwa 150.000 Tonnen pro Jahr mit einem mittleren Heizwert von circa 9,0 Megajoule pro Kilogramm erwartet.

Im **Hochkalorik-Kessel (HKK)** wird ein Input von circa 165.000 Tonnen pro Jahr mit einem durchschnittlichen Heizwert von 12,9 Megajoule pro Kilogramm thermisch verwertet. Als Inputströme für den HKK dienen die Hochkalorik aus der Sortierung sowie externer EBS und andere externe, hochkalorische Abfallströme.

Der in den Kesseln erzeugte Dampf wird über eine Sammelschiene den beiden Turbinen zugeführt. Um maximale Flexibilität der Fahrweise (Sommer-/Winterbetrieb) zu ermöglichen, sind sowohl eine Entnahmekondensationsturbine als auch eine Gegendruckturbine geplant. Mit diesem Konzept können im Winter bis zu 75 Megawatt Fernwärme ausgekoppelt werden. Im Sommerbetrieb können bis zu 23 Megawatt elektrische Leistung ins Netz eingespeist werden.

Zusätzlich können bis zu fünf Megawatt Fernwärme aus der Restwärmenutzung der Abgase gewonnen werden, die in das lokale Netz von HanseWerk Natur eingespeist werden.

Es sind zwei verfahrensgleiche **Abgasreinigungsanlagen** geplant. Die erste Abgasreinigungsstufe basiert auf der Eindüsung von Natriumhydrogencarbonat und einem SCR-Reaktor, die zweite Abgasreinigungsstufe auf der Eindüsung eines Gemisches aus Kalkhydrat, Herdofenkoks und Aktivkohle. Der gesamte Abgasreinigungsprozess ist abwasserfrei und gewährleistet das Einhalten der geforderten Grenzwerte. Die anfallenden Reststoffe aus den Gewebefiltern und die Kesselasche werden in Reststoffsilos zum Abtransport gelagert.

Die Schlacke aus den beiden Kesseln wird im Schlackebunker bis zum Abtransport gelagert.

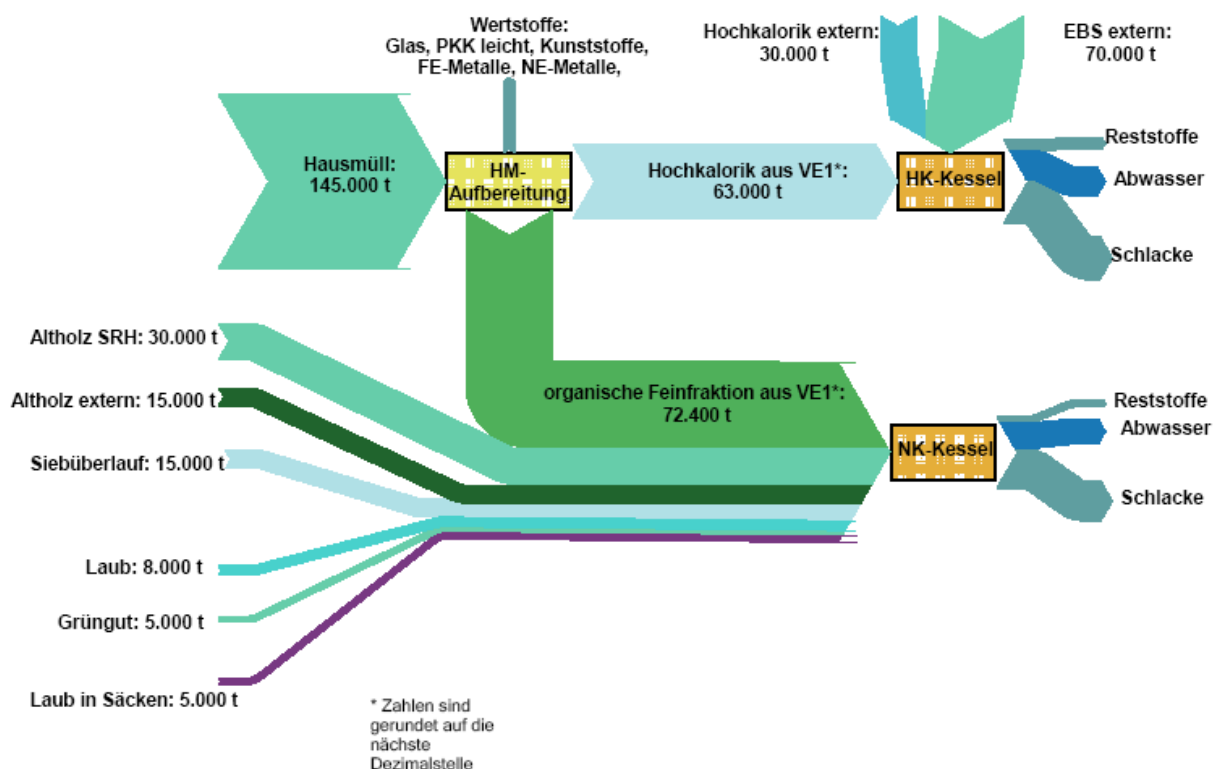
In der **Fernwärmeübergabestation** wird thermische Energie vom Dampfsystem auf die Fernwärmenetze von Wärme Hamburg übertragen, durch die Abgasrestwärmenutzung thermische Energie vom Abgas auf das lokale Wärmenetz von HanseWerk Natur. Das ZRE leistet hierdurch einen nennenswerten Beitrag zur zuverlässigen Versorgung der Stadt mit kohlefreier Fernwärme.

Stoffströme

Eingang	Menge [Mg/a]	Heizwert [MJ/kg]
Hausmüll	145.000	8,5
Laub	8.000	4,2
Grüngut	5.000	11,0
Altholz (SRH)	30.000	13,5
EBS (extern)	70.000	14,9
Hochkalorik (extern)	30.000	12,0
Laub in Säcken	5.000	5,0
Altholz (extern)	15.000	13,5
Siebüberlauf	15.000	11,0

Ausgangsstoffströme	aus Hausmüllaufbereitung [Mg/a]
Glas	3.130
PPK leicht	1.320
Kunststoffe	2.700
Fe-Metalle	2.250
NE-Metalle	200

Stoffströme ZRE



Fazit

Mit dem ZRE errichtet die Stadtreinigung Hamburg eine zukunftsorientierte Abfallbehandlungsanlage die eine, der Abfallsammlung nachgeschaltete, Sortierung sicherstellt und einen Beitrag zur Erhöhung der Recyclingquote in der Abfallbehandlung ermöglicht. Zudem wird über die thermische Behandlung der stofflich nicht weiter nutzbaren Sortierreste ein nennenswerter Beitrag zur Versorgung der Stadt mit Fernwärme geleistet, der das Hamburger Ziel einer klimaneutralen Fernwärmeversorgung unterstützt.

Ein- und Ausgangsstoffströme in die jeweiligen Anlagenteile inklusive Mengenangabe, ZRE, Hamburg, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

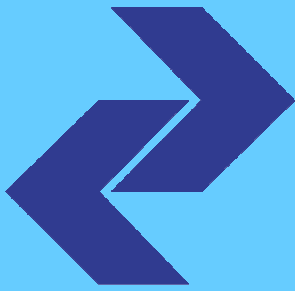
Autoren



Dr.-Ing. Heinz-Gerd Aschhoff
 Projektsteuerer ZRE
 Zentrum für Ressourcen und Energie
 Stadtreinigung Hamburg
 Schnackenburgallee 100
 22525 Hamburg
heinz-gerd.aschhoff@stadtreinigung.hamburg
www.stadtreinigung.hamburg



Verena Höck
 Stellvertretende Leitung Genehmigung
 Zentrum für Ressourcen und Energie
 Stadtreinigung Hamburg
 Schnackenburgallee 100
 22525 Hamburg
Verena.Hoeck@stadtreinigung.hamburg
www.stadtreinigung.hamburg



C.C. Umwelt GmbH

A Blue Phoenix Company

**„Wir
übernehmen
Verantwortung!“**

www.cc-gruppe.com

**Die Stoffströme
zur Verwertung und sicheren Endlagerung**



AWG Wuppertal,
Gesamtansicht MHKW
Wuppertal,
Quelle: AWG Wuppertal

MHKW Wuppertal als Standort für die Wasserstoffproduktion

Conrad Tschersich

Die AWG Abfallwirtschaftsgesellschaft Wuppertal mbH ist ein kommunales Entsorgungsunternehmen mit den Gesellschaftern Wuppertaler Stadtwerke GmbH, Stadtwerke Remscheid GmbH, Stadtwerke Velbert GmbH sowie den Städten Wuppertal und Remscheid. Als Entsorgungsfachbetrieb hat die AWG drei Standorte in Wuppertal, an denen insgesamt mehr als 450 Mitarbeiter tätig sind. Darüber hinaus unterhält die AWG im Wuppertaler Stadtgebiet mehrere Recyclinghöfe.

Neben der Sammlung und dem Transport von Abfällen aus privaten Haushalten der Stadt Wuppertal ist die AWG innerhalb des Abfallwirtschaftlichen Zweckverbandes EKOCity für die thermische Entsorgung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zuständig.

Das Müllheizkraftwerk (MHKW) der AWG auf Korzert ist aus der regionalen Abfallentsorgung nicht mehr wegzudenken. Seit 1976 sorgt es für eine umweltfreundliche Müllverwertung — an jedem Tag im Jahr, rund um die Uhr. Die bei der thermischen Nutzung der Abfälle freiwerdende Energie dient der Strom- und Wärmeversorgung in Wuppertal.

Versorgte das MHKW bis zum Ausbau der Südwest-Leitung des Fernwärmenetzes durch die Wuppertaler Stadtwerke zunächst die Südhöhen Wuppertals



AWG Wuppertal,
Fernwärmeleitung,
Quelle: AWG Wuppertal

mit Wärme, ist seit Beendigung des Ausbaus im Jahr 2018 eine Strecke von 3,2 Kilometer hinzugekommen. Die gewonnene Wärme kann jetzt bis in die Talsohle transportiert werden und bietet den hiesigen Immobilienbesitzern die Möglichkeit, sich mit umweltfreundlicher und komfortabler Wärme zu versorgen, nicht nur für das Heizen der Räume, sondern auch für die Warmwasserbereitung. Durch die Nutzung der Fernwärme bleiben Wuppertal jährlich mehrere 100.000 Tonnen CO₂ erspart. In Relation entspricht das einer Leistung von mehr als 200 Windrädern. Fernwärme — gut für Wuppertal, gut fürs Klima.

Nachhaltigkeit spielt auch bei der Verwertung der bei der Verbrennung entstehenden Schlacke (Rostasche) eine wichtige Rolle. In der Aufbereitungsanlage am MHKW lassen sich dank modernster Sieb- und Separationstechnik Metalle aus der Schlacke aussortieren und wiederverwerten — im Sinne der Ressourcen-Schonung und der Nachhaltigkeit.

Kennzahlen MHKW Korzert

- Verbrennungsleistung pro Jahr rund 440.000 Mg/a
- Abgabe von 86.700 MWh Strom (2019) in das lokale Verbundnetz
- Einspeisung von rund 469.500 MWh Fernwärme (2019) in das Wuppertaler Fernwärmenetz
- Jährliche Einsparung von mehreren 100.000 t CO₂ durch die so ermöglichte Schließung eines Kohleheizkraftwerks

Chronologie - Von der Müllverbrennung zum Müllheizkraftwerk

- 1907 Start Barmer Müllverbrennungsanlage, Stromerzeugung und Fernwärme und Einspeisung in das städtische Versorgungsnetz
- 1929 Gründung der Stadt Wuppertal
- 1949 Stilllegung MVA Barmen, Deponierung des gesamten Abfalls
- 1976 Betriebsaufnahme der MVA Wuppertal, Standort Korzert, Einspeisung von Strom und Abgabe von Fernwärme
- 1988 Beginn ständige Weiterentwicklung der Müllverbrennungsanlage zum Müllheizkraftwerk
- 1990 Gründung AWG Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Wuppertal
- 1995 Ausbau der Fernwärmeschiene Süd
- 2014 Neubau der Schlackenaufbereitung

- 2018 Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz in der Talsohle Wuppertals und Versorgung des gesamten Fernwärmenetzes mit Fernwärme
- 2019 AWG, WSW und EKOCity setzen auf Wasserstoff für Wuppertal: Bau einer Wasserstoff-Infrastruktur zur Betankung von Brennstoffzellen-Linienbussen der WSW
- 2020 Beginn der Wasserstoffproduktion auf dem Betriebsgelände des MHKW Korzert
- 2020 Offizielle Eröffnung der Wasserstoff-Tankstelle und Start des regulären Linienbetriebs der WSW mit 10 Brennstoffzellen-Linienbussen am 20. Juni.



AWG Wuppertal,
Müll macht mobil,
Quelle: AWG Wuppertal

Wasserstoff für Wuppertal: Müll macht mobil

Die AWG hat zusammen mit den Wuppertaler Stadtwerken (WSW) und dem Abfallwirtschaftsverband EKOCity das „Power-to-Gas“-Projekt zur Wasserstoffproduktion am MHKW Wuppertal initiiert. Titel: „H2W – Wasserstoff für Wuppertal“. Wichtige Säule des Projekts ist der Bau einer Wasserstoff-Tankstelle für Brennstoffzellen-Linienbusse direkt am Müllheizkraftwerk (MHKW) auf Korzert.

Der Clou am Wuppertaler Wasserstoff-Modell: Der bei der thermischen Behandlung des Restmülls im Müllheizkraftwerk erzeugte Strom wird für die Produktion von Wasserstoff verwendet. Per Brennstoffzelle können Linienbusse und auch Abfallsammelfahrzeuge nahezu emissionsfrei fahren – auch in der anspruchsvollen Wuppertaler Topographie. Das Motto lautet: Müll macht mobil. Zudem bedeutet weniger Dieselverbrauch weniger Ausstoß von Stickoxiden und damit bessere Luft in Wuppertal.

Seit dem 20. Juni 2020 werden am Müllheizkraftwerk Brennstoffzellen-Linienbusse der WSW betankt. Der dafür von der WSW mobil GmbH vorgegebene tägliche Wasserstoffbedarf für die Linienbusse liegt bei 325 Kilogramm. Weil das Müllheizkraftwerk rund um die Uhr und an 365 Tagen Strom liefert, kann die AWG diese Vorgaben sicher einhalten.

Durch die Sektorenkopplung zwischen Abfallwirtschaft, Energieversorgung und Verkehrsbetrieb wird so der Weg in eine zukunftsweisende Mobilität ermöglicht.

Die AWG plant außerdem, einen mit Wasserstoff betriebenen und somit emissionsarmen Müllwagen auf die Straße zu bringen. Im vergangenen Jahr (2019) hat die AWG im Normalbetrieb Daten gesammelt, um entsprechend leistungsstarke Brennstoffzellen in einen AWG-Müllwagen einbauen zu lassen.

Wasserstoff bietet eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten. So kann er beispielsweise in bestehende Gasnetze eingespeist werden. Dazu könnten



AWG Wuppertal,
Wasserstoff-Produktion,
Quelle: AWG Wuppertal



AWG Wuppertal,
Wasserstoff-Tankstelle,
Quelle: AWG Wuppertal

große Gasspeicher genutzt werden. Vorstellbar ist auch die Herstellung von Methan mit dem H_2 aus der Elektrolyse und CO_2 aus den Abgasen des MHKW. Das Methan wäre dann wiederum für eine Vielzahl weiterer Anwendungen – zum Beispiel in der chemischen Industrie – einsetzbar und ebenfalls in vorhandenen Gassystemen speicherbar. Die Wasserstoffproduktion am MHKW Wuppertal ist somit ein Baustein eines Gesamtkonzeptes zur möglichst nachhaltigen und sektorenübergreifenden Nutzung der bei der thermischen Behandlung der Abfälle freiwerdenden Energie.



Autor

Dipl.-Ing. Conrad Tschersich
Technischer Geschäftsführer
AWG Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH
Wuppertal
Korzert 15
42349 Wuppertal
conrad.tschersich@www.awg.wuppertal.de
www.awg.wuppertal.de



Landwirtschaftliche
Nutzfläche, Rapsfeld,
Quelle: Breer

Phosphorrückgewinnung

Der Weg zum wirtschaftlichen Phosphorrecycling aus Klärschlammasche

Michael J. Schneider

Phosphor

Phosphor ist essentiell für das Pflanzenwachstum und damit für die gesamte Nahrungsmittelproduktion und dient als hochwertiger Rohstoff zur Herstellung fast aller Phosphate, vor allem jedoch zur Herstellung von Dünge- und Futtermitteln. Die weltweiten Phosphatvorkommen sind allerdings nur begrenzt verfügbar und zunehmend durch toxische Schwermetalle wie Cadmium und Uran belastet. Deutschland ist vollkommen vom Import von Rohphosphaten beziehungsweise den daraus hergestellten Mineraldüngern abhängig.

Ein Mangel an Phosphat wirkt sich negativ auf die Ernteerträge aus, zur Sicherstellung reichhaltiger und gleichbleibender Ergebnisse muss dem Boden wieder Phosphat als Nährstoff in Form von phosphathaltigem Dünger zugeführt werden.

Phosphor im Klärschlamm

Menschen und Tiere nehmen Phosphor über die pflanzliche Nahrung auf und scheiden ihn wieder aus. Deswegen fällt dieser Rohstoff in hohen Mengen im Abwasser beziehungsweise im Klärschlamm an. Die Kläranlagen in Deutschland produzieren jährlich etwa 1,7 Millionen Tonnen Klärschlamm-Trockenmasse. Knapp ein Drittel der Klärschlämme werden als Dünger auf



landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht oder im Landschaftsbau bodenbezogen eingesetzt (Stand 2017). Neben dem erwünschten Düngemittel Phosphor geraten aber auch Schadstoffe wie Schwermetalle, organische Schadstoffe, Arzneimittelrückstände, Mikroplastik und anderes in die Böden und über die Aufnahme in Kulturpflanzen in die Nahrungskette. Überschüssiger Phosphor gelangt über Flüsse in Meere und verursacht durch verstärktes Algenwachstum eine Gefährdung der vorhandenen Ökosysteme.

Kläranlage,
Quelle: REMONDIS

Um diese Missstände zu beenden, den Phosphor aus dem Abwasser einer hygienisch einwandfreien landwirtschaftlichen Nutzung zuzuführen und die natürlichen Ressourcen zu schonen, wurde mit der Novelle der Klärschlammverordnung 2017 die Klärschlammausbringung zu Düngezwecken eingeschränkt und eine Rückgewinnung von Phosphor und anderen Nährstoffen ab 2029, bei kleineren Kläranlagen ab 2032, vorgeschrieben. Da keine technischen Vorgaben gemacht wurden, werden verschiedene Verfahren zur Rückgewinnung entwickelt und erprobt.

Thermische Verfahren bieten im Vergleich zu den nasschemischen Fällungsverfahren eine hohe Rückgewinnung von bis zu mehr als 90 Prozent des im Kläranlagenzulauf enthaltenen Phosphors.

Wesentlich für eine effiziente thermische Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammasche ist die Monoverbrennung mit der entsprechenden Hygienisierung und Neutralisierung der Krankheitserreger und Schadstoffe des Klärschlammes, da dann der Phosphor in relativ hohen Konzentrationen und mit einem geringen Anteil an restlichen Verunreinigungen durch zum Beispiel Schwermetalle vorliegt.



Phosphorkreislauf,
Quelle: REMONDIS

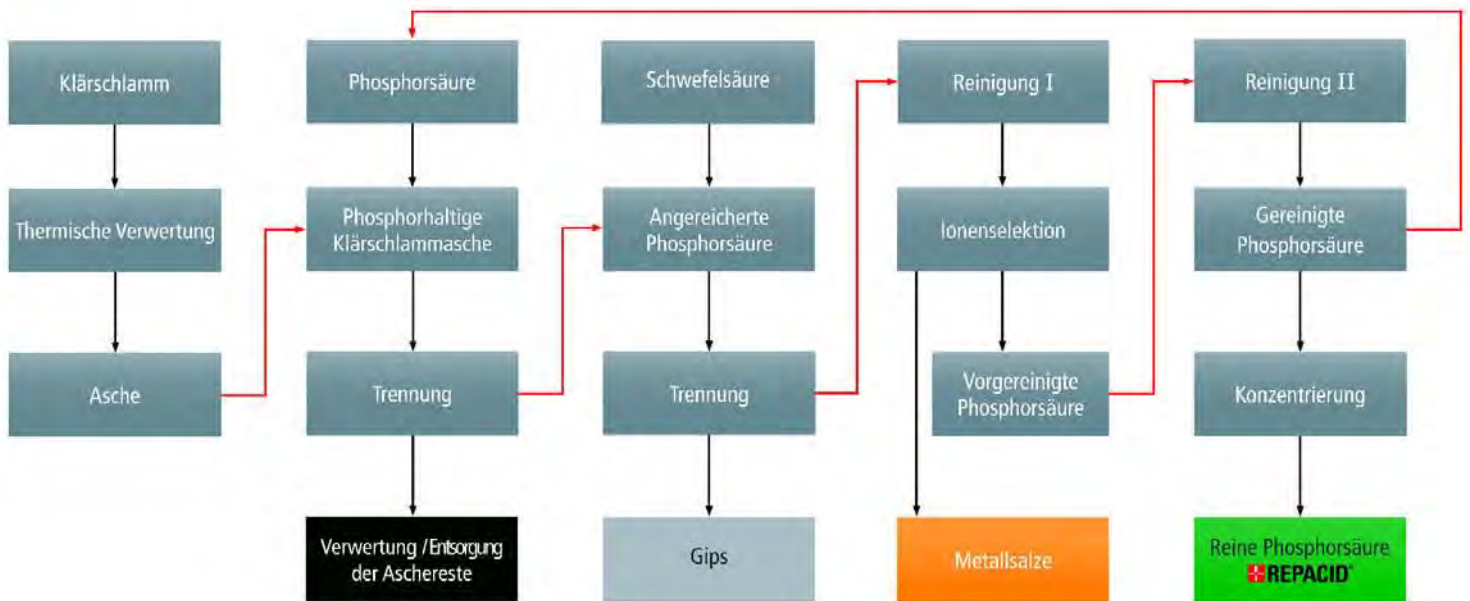
„Würde die Verbrennung des in Deutschland insgesamt anfallenden Klärschlammes (gut 1,7 Millionen Tonnen jährlich) komplett auf Monoverbrennung mit nachgeschalteter Phosphorrückgewinnung umgestellt werden, ließen sich theoretisch aus der anfallenden Asche rund 50.000 Tonnen Phosphor pro Jahr zurückgewinnen. Dies entspricht gut 40 Prozent des aktuellen landwirtschaftlichen Verbrauchs an mineralischem Phosphor.“ (gekürzt; UBA (Hg.), Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Dessau-Roßlau 2018)

TetraPhos®-Verfahren

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Aschen von Klärschlammverbrennungsanlagen mit dem REMONDIS TetraPhos®-Verfahren trägt dem heutigen Anspruch und der gesellschaftlichen Verantwortung zum Ressourcenschutz Rechnung. Das von REMONDIS entwickelte Verfahren zeigt in besonderem Maße, dass Recycling wirtschaftlich ist und bereits heute gesetzliche Anforderungen der Zukunft umsetzen werden können. Mit dem Verfahren können marktfähige Recyclingrohstoffe in gleichbleibender Qualität und Verfügbarkeit zurückgewonnen und wieder in den Kreislauf geführt werden.

Das patentierte Verfahren wurde bereits 2013 von REMONDIS selbst entwickelt und im Jahr 2016 mit dem GreenTec Award ausgezeichnet, Europas größtem Nachhaltigkeitspreis.

Beim REMONDIS-TetraPhos®-Verfahren wird der Klärschlamm in der ersten Verarbeitungsstufe in einer Monoklärschlammverbrennungsanlage thermisch verwertet. Die Asche wird anschließend in verdünnter Phosphorsäure gelöst und reichert diese mit dem eigenen Phosphatanteil an. In verschiedenen Selektionsstufen wird anschließend der Rohstoff gereinigt zurückgewonnen.



So lässt sich RePacid®-Phosphorsäure für die Herstellung von Phosphaten gewinnen. Zudem werden Eisen- und Aluminiumsalze erzeugt, welche wiederum zur Phosphat-Elimination in der Kläranlage verwendet werden können und einen zusätzlichen wichtigen Kreislauf schließen. Als weitere Wertstoffe entstehen Gips und die abgereicherte Asche für die Baustoffindustrie.

TetraPhos®-Verfahren,
Quelle: REMONDIS

Phosphor-Recyclinganlage auf dem Klärwerk Hamburg

2015/16 wurde in Kooperation mit HAMBURG WASSER auf dem Gelände des Klärwerks Hamburg am Standort Köhlbrandhöft eine Pilotanlage in Betrieb genommen, die die technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit des TetraPhos®-Verfahren bestätigte. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ergibt sich maßgeblich aus der Erzeugung einer marktfähigen Phosphorsäure in Qualität und Quantität. Absolut zur Eingabe über die Asche werden 83 Prozent des Phosphors in Form der reinen Phosphorsäure gewonnen.

Am 01. März 2019 erfolgte die Grundsteinlegung einer bisher weltweit einmaligen Recycling-Anlage für Phosphor im industriellen Maßstab, die aus 20.000 Tonnen Klärschlammasche etwa 7.000 Tonnen hochreine Phosphorsäure erzeugen wird.

Bau und Betrieb übernimmt die Hamburger Phosphorrecyclinggesellschaft, an der die Hamburger Stadtentwässerung, ein Unternehmen von HAMBURG WASSER, zu 60 Prozent und REMONDIS Aqua zu 40 Prozent beteiligt sind.



Autor

Michael J. Schneider
Leiter Presse & Öffentlichkeitsarbeit
REMONDIS Assets & Services
GmbH & Co. KG
Brunnenstr. 138
44536 Lünen
Deutschland
michael.schneider@remondis.de

Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung im Kontext der Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung der Vorgaben des BVT-Merkblattes Abfallverbrennung

Markus Gleis

Einleitung

Der Ursprung der technischen Form der Abfallverbrennung war Teil der Siedlungsabfallhygiene und hatte den Zweck alle organischen Abfallbestandteile durch thermische Oxidation zu zerstören. War dies zu Beginn der Abfallverbrennung sehr stark auch auf mikrobiologische Verunreinigungen wie Bakterien ausgerichtet, eine Aufgabe, die die Abfallverbrennung auch im Fall von Pandemien weiter erfüllt, sind es jetzt vorrangig die langlebigen Verbindungen aus dem Baukasten der organischen Chemie, die einem thermischen Abbau zu unterwerfen sind. Die anorganischen Anteile verbleiben in den verschiedenen Verbrennungsrückständen und werden im Prozess zum Teil auch gezielt angereichert. Während die Aschen und Schlacken aus dem Feuerraum weitgehend inerte Materialien sind, werden die bei der Verbrennung freigesetzten anorganische Schadstoffe im Wesentlichen in den Aschen beziehungsweise Stäuben aus Kessel und Abgasreinigung, Waschwässern und Reaktionsprodukten konzentriert. Hier unterscheiden sich auch die Anwendungsbereiche der beiden für die Abfallbehandlung veröffentlichten BVT-Merkblätter. Aufgrund der technisch engen Verbindung zur Feuerung werden Aschen und Schlacken einschließlich ihrer Aufbereitung und den Anforderungen an die Aufbereitungsprozesse im BVT-Merkblatt Abfallverbrennung [1] behandelt, während der Umgang mit den Filterstäuben und Reaktionsprodukten einschließlich deren Bergversatzes Teil des BVT-Merkblattes Abfallbehandlung ist.

Feste Rückstände aus den Feuerräumen der verschiedenen Verbrennungssysteme treten bei Temperaturen oberhalb des Erweichungspunkts als Schlacke, sonst als Asche auf. Häufig verwendete Bezeichnungen sind Schlacke oder Hausmüllverbrennungasche (HMVA).

Herkunft und Zusammensetzung der festen Verbrennungsrückstände

Aschen und Schlacken aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen

Aktuell werden in Deutschland in rund 100 thermischen Abfallbehandlungsanlagen (davon 66 Hausmüllverbrennungsanlagen) rund 26 Millionen Tonnen brennbare Abfälle verbrannt [2]. Nach Angaben der ITAD [3] sind im Jahr 2017 in Deutschland circa 5,7 Millionen Tonnen Rostasche angefallen. Im Verlauf der Aufbereitung der Rostasche wurden nach dem Stand der Technik 382.000 Tonnen Eisen und 95.000 Tonnen Nichteisenmetalle (NE-Metalle) in 2017 in stückiger Form separiert.

Der weitaus größte Teil der Rostasche entfällt auf die mineralische Fraktion (90 Prozent), in der die Metalle mit einer hohen Sauerstoffaffinität (Calcium, Aluminium, Magnesium und so weiter) in oxidischer Form in der Rostasche gebunden sind und unter wirtschaftlichen Bedingungen nicht wieder in metalli-

scher Form zurückgewonnen werden können. In ihren Zusammensetzungen aber ähneln diese Oxide Rohstoffen, die unter Umständen zum Beispiel zur Herstellung von Zement oder anderen Baustoffen verwendet werden können. Kreide und Marmor sind spezielle Formen von Calciumcarbonat, also Kalkstein. Für die Herstellung von Zement [4] werden überwiegend die natürlichen Rohstoffe Kalkstein, Mergel und Ton eingesetzt, aus denen die erforderlichen Hauptbestandteile Calciumoxid (CaO) und Siliciumdioxid (SiO_2) sowie in geringeren Mengen Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Eisenoxid (Fe_2O_3) stammen, die in den Aschen ebenfalls vorhanden sind.

Die Rostasche bildet mengenmäßig die größte Rückstandsfraktion aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen. Nach dreimonatiger Lagerung erfüllt die HMV-Asche aufgrund der in diesem Alterungszeitraum ablaufenden Mineralumbildungs- und Mineralneubildungsprozesse die wasserwirtschaftlichen Anforderungen an Sekundärbaustoffe. Ein Teil der Rostasche wird nach einer umfangreichen Aufbereitung als Sekundärbaustoff verwertet.

Zur Aufbereitung kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, die auch im BVT-Merkblatt Abfallverbrennung im Zusammenhang mit den jeweiligen BVT-Schlussfolgerungen benannt werden und auf die im Beitrag noch am Ende näher eingegangen wird. So werden für die Abtrennung der Eisen- und NE-Metalle magnetische Verfahren und die Wirbelstromtechnik eingesetzt. Für die mineralischen Fraktion gibt es eine Vielzahl von Sortier- und Klassierungsverfahren, Waschverfahren und weitergehende thermische Verfahren, die bisher allerdings noch in der Erprobung sind und damit noch nicht als BVT eingestuft wurden. Änderungen ergeben sich bei den Korngrößen der aufbereiteten Fraktionen, denn wurden bisher für die Metallabtrennung vor allem die größeren Kornfraktionen aufbereitet, wird mittlerweile auch die Feinfraktion unter vier beziehungsweise unter zwei Millimeter mit einbezogen, weil hier immer noch nennenswerte Mengen an wertvollen elementaren Metallen enthalten sind.

Der organische Anteil in den Schlacken aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen darf drei Prozent an organisch gebundenem Gesamtkohlenstoff (TOC) oder einen Glühverlust (GV) von fünf Prozent des Trockengewichts nicht überschreiten [1]. Eine Vorgabe, die vorrangig durch den Verbrennungsprozess selbst zu erfüllen ist und daher bereits auch in den Anforderungen gemäß der 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV) enthalten ist. Neben Metallen und Mineralien enthalten die Rostaschen aus Abfallverbrennungsanlagen auch elementaren Kohlenstoff.

Bei den derzeit genormten Analyseverfahren zur Bestimmung des unverbrannten Anteils als TOC oder GV werden neben dem organisch gebundenen Kohlenstoff auch der elementare Kohlenstoff (zum Beispiel als Koks) und teilweise auch anorganischer Kohlenstoff (zum Beispiel ein Teil der Carbonate) miteingefasst. Bei der Verbringung der Rostasche auf eine Deponie oder bei der Verwertung ist nur der organisch gebundene Kohlenstoff maßgebend. Aus den bisher vorliegenden Untersuchungen ist bekannt, dass der Anteil an organisch gebundenem Kohlenstoff unabhängig vom ermittelten TOC- oder GV-Wert unter drei Prozent bleibt [5]. Die Deponieverordnung lässt Überschreitungen der Zuordnungswerte für den TOC und den Glühverlust bei der Entsorgung auf Deponien zu, wenn diese Überschreitungen durch elementaren Kohlenstoff oder Carbonate verursacht werden. Für die Analyse der unterschiedlichen Kohlenstoffspezies in Feststoffen wurde eine DIN-Norm entwickelt (DIN 19539, 2016-12).

Individuelle Rostaschen sind im Detail ein inhomogenes Material. Ihre typische stoffliche Zusammensetzung lässt sich wie folgt beschreiben [6]:

- 1 Prozent unverbranntes Material,
- circa 9 Prozent inertes Material (Glasscherben, Keramik, Steine etc.),
- circa 10 Prozent Metalle (davon etwa 8 Prozent Fe-Metalle und knapp 2 Prozent NE-Metalle, hauptsächlich Al, Cu und Cu-Legierungen),
- 40 Prozent Asche und
- 40 Prozent Schmelzprodukte.

Der Kontakt mit Wasser führt bei Rostasche aufgrund der Bildung von Kalkhydrat (Ca(OH)_2) zu alkalischen pH-Werten von 12 und darüber. Aus dem Löslichkeitsprodukt von Ca(OH)_2 ($K_L=5,5 \times 10^{-6} \text{ mol}^3 \text{ l}^{-3}$) lässt sich ein maximaler pH-Wert von 12,25 berechnen. Elementares Aluminium (Al) wird unter diesen alkalischen Bedingungen teilweise oxidiert und reagiert zu Al(OH)_3 und H_2 . Eine mehrwöchige Lagerung von Rostasche führt zu einer Karbonatisierung der Asche und einer Abnahme des pH-Wertes [7]. Kalkhydrat reagiert mit CO_2 aus der Luft oder unter Einfluss von Regenwasser zu Kalkstein (CaCO_3), der deutlich schwerer löslich ist und keine pH-Erhöhung beim Kontakt mit Wasser zur Folge hat. Die pH-Werte der resultierenden Eluate sinken daher auf Werte um 11 und darunter im Verlauf dieser Alterungsreaktionen.

Abweichungen zwischen der klassischen Abfallverbrennung und den Verbrennungsrückständen aus den sogenannten Ersatzbrennstoffkraftwerken ergeben sich dann, wenn in den EBS-Kraftwerken ausschließlich aufbereitete Abfallfraktionen (wie mittelkalorische Siedlungs- und Gewerbeabfälle, Sortierreste aus mechanischen oder mechanisch-biologischen oder mechanisch-physikalischen Aufbereitungsanlagen) verbrannt werden. Es ist dann von einer geringeren spezifischen Aschemenge (maximal 200 Kilogramm je Tonne Abfall) als bei der Verbrennung auszugehen; Metallschrottanteile sind kaum enthalten [8]. Bei den auch hier vorrangig zum Einsatz kommenden Rostfeuerungsanlagen (einige Ausnahmen sind Wirbelschichtfeuerungen) kann von den gleichen Verwertungswegen der Rückstände wie bei den klassischen Müllverbrennungsanlagen ausgegangen werden. Für die Bettaschen aus der Wirbelschichtfeuerung sind diese Verwertungswege nicht gangbar.

Schlacke aus Sonderabfallverbrennungsanlagen

Die Feuerungstemperatur bei der Verbrennung von gefährlichen Abfällen (Sonderabfällen) liegt im Bereich zwischen 900 Grad Celsius und 1300 Grad Celsius. Unter 1050 Grad Celsius wird der Schlackenschmelzpunkt selten erreicht, über 1200 Grad Celsius ist er im Regelfall überschritten. Die bei der Verbrennung von gefährlichen Abfällen in Drehrohranlagen anfallende Rohschlackemenge liegt bei etwa 150 Kilogramm je Tonne bis 250 Kilogramm je Tonne eingebrachter Abfall, je nach dessen Feststoffgehalt. Die Schlacken sind ohne Vorbehandlung für die Verwertung oder Ablagerung auf einer Deponie geeignet. Nach einer entsprechenden Aufbereitung (Entschrottung, Zerkleinerung größerer Teile) können die Schlacken auch im Bergversatz eingesetzt werden. Der Anteil an Eisenschrott in der Schlacke liegt in der Regel bei rund 10 Prozent.

In Sonderabfallverbrennungsanlagen werden üblicherweise mineralische Zuschlagstoffe wie Sand, (verunreinigtes) Bodenmaterial und Asphalt zugegeben, um die Schlackenqualität so zu beeinflussen, dass sich auf der Drehrohrausmauerung eine Schutzschicht („Schlackenpelz“) bildet. Auch diese Maßnahme hat Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Schlacke.

Bei einigen Sonderabfallverbrennungsanlagen werden Kesselaschen in den Drehrohrofen zurückgeführt, um sie dort in die Schlacke einzubinden, wobei die enthaltenen flüchtigen Schwermetallverbindungen wieder verdampfen.

Asche aus der Altholzverbrennung

Die Eigenschaften der Aschen aus der Altholzverbrennung variieren stark in Abhängigkeit von der Verbrennungstechnik und der Brennstoffart. Feuer- raumaschen aus der Monoverbrennung naturbelassener Pflanzenbestandteile wie auch Zyklonaschen aus Flugstromfeuerungsanlagen können gemäß Dün- gemittelverordnung (DüMV) in der Land- und Forstwirtschaft verwertet wer- den, da sie einen hohen Nährstoffgehalt, vor allem Calcium-, Kalium- und Magnesiumoxid, aufweisen. Aschen, die den Anforderungen der Düngemittel- verordnung nicht entsprechen, wie Aschen von Altholz können in der Regel im Bergversatz verwertet werden, alternativ auch als Deponieersatzbaustoff.

Aschen von Altholz und teilweise auch von unbehandeltem Holz weisen zum Teil signifikante Schwermetallgehalte auf, vor allem an Kupfer und Chrom(VI). Durch geeignete Nachbehandlungsverfahren wie Nassentaschung, chemi- sche Reduktion oder thermische Nachbehandlung ist es möglich, den Chrom (VI)-Gehalt zu vermindern. Bei der thermischen Nachbehandlung gilt dies auch für andere Schwermetalle.

Aschen aus Wirbelschichtfeuerungen

Auf die Besonderheit bei der Verwertung von Aschen aus Wirbelschichtfeue- rungen wurde im Zusammenhang mit den EBS-Kraftwerken schon hingewie- sen, aber es gibt noch andere typische Vertreter für diese Form der Feuerung.

Asche aus der Klärschlammverbrennung

Bei Etagenöfen werden Feststoffe zu 80 Prozent bis 90 Prozent als Asche ausgetragen und etwa 10 Prozent bis 20 Prozent als Flugasche. Bei Wirbel- schichtanlagen als überwiegend angewandte Verfahren erfolgt der Ascheaus- trag nahezu vollständig über die Abgase. Ein Teilstrom kann als Bettasche abgezogen werden.

Flugasche kann vor oder nach der Abkühlung aus dem Abgas abgezogen werden. Im ersten Fall ist sie in ihrer Zusammensetzung mit der Bettasche vergleichbar. Bei Ascheabscheidung nach der Kühlung des Abgases ist die Flugasche stärker mit kondensierten Schwermetallverbindungen und Spuren organischer Substanzen belastet.

Die Menge der Rückstandsarten hängt vom Verbrennungsverfahren, der Voll- ständigkeit des Ausbrands, der Menge der zugeführten Verbrennungsluft und der Zusammensetzung des Verbrennungsguts ab. Die Aschemenge ent- spricht bei vollständigem Ausbrand dem bei der Bestimmung des Glührück- stands der Schlamm-trockenmasse ermittelten Anteil. Bei der Verbrennung von Rohschlamm beträgt dieser etwa 30 Prozent, bei stabilisiertem Schlamm etwa 50 Prozent der Schlamm-trockenmasse. Die Schwermetallgehalte sind von der Qualität der in den Kläranlagen gereinigten Abwässer abhängig und variieren daher teilweise erheblich.

Technische Aspekte im Kontext der Nachhaltigkeit bei der Nutzung von Verbrennungsaschen und -schlacken

Ziel der Rostascheaufbereitung ist ganz allgemein die Gewinnung von Stof- fen, die dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt werden können, zum Bei- spiel Material für den Verkehrswegebau (TL Gestein-StB, LAGA M20 und an- dere), Eisenschrott und NE-Metalle. Weitere Verwertungsmöglichkeiten für die

Mineralik bestehen als Deponieersatzbaustoff auf obertägigen Deponien (DepV) oder als Verfüllmaterial im Bergversatz (VersatzV). Bereits sehr lange praktiziert wird die Abtrennung von Eisenschrott mittels Magnetscheidern, anfangs vor allem mit dem Ziel, Deponieraum zu sparen. In den Rostaschen sind allerdings auch Nichteisen-Metalle (NE-Metalle) wie Kupfer und Aluminium enthalten. Die Abtrennung von NE-Metallen gelingt mit der Wirbelstromtechnik. Inzwischen gibt es Aufbereitungsanlagen mit bis zu 12 Wirbelstromscheidern für unterschiedliche Korngrößen.

Bei einer Verwertung ist die Aufbereitung dem Einsatz der Rückstände entsprechend auszurüsten (beispielsweise Abtrennung von Eisen- und NE-Metallen, Siebung in verschiedenen Kornabstufungen, Zerkleinerung, Zwischenlagerung), wobei die Belange des Umwelt- und Gewässerschutzes zu berücksichtigen sind. Vor der Aufbereitung werden die Aschen in der Regel einer bis zu dreimonatigen Alterung unterzogen. Bei einer Verwertung im Straßen- und Wegebau sind die technischen Lieferbedingungen einzuhalten, die unter anderem auch die bautechnischen Eigenschaften beschreiben oder entsprechende Anforderungen definieren. Zur Erstellung bestimmter Festigkeiten und weiterer Eigenschaften werden dort verschiedene Kornfraktionen beziehungsweise Kornverteilungen gefordert. Üblicherweise werden die Fraktionen 0 bis 16 Millimeter, 16 bis 32 Millimeter und 6 bis 32 Millimeter eingesetzt. Technisch stehen eine Vielzahl von Verfahrenskombinationen zur Aufbereitung von Rostaschen zur Verfügung. Trockene Verfahren (Sieben, Brechen, Handsortierung und so weiter) können optional mit nassmechanischen Verfahrensschritten (Setzmaschinen, Nasssiebung, Schlammwässerung et cetera) ergänzt werden.

In Abhängigkeit von dem vorgeschalteten Abwasserreinigungsprozesses haben Klärschlammaschen aus der Verbrennung kommunaler Klärschlämme signifikante Gehalte an Phosphor und erhalten daher unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung künftig eine zunehmende Bedeutung als Phosphatquelle. Klärschlämme aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen dürfen nach einer Übergangsfrist nicht mehr in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau verwertet werden (Klärschlammverordnung). Die Betreiber dieser Anlagen sind zur Rückgewinnung des im Schlamm enthaltenen Phosphors verpflichtet, wenn der Klärschlamm einen Phosphorgehalt von 20 Gramm je Kilogramm Trockenrückstand (TR) oder mehr aufweist. Für Klärschlämme mit P-Gehalten größer als 40 Gramm je Kilogramm TR reicht alternativ die Absenkung der P-Konzentration um 50 Prozent aus. Die Rückgewinnung kann aus dem Schlamm oder aus der Verbrennungasche des thermisch vorbehandelten Klärschlammes erfolgen. Aus der Asche müssen mindestens 80 Prozent des Phosphoranteils zurückgewonnen werden.

Klärschlammaschen bestehen hauptsächlich aus den Elementen Calcium, Silizium, Eisen, Phosphor und Aluminium, die in oxidischer Form vorliegen. Typische mineralische Phasen in Klärschlammaschen sind Quarz, Hämatit, Calcit, Anhydrit, Whitlockit und Aluminiumphosphat. Die Phosphate befinden sich in den Klärschlammaschen über alle Partikelgrößen verteilt und lassen sich nicht durch mechanische oder nassmechanische Klassier- oder Sortierverfahren separieren. In der Regel müssen die stabilen anorganischen Phosphate in Klärschlammaschen durch Zugabe von Chemikalien zerstört werden, um sie aus der Aschematrix separieren zu können. Dies geschieht auf nasschemischem oder thermochemischem Weg. Der nasschemische Aufschluss schwerlöslicher Phosphate mit anorganischen Säuren entspricht weitgehend der Vorgehensweise der konventionellen Düngemittelproduktion auf Basis der

Rohphosphate. Analog zum Säureaufschluss bei der konventionellen Düngemittelproduktion wurden Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm-aschen entwickelt.

Insgesamt zeigt sich ein hoher technischer Standard bei Aufbereitung und Nutzung von Aschen und Schlacken aus der Verbrennung von Abfällen; inwiefern sich dieser auch in den aktuellen BVT-Schlussfolgerungen widerspiegelt, zeigen die nachfolgenden Ausführungen zu den aktuellen im Dezember 2019 veröffentlichten BVT-Schlussfolgerungen.

Die Nutzung von Verbrennungsaschen und -schlacken im Kontext der BVT-Schlussfolgerungen zur Abfallverbrennung

Die BVT-Schlussfolgerungen für die Abfallverbrennung wurden als Durchführungsbeschluss (EU) 2019/2010 der Kommission vom 12. November 2019 (L312/55) am 3.12.2019 in den Amtssprachen der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union veröffentlicht.

Es handelt sich dabei im Wesentlichen um das Kapitel 5 des BVT-Merkblattes, so dass die zentralen technischen Beschreibungen, die im Detail die in den Schlussfolgerungen des Durchführungsbeschlusses beschriebenen Techniken umfassender darstellen, nur in einer englischsprachigen Version verfügbar sind. Die weiteren Ausführungen gehen daher, in der aus dem Durchführungsbeschluss vorgegebene Reihenfolge, auf die für die Aschen- und Schlackehandlung maßgeblichen Schlussfolgerungen ein, wobei bei der Beschreibung der Emissionsparameter nicht im Detail auf Standardbedingungen und die Messverfahren eingegangen wird.

BVT 7

Die BVT besteht in der Überwachung des Gehalts an unverbrannten Stoffen in Schlacken und Rostaschen aus der Verbrennungsanlage mit mindestens der unten mit EN-Normen und der unten angegebenen Häufigkeit und in Übereinstimmung mit EN-Normen.

Parameter	Norm(en)	Mindesthäufigkeit der Überwachung	Überwachung verbunden mit
Glühverlust ⁽¹⁾	EN 14899 und entweder EN 15169 oder EN 15935	Einmal alle drei Monate	BVT 14
Gesamter organischer Kohlenstoff ⁽¹⁾ ⁽²⁾	EN 14899 und entweder EN 13137 oder EN 15936		
⁽¹⁾ Es wird entweder er Glühverlust oder der gesamte organischer Kohlenstoff überwacht. ⁽²⁾ Elementarer Kohlenstoff (z. B. bestimmt nach DIN 19539) kann vom Messergebnis abgezogen werden.			

Hierzu wurde bereits weiter oben auf die Verbindung zur nationalen Regelung im Rahmen der 17. BImSchV hingewiesen.

BVT 10

Die BVT zur Verbesserung der allgemeinen Umwelleistung der Rostaschebehandlungsanlage besteht darin, ein Output-Qualitätsmanagementsystem aufzubauen und zu implementieren (siehe BVT 1).

Beschreibung: Ein Output-Qualitätsmanagementsystem wird aufgebaut und implementiert, um sicherzustellen, dass der Output der Schlackenaufbereitung

den Erwartungen entspricht, wobei, soweit vorhanden, die bestehenden EN-Normen verwendet werden. Mit diesem Managementsystem kann auch die Leistung der Schlackenaufbereitung überwacht und optimiert werden.

BVT 14

Die BVT zur Verbesserung der gesamten Umwelleistung bei der Abfallverbrennung, zur Reduzierung des Gehalts unverbrannter Stoffe in Schlacken und Rostasche und zur Reduzierung von Emissionen in die Luft aus der Abfallverbrennung besteht in der Verwendung einer geeigneten Kombination der nachstehenden Techniken.

	Technik	Beschreibung	Anwendbarkeit
a.	Vermengen und Mischen von Abfällen	<p>Das Mischen und Vermengen von Abfällen vor der Verbrennung umfasst beispielsweise die folgenden Arbeitsschritte:</p> <p>Mischen mit dem Kran im Müllbunker,</p> <p>Verwendung eines Aufgabevergleichmäßigungssystems,</p> <p>Mischen von verträglichen flüssigen und pastösen Abfällen.</p> <p>In einigen Fällen werden feste Abfälle vor dem Mischen zerkleinert.</p>	<p>Nicht anwendbar, wenn eine direkte Feuerraumbeschildung aus Sicherheitsgründen oder aufgrund von Abfallmerkmalen erforderlich ist (z. B. infektiöse Klinikabfälle, Geruchsabfälle oder Abfälle, die anfällig für die Freisetzung flüchtiger Stoffe sind). Nicht anwendbar, wenn unerwünschte Reaktionen zwischen verschiedenen Abfallarten auftreten können (siehe BVT 9 f.).</p>
b.	Modernes Steuerungssystem	Verweis auf die technischen Kapitel	Allgemein anwendbar.
c.	Optimierung des Verbrennungsprozesses	Verweis auf die technischen Kapitel	Eine Optimierung der Planung ist bei bestehenden Verbrennungskesseln/ Feuerräumen nicht möglich.

BVT-assoziierte Umwelleistungsniveaus für unverbrannte Stoffe in Schlacken und Rostasche aus der Abfallverbrennung

BVT 23

Parameter	Einheit	BVT-ASSOZIIERTER UMWELTLEISTUNGSWERT
TOC-Gehalt in Schlacken und Rostasche ⁽¹⁾	Gew.-% (trocken)	1–3 ⁽²⁾
Glühverlust von Schlacken und Rostasche ⁽¹⁾	Gew.-% (trocken)	1–5 ⁽²⁾
<p>⁽¹⁾ Es gilt entweder der BVT-assoziierte Umwelleistungswert für den TOC-Gehalt oder der BVT-assoziierte Umwelleistungswert für den Glühverlust.</p> <p>⁽²⁾ Das untere Ende der Bandbreite kann erreicht werden, wenn Wirbelschichtöfen verwendet werden oder Drehrohröfen, die im verglasenden-Schlacke-Modus betrieben werden.</p>		

Die BVT zur Vermeidung oder Reduzierung diffuser Staubemissionen in die Luft aus der Behandlung von Schlacken und Rostaschen besteht in der Aufnahme nachstehender Maßnahmen zur Handhabung von diffusen Staubemissionen in die Luft in das Umweltmanagementsystem (siehe BVT 1):

- Identifizierung der wichtigsten Quellen diffuser Staubemissionen (zum Beispiel nach EN 15445),
- Festlegung und Durchführung angemessener Maßnahmen und Techniken zur Vermeidung oder Verminderung diffuser Emissionen in einem bestimmten Zeitrahmen.

BVT 24

Die BVT zur Vermeidung und Reduzierung diffuser Staubemissionen in die Luft aus der Aufbereitung von Schlacken und Rostaschen besteht in der Anwendung einer geeigneten Kombination der nachstehenden Techniken.

	Technik	Beschreibung	Anwendbarkeit
a.	Einhausung/ Kapselung von Aggregaten/ Geräten	Einhausung/Kapseln von potenziell staubenden Arbeitsgängen (z. B. Mahlen, Sieben) und/oder Kapselung von Förderbändern und Hebewerken. Das Einhausung kann auch durch die Installation aller Geräte in einem geschlossenen Gebäude erfolgen.	Die Installation der Geräte in einem geschlossenen Gebäude ist bei mobilen Behandlungsgeräten unter Umständen nicht anwendbar.
b.	Begrenzung der Abwurfhöhe	Anpassung der Abwurfhöhe bei variierender Höhe der Haldenschüttung, sofern möglich automatisch (z. B. Förderbänder mit einstellbarer Höhe).	Allgemein anwendbar.
c.	Windschutz von Lagern und Halden	Schutz von Schüttgutlagern oder Halden mit Abdeckungen oder Windschutzeinrichtungen wie Abschirmungen, Windschutzmauern/-wände oder Vertikalbegrünung/Bepflanzung und sachgerechte Ausrichtung der Lagerflächen unter Berücksichtigung der vorherrschenden Windrichtung.	Allgemein anwendbar.
d.	Besprühen mit Wasser	Installation von Wassersprühsystemen an den Hauptquellen für diffuse Staubemissionen. Die Befeuchtung von Staubpartikeln begünstigt deren Agglomeration und den Niederschlag des Staubes. Diffuse Staubemissionen von Halden werden durch eine entsprechende Befeuchtung der Lade- und Entladepunkte oder der Halden selbst reduziert.	Allgemein anwendbar.
e.	Optimierung des Feuchtigkeitsgehalts	Optimierung des Feuchtigkeitsgehalts der Schlacken/Rostaschen auf das für eine effiziente Rückgewinnung von Metallen und mineralischen Stoffen erforderliche Niveau bei gleichzeitiger Minimierung der Staubfreisetzung.	Allgemein anwendbar.
f.	Betrieb bei Unterdruck	Behandlung von Schlacken und Rostaschen in geschlossenen Anlagen oder Gebäuden (siehe Technik a) unter Unterdruck, um eine Behandlung der Abluft mit einer Entstaubungstechnik (siehe BVT 26) als gefasste Emissionen zu ermöglichen.	Nur anwendbar für trocken ausgetragene und anderweitig feuchtigkeitsarme Schlacke/Rostasche.

BVT 26 BVT-assoziierter Emissionswert für gefasste Staubemissionen in die Luft aus der eingehausten Aufbereitung von Schlacken und Rostaschen mit Luftabsaugung

Parameter	BVT-assoziierter Emissionswert (mg/Nm ³)	Mittelungszeitraum
Staub	2-5	Mittelwert über den Zeitraum der Probenahme

Die zugehörige Überwachung ist in BVT 4 angegeben

Ressourceneffizienz

BVT 35

Die BVT zur Steigerung der besteht in der Beförderung und Behandlung von Rostaschen getrennt von Abgasreinigungsrückständen.

BVT 36

Die BVT zur Steigerung der Ressourceneffizienz bei der Behandlung von Schlacken und Rostaschen besteht in der Anwendung einer Kombination der nachstehenden Techniken auf der Grundlage einer Risikobewertung in Abhängigkeit von den gefährlichen Eigenschaften der Schlacken und Rostaschen.

In der Darstellung auf der rechten Seite unberücksichtigt geblieben sind die Emissionsbandbreiten bei der kontinuierlichen oder chargenweisen Einleitung von Abwasser aus der Aufbereitung von Aschen und Schlacken, da entsprechenden Techniken ist im Aufbau sind.

Fazit

Schaut man auf die Themen Verbrennungsrückstände und deren Behandlung, so finden sich in dem im letzten Jahr veröffentlichten BVT-Schlussfolgerungen zur Abfallverbrennung einige Hinweis und technische Ansätze, die nicht nur die emissionsmindernden Aspekte, sondern auch Material- und Ressourceneffizienz betreffen. Bei Letzteren ist es allerdings unerlässlich, sich auch die englischsprachigen Kapitel des BVT-Merkblattes vorzunehmen. Hier wird national vieles in der VDI 3460 „Thermische Abfallbehandlung“ Blatt 3 „Behandlung von Rückständen“ nach dessen Fertigstellung zu finden sein.

Bei den nationalen Vorgaben für die rechtsverbindliche Umsetzung der emissionsbezogenen BVT-Schlussfolgerungen zur Abfallverbrennung mit dem thematischen Schwerpunkt der Rückstandsbehandlung wird die im europäischen Rahmen vorgenommene thematische Trennung zum BVT-Merkblatt Abfallbehandlung wieder aufgehoben und die wasserseitigen Anforderungen gemeinsam im Entwurf zum Anhang 27 zur Abwasserverordnung zusammengefasst. Gleiches gilt für die emissionsmindernden Anforderungen an luftseitige Emissionen aus der Asche- und Schlackenaufbereitung, die gemeinsam mit anderen Abfallbehandlungstechniken in einer Technischen Verwaltungsvorschrift national geregelt werden. Allerdings ist in beiden Fällen die nationale Umsetzung noch nicht abgeschlossen.

	Technik	Beschreibung	Anwendbarkeit
a.	Sieben und Klassieren	Schwingsiebe, Schüttelsiebe und Drehsiebe werden vor der Weiterverarbeitung für eine erste Unterteilung der Schlacken und Rostaschen nach Kornklassen eingesetzt.	Allgemein anwendbar.
b.	Brechen	Mechanische Behandlung zur Vorbereitung von Materialien für die Rückgewinnung von Metallen oder für die nachfolgende Verwendung dieser Materialien, z. B. im Straßen- und Erdbau.	Allgemein anwendbar.
c.	Windsichtung	Die Windsichtung wird verwendet, um die leichten, unverbrannten Fraktionen, die mit der Schlacke und Rostasche vermischt sind, zu sortieren, indem leichte Fragmente weggeblasen werden. Ein Rütteltisch transportiert die Rostasche zu einer Rutsche, wo das Material durch einen Luftstrom fällt, der unverbrannte leichte Materialien wie Holz, Papier oder Kunststoff auf ein Abtransportband oder in einen Behälter bläst, damit sie wieder der Verbrennung zugeführt werden können.	Allgemein anwendbar.
d.	Rückgewinnung von Eisen- und Nichteisenmetallen	Es werden verschiedene Techniken verwendet, einschließlich: magnetische Trennung von Eisenmetallen, Wirbelstromtrennung von Nicht-Eisenmetallen, Induktionssystem zur Abtrennung sämtlicher Metalle.	Allgemein anwendbar.
e.	Alterung	Der Alterungsprozess stabilisiert den mineralischen Anteil der Schlacke durch Aufnahme von atmosphärischem CO ₂ (Karbonisierung), Abfließen von überschüssigem Wasser und Oxidation. Schlacken und Rostaschen werden nach der Rückgewinnung von Metallen mehrere Wochen lang im Freien oder in überdachten Gebäuden gelagert, in der Regel auf versiegelten Flächen, so dass Drainage- und Abflusswasser zur Behandlung gesammelt werden kann. Die Halden können befeuchtet werden, um den Feuchtigkeitsgehalt zu optimieren und so das Auslaugen von Salzen und den Karbonisierungsprozess zu begünstigen. Die Befeuchtung der Schlacken und Rostaschen trägt auch dazu bei, Staubemissionen zu vermeiden.	Allgemein anwendbar.
f.	Waschen	Das Waschen von Schlacken und Rostaschen ermöglicht die Herstellung eines Recyclingmaterials mit minimaler Auslaugbarkeit von löslichen Stoffen (z. B. Salzen).	Allgemein anwendbar.



Literatur

- [1] DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2019/2010 DER KOMMISSION vom 12. November 2019 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Abfallverbrennung Amtsblatt der Europäischen Union 3.12.2019 L 312/85.
- [2] BDE, BDSV, bvse, ITAD, PlasticsEurope, VDM, VDMA, VHI, and VKU, Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft, Einblicke und Aussichten, 2018.
- [3] ITAD, Jahresbericht 2018, <https://www.itad.de/ueber-uns/mehr/jahresbericht/itad-jahresbericht-2018.pdf>. ITAD – Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V, Düsseldorf, 2018.
- [4] Deike, R., Smaha, B., Vennemann, B., Knöpfelmacher, A., and Hoenig, V., Kann die mineralische Fraktion der Feinfraktion der MVA-Schlacke in der Zementindustrie als Rohstoff eingesetzt werden? in: E. Thomé-Kozmiansky and S. Thiel (editors), 2019
- [5] Müller, C., and Belevi, H., Differenzierung von organischem und elementarem Kohlenstoff in Rückständen der Müllverbrennungssaschen, Müll und Abfall 37(5) (2005) 352-357.
- [6] Bayuseno, A.P., and Schmahl, W.W., Understanding the chemical and mineralogical properties of the inorganic portion of MSWI bottom ash, Waste Manage 30(8–9) (2010) 1509-1520.
- [7] Dijkstra, J.J., Meeussen, J.C.L., Van der Sloot, H.A., and Comans, R.N.J., A consistent geochemical modelling approach for the leaching and reactive transport of major and trace elements in MSWI bottom ash, Appl Geochem 23(6) (2008) 1544-1562.
- [8] Reichenberger, H.-P., Gleis, M., Quicker, P., Mocker, M., and Faulstich, M., Feste Rückstände aus Verbrennungsanlagen, Teil II, Müll und Abfall(9) (2008) 468–473.



Autor

Dipl.-Ing. Markus Gleis
Umweltbundesamt
Fachgebiet III 2.4
„Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer“
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
markus.gleis@uba.de
www.uba.de

Abb. linke Seite:
Schlackelagerung,
Quelle: Breer



Rohschlacke,
Quelle: Breer

Verfahren zur Aufbereitung von Schlacken aus Hausmüllverbrennungsanlagen (HMV-Schlacken)

Dr. Georg Rottlaender

Bei der Verbrennung von kommunalen Abfällen und Gewerbeabfällen verbleiben in der Regel zwischen 20 und 30 Prozent überwiegend mineralische Reste, die gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) als Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen, bezeichnet werden. Üblicherweise werden sie als Schlacken aus Hausmüllverbrennungsanlagen (HMV-Schlacken) bezeichnet.

Die HMV-Schlacken bestehen aus einem Gemisch, das je nach Input der HMV-Anlage zwischen 5–10 Prozent Eisen (Fe-Metalle) sowie circa 2–4 Prozent Nichteisen-Metalle (NE-Metalle) enthält. Weiterhin enthält die HMV-Schlacke noch geringere Anteile an unverbrannten Abfällen (circa 1–3 Prozent), die bei einer weiteren Verwertung störend auftreten können. Hauptbestandteile der HMV-Schlacken sind die inerten Bestandteile, die aus Sand, Glas, Keramik, Porzellan und Ähnlichem bestehen.

In spezialisierten Aufbereitungsanlagen werden die HMV-Schlacken behandelt, um einerseits die wertvollen Fe- und NE-Metalle zurückzugewinnen und

andererseits die verbleibenden mineralischen Reste zu konditionieren, so dass sie als Ersatzbaustoff verwertet werden können.

Die HMV-Schlacken werden überwiegend über einen Nassentschlacker nach der Verbrennung ausgetragen und mit einer Feuchte von 20 – 30 Prozent in die HMV-Schlackeaufbereitungsanlage (SA-Anlage) geliefert. Zwecks Entwässerung und Realisierung der Karbonatbildung werden die HMV-Schlacken offen unter Luftzutritt 4–6 Wochen gelagert. In diesem Zeitraum verändern sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften der HMV-Schlacken massiv, insbesondere werden leicht lösliche Schwermetalle in schwerer lösliche Metallverbindungen umgewandelt. Leider werden bei diesem Prozess aber auch NE-Metallteilchen an mineralische Teilchen angelagert beziehungsweise umschlossen.

Nach dem Trocknungsprozess verläuft die Behandlung in der Regel wie folgt: Die HMV-Schlacken werden über einen Gitterrost der SA-Anlage zugeführt. Der Gitterrost hält sperrige Bestandteile größer 50 Zentimeter (bei einigen Anlagen auch 80 Zentimeter) zurück, die mittels Magnetbagger (bei Grobschrott) beziehungsweise Greifer (Reifen, Baumstrünke oder ähnlich) entfernt werden.

Die separierten organischen Bestandteile werden nach Zerkleinerung an die Verbrennungsanlage zurückgeliefert.

Die verbleibende HMV-Schlacke wird über ein Sieb in eine Fraktion größer 32 Millimeter und eine Fraktion kleiner 32 Millimeter getrennt. Natürlich kann hier der Siebschnitt variieren.

Die Fraktion größer 32 Millimeter wird durch ein Lesehaus geführt, in dem manuell Wertstoffe wie VA-Stahl oder Messing aussortiert werden. Störstoffe wie Holz und Papier werden ebenfalls ausgelesen. Das mineralische Grobkorn wird nach Durchlaufen einer Windsichterstation zur weiteren Entfernung von organischem Material (Papier, Folien...) separat erfasst und in der Regel nach Zerkleinerung erneut dem Prozess zugeführt.

Die verbleibenden mineralischen Anteile werden durch diverse Siebungen in mehrere Kornspektren klassiert. Die einzelnen Kornspektren werden durch Überbandmagnete und Trommelmagnete von den enthaltenen Fe-Metallen befreit.

Die einzelnen Kornspektren werden anschließend über NE-Scheider gefahren, die aus der mineralischen Fraktion die nicht magnetischen Metalle (überwiegend Aluminium, Kupfer, Blei...) separieren. Vor der weiteren Vermarktung dieser Metalle werden diese in Spezialanlagen in eine Leicht- und eine Schwerfraktion getrennt. Je schärfer hier die einzelnen Kornspektren definiert sind, umso besser erfolgt die anschließende Rückgewinnung der NE-Metalle am NE-Scheider. Auch sollte die Bandbreite des Kornspektrums der jeweiligen Leistungsfähigkeit des NE-Scheiders angepasst sein.

Die mineralischen Reste, die als Ersatzbaustoff verwendet werden können, müssen vor Einsatz mehr als drei Monate gelagert werden, um den gesetzlichen Anforderungen zu entsprechen. Klassische Einsatzgebiete sind hier Frostschutzschichten im Straßenbau und bei Parkplätzen, Lärmschutzwälle oder auch Maßnahmen im Deponiebau. Vor Einsatz der Materialien ist bei Baumaßnahmen außerhalb von Deponien eine wasserrechtliche Einbaugenehmigung erforderlich, sofern es sich um eine private Baumaßnahme handelt.



Unverbrannte Bestandteile und Feinschrott,
Quelle: Rottlaender

Neben dem vorgenannten beschriebenen Behandlungsverfahren gibt es noch weitere Verfahren, die in leicht veränderter Form versuchen, die Metallausbeute bei der Behandlung von HMV-Schlacken zu optimieren.

Trockenaustrag von HMV-Schlacken

Auf den üblichen Nassentschlacker wird hier verzichtet und die HMV-Schlacke wird direkt unter besonderen Maßnahmen zur Staubvermeidung der Behandlung zugeführt. Eine Einbindung von NE-Metallen in mineralische Agglomerate wird somit minimiert und es werden höhere Ausbeuten an NE-Metallen erwartet.

Hochgeschwindigkeitsprallaufschluss

Die Schlacke wird nach ausreichender Ablagerung einem sogenannten Rotac-Zerkleinerer zugeführt, der im Hochgeschwindigkeitsprallaufschluss die Metalle von der anhaftenden Mineralik schonend trennt. Eine bessere Zugänglichkeit der NE-Metalle auf den NE-Scheidern ist somit gegeben.

Vorgenanntes Verfahren findet auch bei der Trennung von NE-Metallgemischen der Behandlungsanlage Stratego der CC-Gruppe in Krefeld statt.

Waschverfahren

Insbesondere in den Niederlanden wurden in den letzten Jahren Anstrengungen unternommen, Behandlungsanlagen zu implementieren, die die mineralischen Reste durch Waschverfahren in Qualitäten überführt, so dass sie in Betonwaren natürliche Rohstoffe ersetzen können. Die Ausbeuten an NE-Metallen sollen in diesen Verfahren erheblich besser sein. Die Kosten der Behandlung liegen aufgrund der aufwändigen Nachreinigung der Abwässer deutlich über den Kosten der trockenen Aufbereitung von HMV-Schlacken.

Inwieweit die genannten jeweiligen Verfahren Vor- und/oder Nachteile gegenüber den herkömmlichen Verfahren bieten, hängt insbesondere von den qualitativen Eigenschaften der produzierten mineralischen Reste ab. Da diese mineralischen Reste bis zu 80 Prozent der Inputmengen ausmachen, wird zukünftig sicherlich auf diesen Part der Behandlung ein höheres Augenmerk gelegt werden, nachdem in den letzten Jahren die Rückgewinnung der NE-Metalle und anschließende Aufbereitung Ziel vieler Projekte war.

Eine Reihe von Projekten wird hier in Zusammenarbeit mit der Zementindustrie durchgeführt und es bleibt abzuwarten, ob für die in Deutschland anfallenden circa 6 Millionen Tonnen HMV-Schlacken sinnvolle Einsatzgebiete unter Schonung natürlicher Ressourcen gefunden werden.



Hochgeschwindigkeitsprallaufschluss,
Quelle: Rottlaender



Autor

Dr. Georg Rottlaender
C.C. Umwelt GmbH
Bataverstr. 25
47809 Krefeld
g.rottlaender@cc-gruppe.com
www.cc-gruppe.com

Abb. rechte Seite:
Lärmschutzwall
aus HMV-Schlacke,
Quelle: Breer





Stratego-Anlage,
Quelle: Breer

Der Weg zu sauberen Metallen aus der Aufbereitung von Hausmüllverbrennungsschlacken (HMV-Schlacken) - Stratego

Dr. Georg Rottlaender

Was wird aus dem Deckel des Joghurtbechers, der sich in die rote Tonne verirrt hat? Was passiert mit dem Kupferdrähtchen, das sich einer händischen Sortierung widersetzt? Auch diese Materialien werden in Verbrennungsanlagen bei ausreichend hohen Temperaturen thermisch hygienisiert.

Die bei der Verbrennung entstehenden Schlacken enthalten die nicht brennbaren metallischen Reste und diese werden in HMV-Schlackeaufbereitungsanlagen zurückgewonnen.

Nach Angaben ITAD enthalten die rund sechs Millionen Tonnen Rohschlacke circa neun Prozent Metalle, von denen etwa 3 Prozent NE-Metalle sind (ITAD, Jahresbericht 2019). Wir sprechen also von etwa 360.000 Tonnen Fe-Metallen und circa 180.000 Tonnen NE-Metallen.

Bei den so rückgewonnenen Nichteisen-Metallgemischen handelt es sich in der Regel um Aluminium und Kupfer, die in der weiteren Vermarktung eine besondere Rolle spielen.



Rohschlacke,
Quelle: Rottlaender



Um hier das Potential an vermarktbaren Metallen zu erhöhen und um die Qualität der gewonnenen Metalle zu verbessern, plante die CC-Gruppe im Verbund mit dem Ingenieurbüro H.U.R. und der TU Hamburg eine Pilotanlage zur Aufbereitung von NE-Metallgemischen, insbesondere im Feinbereich.

NE-Feinabscheider,
Quelle: Breer

Nach Planung und Genehmigungsphase errichtete die CC-Gruppe in 2019 eine entsprechende Aufbereitungsanlage für die Behandlung von Nichteisenmetallen aus der Aufbereitung von Hausmüllverbrennungsschlacken.

Zuvor wurden alle vier Standorte der Gruppe durch NE-Scheider im Feinbereich nachgerüstet, so dass auch die NE-Gemische im Kornspektrum von 0–3 mm über einen geeigneten NE-Scheider gefahren werden können. In der Regel konnten hierbei circa 0,9 Prozent zusätzliche Mengen (brutto) an NE-Gemischen aus den HMV-Schlacken zurückgewonnen werden.

Da es sich hierbei um eine verbesserte Rückgewinnung von strategisch wichtigen Metallen handelt, wurde das Projekt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Projektträger Jülich im r+Impuls) gefördert. Projektbeteiligte waren hier neben der CC-Gruppe die H.U.R. aus Hamburg sowie die TU Hamburg.

Aufgrund der erfolgreichen Umsetzung der innovativen Technik und der damit verbundenen erheblich verbesserten Aufbereitung von NE-Metallgemischen hat die CC-Gruppe das Verfahren zum Patent angemeldet.

Die Anlage weist eine Verarbeitungskapazität von 25.000 Tonnen pro Jahr auf und kann zu circa 50 Prozent durch eigene Mengen aus der CC-Gruppe beliefert werden. Verarbeitet werden in der Anlage nur die Gemische der Kornspektren 0–20 mm, da in diesen Gemischen der Anteil an Kupfer und Edelmetallen eine Aufbereitung sich entsprechend lohnt. Die Anlage selbst kann in die Regel durch drei Mitarbeiter gefahren werden, da der Betrieb nach Einstellung der jeweiligen Parameter fast automatisch läuft.

Zielsetzung der Aufbereitungsanlage ist es, NE-Gemische aus der HMV-Schlackenaufbereitung in möglichst reine Leicht- und Schwerfraktionen zu trennen. NE-Gemische aus HMV-Schlackenaufbereitung weisen noch zwischen 30 Prozent und 60 Prozent mineralische Anteile auf, die vor der nachfolgenden Behandlung zu entfernen sind.



NE-Metallgemisch,
Quelle: Rottlaender

Hochgeschwindigkeitsprallverkleinerer,
Quelle: Breer



Da die angelieferten Gemische in der Regel einen Feuchtegehalt aufweisen, der die anschließende Abtrennung auf einem NE-Scheider erschwert, so dass hier Metallverluste auftreten können, erfolgt eine Trocknung der Gemische in einer Drehtrommel im Gleichstromverfahren bei circa 80 Grad Celsius.

Die getrockneten NE-Metallgemische werden in einen speziell für diesen Zweck konstruierten Hochgeschwindigkeitsaufprallzerkleinerer (Rotac) gegeben. In diesem Prozess werden die Metalle von mineralischen Anhaftungen befreit und die mineralischen Anteile werden zerkleinert. Die anschließende Trennung der Gemische erfolgt auf Kaskadenabscheidern und produziert NE-Gemische mit einem Anteil von kleiner 10 Prozent Mineralik (relativ viel Glas, Keramik), das heißt in den nachfolgenden Schritten werden konzentrierte NE-Gemische verarbeitet.

Die Aufgabe und Behandlung der Metalle erfolgt jeweils in weitestgehend geschlossenen Aggregaten (Taumelsieb, Rotac, Kaskadenscheider). Die erforderlichen Förderbänder sind weitgehend geschlossen ausgeführt, so dass durch die vorhandene effektive Staubabsaugung keine wesentlichen Staubemissionen auftreten. Voraussetzung eines staubfreien Betriebs ist allerdings auch, dass eine tägliche Reinigung des Hallenbodens erfolgt und dass die Materialien entsprechend sorgsam gehandelt werden.

Die Anlage verarbeitet überwiegend NE-Metallgemische im Kornspektrum 0–10 Millimeter, da in diesem Bereich die höchste Metallausbeute an Edelmetallen und Kupfer gesehen wird. Eine Erweiterung des Kornspektrums befindet sich in der Probephase.

Die vorhandenen Trenntische ermöglichen eine optimale Auftrennung der Gemische in eine leichte Fraktion (überwiegend Aluminium) sowie eine Schwerfraktion, die im Schwerpunkt Kupfer enthält.

Aufgrund der hohen Reinheit der produzierten Aluminiumgranulate sind diese ohne weiteren Aufbereitungsschritt direkt an Aluminium erzeugende beziehungsweise verarbeitende Betriebe vermarktbar.

Bedingt durch den weltweiten Rückgang an Produktionsleistung aufgrund der Corona-Pandemie sind hier im ersten Halbjahr die erzielbaren Erlöse deutlich



Leichtfraktion aus
NE-Gemisch und
Schwerfraktion aus
NE-Gemisch,
Quelle: Rottlaender



Trenntische,
Quelle: Breer

nach unten gegangen, so dass zum Teil nur Preise von unter 400 Euro je Tonne im ersten Halbjahr 2020 erzielt wurden. Besserung ist in Aussicht.

Die ebenfalls in diesem Produktionsprozess erzeugte Schwerfraktion, die in der Regel zu 60 bis 70 Prozent aus Kupfer besteht, muss einem weiteren Trenn- und Reinigungsprozess unterzogen werden. Dies erfolgt in der Regel in Schmelzbetrieben, die in der Lage sind, reines Kupfer, Silber und auch Gold aus den angelieferten Konzentraten zu erzeugen.

Weiterhin relevante Metalle sind hier Platin und insbesondere Palladium, für die auch zu Coronazeiten sehr hohe Vergütungen gezahlt werden. Die oben genannten Mindererlöse bei der Vermarktung von Aluminium werden durch die gestiegenen Preise bei den Edelmetallen mehr als deutlich kompensiert.

Den vorangegangenen Zeilen kann man entnehmen, dass die vertiefte Aufbereitung durchaus profitabel ist.

Unter dem Aspekt, dass beim Einsatz von Sekundäraluminium im Vergleich zum Primäraluminium circa 90 Prozent der für die Herstellung benötigten Energie und des damit verbundenen CO₂-Ausstoßes eingespart werden, leistet unsere Behandlungsanlage somit einen erheblichen Beitrag zur Klimaverbesserung. Beim ebenfalls rückgewonnenen Kupfer beträgt das Einsparpotential immerhin noch 60 Prozent und stellt somit eine nicht vernachlässigbare Größe dar.

Um zum Ausgangspunkt zurück zu kommen: Für mich gehört der verschmutzte Joghurt-Becher mit Aluminiumdeckel in die thermische Behandlung, da dann auch die weitere Behandlung unter Erhalt des wertvollen Metalls erfolgt. Das feine Kupferdrähtchen, das ohne störenden Kunststoffmantel sauber aufbereitet wird, kann somit schon bald wieder als neues Kabel glänzen.



Silber aus NE-Gemisch,
Gold aus NE-Gemisch und
aussortierte Münzen,
Quelle: Rottlaender



Autor

Dr. Georg Rottlaender
C.C. Umwelt GmbH
Bataverstr. 25
47809 Krefeld
g.rottlaender@cc-gruppe.com
www.cc-gruppe.com



Aufbereitete Hausmüllverbrennungsasche der Marke granova,
Quelle: REMEX GmbH

Vom Abfall zum Baustoff

Margarethe Dettmar

Wie Hausmüllverbrennungsasche als Ersatz- beziehungsweise Sekundärbaustoff wertvolle Ressourcen schonen, Primärstoffe erfolgreich ergänzen und zugleich Deponieräume schonen kann. Die erfolgreiche Umsetzung anhand zweier Praxisbeispiele.

Natürliche mineralische Baustoffe wie Kies, Sand und Splitt sind unverzichtbare Rohstoffe, die in erster Linie für eine funktionierende Bauwirtschaft benötigt werden.

Der Abbau von Primärrohstoffen wird ergänzt durch den Einsatz von rund 100 Millionen Tonnen Sekundärrohstoffen pro Jahr. In Abhängigkeit von der wirtschaftlichen Entwicklung wird die Nachfrage nach Primärrohstoffen bis 2035 in einer Spanne von knapp 540 Millionen Tonnen bis 630 Millionen Tonnen pro Jahr prognostiziert.

Begriffserklärung

Rostasche, Rohasche und Hausmüllverbrennungsasche

Nach der Verbrennung von Siedlungsabfällen verbleiben feste Rückstände – die so genannte Rostasche oder Rohasche. Wird diese Asche aufbereitet, spricht man von Hausmüllverbrennungsasche (HMV-Asche).

Eingesetzt werden die Mineralstoffe, um zum Beispiel ausreichend Wohnraum zu schaffen oder notwendige Infrastrukturen zu realisieren. Es werden 75 Prozent der wertmäßigen Steine- und Erden-Produktion für den Hoch- und Tiefbau sowie für Sanierungsarbeiten genutzt.

Die Erkenntnis über die begrenzte Verfügbarkeit der mineralischen Ressourcen hat bereits früh den Blick auf die Nutzung von Ersatz- beziehungsweise Sekundärbaustoffen gelegt. Ein Beispiel ist der Einsatz von Hausmüllverbrennungsasche (kurz: HMV-Asche), die bei der thermischen Verwertung von Hausmüll entsteht. Ihr Einsatz kann den drohenden Versorgungsgaps und begrenzten Ressourcen einiger Gesteinskörnungen entgegenwirken und leistet somit einen relevanten Beitrag zum Schutz der Umwelt und ist darüber hinaus auch noch wirtschaftlich.

Richtig aufbereitet, schont Hausmüllverbrennungsasche Deponieräume und wird zu einem Ersatzbaustoff, der die knappen Ressourcen der Primärstoffe schont – eine win-win-Situation.

Wird HMV-Asche hochwertig aufbereitet, entsteht ein „neues“ Material, das als Ersatzbaustoff beziehungsweise Sekundärbaustoff zum Beispiel für Straßen-, Erd- und Deponiebau sowie Beton und Asphalt verwendet werden kann. Obwohl die Bezeichnung als „Ersatzbaustoff“ beziehungsweise „Sekundärbaustoff“ mindere Qualität oder Einschränkungen vermuten lassen könnte, ist dies nicht der Fall, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen.

Denn abhängig von der Qualität der Aufbereitung, ist dieser Ersatzbaustoff bei den bautechnischen Anforderungen bereits heute mit Primärstoffen vergleichbar. Und Hersteller sehen noch große Potenziale für die Weiterentwicklung in der Zukunft. Die Vorteile der HMV-Asche liegen bereits heute auf der Hand:

- sie ist bei den bautechnischen Anforderungen bereits heute mit Primärstoffen vergleichbar,
- als Sekundärbaustoff schont sie die begrenzten Primärstoff-Ressourcen,
- HMV-Asche ist ausgesprochen wirtschaftlich,
- sie schont die in Deutschland knappen und damit wertvollen Deponieflächen,
- sie ist umweltverträglich und deren Einsatz nachhaltig.

„Die Weiterentwicklung der Verwertung und die Anwendung von Hausmüllverbrennungsasche wird für Europa in Zukunft immer notwendiger Bestandteil der Kreislaufwirtschaft sein.“ (Stephan Böcker, REMEX Oberhausen GmbH)

Vom Abfall zum Baustoff: wie Hausmüllverbrennungsasche entsteht

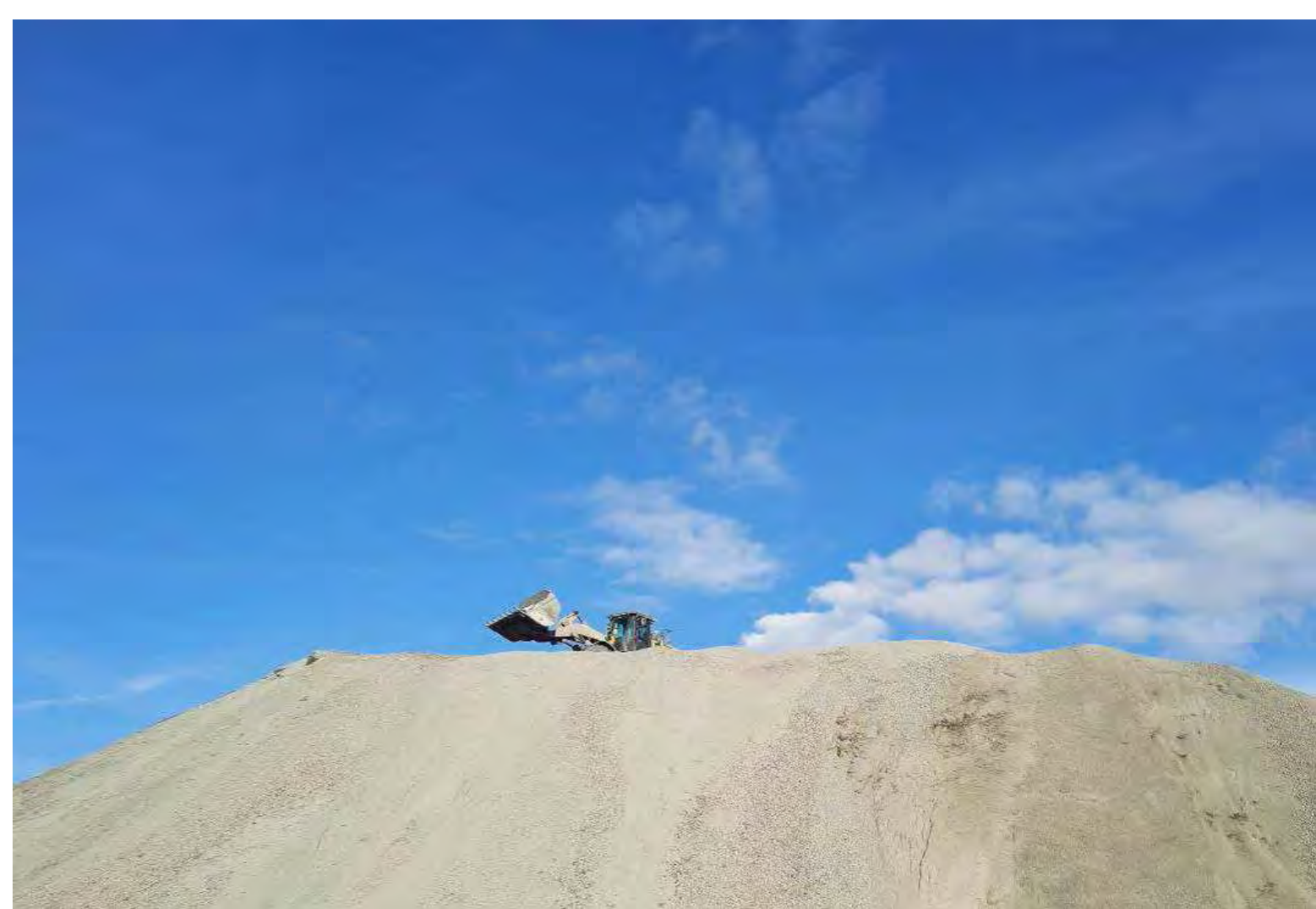
Nach der Verbrennung beziehungsweise thermischen Verwertung der Siedlungsabfälle zur so genannten Rostasche folgt deren Aufbereitung in drei Schritten:

1. mechanische Klassierung nach geometrischen Eigenschaften,
2. automatische Sortierung und Aufteilung nach stofflichen Eigenschaften, wobei Eisen- und Nichteisen-Metalle sowie organische Fremdbestandteile voneinander separiert werden,
3. temporäre Lagerung und kontrollierter Reifungsprozess von mindestens drei Monaten. Nach dieser Zeit erfüllt die HMV-Asche aufgrund der Mineralbildungs- und Mineralneubildungsprozesse die wasserwirtschaftlichen Anforderungen als Ersatzbaustoff.

Ergebnis: Aufgrund ihrer stofflichen, chemischen und geometrisch-physikalischen Zusammensetzung wird die HMV-Asche entsprechenden Güteklassen zugeordnet und als Baustoff in unterschiedlichen Lieferkörnungen in der Bauwirtschaft eingesetzt.



Viele Schritte: Von der Verbrennung zu Rostasche, Klassierung, Sortierung und Lagerung bis zur Auslieferung als Sekundärbaustoff, Quelle: REMEX GmbH



Hauptanwendungsgebiete von HMV-Asche

- Lärmschutzwall
- Damm, Hinterfüllung, Anschüttung
- Straßenunterbau
- Frostschutzschichten ausgewählter Bauklassen
- Schottertragschichten ausgewählter Bauklassen

Rechtliche Rahmenbedingungen für die Anwendung von HMV-Asche

Die Anwendung von Ersatzbaustoffen, hier im Besonderen HMV-Asche im Straßen- und Erdbau, stellen eine besondere Herausforderung dar. Denn Umfang und Komplexität der Regelwerke machen es Anwendern nicht leicht, die gewünschten Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes umzusetzen. Bauunternehmen, Bauträger, Planer, Ingenieure und ausschreibende Stellen der öffentlichen Hand müssen sich, wenn sie Ersatzbaustoffe verwenden wollen, sowohl mit dem technischen Regelwerk als auch mit den Umweltvorgaben auseinandersetzen. Da diese von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich sein können, ist der zeitliche Aufwand, sich mit dem Thema vertraut zu machen, entsprechend hoch.

„Der ordnungsgemäße Einsatz von HMV-Asche ist durch die Einhaltung der technischen und umweltrelevanten Vorschriften sichergestellt.“
(Stephan Böcker, REMEX Oberhausen GmbH)

Umweltrelevante Regelwerke

Beim Einsatz von Ersatzbaustoffen wie Hausmüllverbrennungsasche sind neben den technischen Vorgaben die entsprechenden Umweltvorschriften zu beachten. Dabei haben bei der Verwertung dieser Stoffe die Schutzgüter Grundwasser und Boden Priorität – so wie es auch im Wasserhaushaltsgesetz

HMV-Asche in der Körnunggröße 0-32 Millimeter fertig zur Auslieferung und
HMV-Asche in der Körnunggröße 0-32 Millimeter einsatzbereit,
Quelle: REMEX GmbH

granova – ein zukunftsfähiger und nachhaltiger Baustoff der Kreislaufwirtschaft.

Unter dem Namen granova bietet die REMEX GmbH aufbereitete HMV-Asche an und leistet damit einen relevanten Beitrag im Rahmen der Kreislaufwirtschaft.

(WHG), im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und in der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) verankert ist.

Zurzeit gibt es keine bundeseinheitliche Regelung der Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Ersatzbaustoffen. Dieses ist mit der Mantel- beziehungsweise Ersatzbaustoffverordnung weiterhin in Arbeit (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, Drucksache 566/7 des Bundesrats (www.bundesrat.de), datiert 17.07.2017). Stattdessen gibt es länderspezifische Regelungen. Viele Bundesländer arbeiten in Anlehnung an die Mitteilung M20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA M20). Einige Bundesländer haben eigene Regelungen, zum Beispiel hat NRW eine Reihe von Erlassen zu diesem Thema als rechtliche Grundlage geschaffen.

Im Rahmen der Anwendung von Ersatzbaustoffen in den einzelnen Bundesländern müssen also die dort geltenden rechtlichen Vorgaben eingehalten werden. Anhaltspunkte für mögliche Ergänzungen oder Änderungen im Vergleich zur LAGA M20 beziehungsweise zu den Regelungen in anderen Bundesländern finden sich auf den Webseiten der jeweiligen Behörden.

Bundeseinheitliche Regelungen

Wir erwarten, dass nun auch der Verordnungsprozess zur Mantelverordnung im Jahr 2021 abgeschlossen wird und damit ein neues bundesweit einheitliches Regelwerk zur Verfügung steht. Es ist vorgesehen, dass diese Verordnung zwei Jahre nach ihrer Verkündung (erwartet 2023) in Kraft treten wird.

Technische Regelwerke

Die nationalen technischen Regelwerke des Straßen- und Verkehrswesens werden durch die Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (kurz FGSV) verantwortet. Deren Veröffentlichungen werden von Bundesländern als maßgebend anerkannt und übernommen. Dabei werden die bautechnisch zulässigen Einsatzbereiche durch das FGSV Regelwerk definiert, vorausgesetzt, die umweltrelevanten Vorgaben werden eingehalten.

Hausmüllverbrennungssasche im Straßen- und Erdbau: Relevante Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)		
Technische Lieferbedingungen	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen	Technische Prüfvorschriften
TL Gestein-StB 04		TP Gestein-StB
TL Pflaster-StB 06/15	ZTV Pflaster-StB 06	
TL SoB-StB 04	ZTV SoB-StB 04	
TL G SoB-StB 04		
TL BuB E-StB 09	ZTV E-StB 17	
TL Asphalt-StB 07/13	ZTV Asphalt-StB 07/13	TP Asphalt-StB
TL Beton-StB 07	ZTV Beton-StB 07	TP Beton-StB
Merkblätter		
<ul style="list-style-type: none"> – Merkblatt über die Verwendung von Hausmüllverbrennungssasche im Straßenbau (M HMVA) – Merkblatt über Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau (M TS E) – Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln – Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau 		
Richtlinien		
<ul style="list-style-type: none"> – Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) – Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau (RuA-StB 01) 		

Quelle: Handbuch Ersatzbaustoffe, Grundlagen für den Einsatz im Straßen- und Erdbau, 5 Auflage, S. 20, Tabelle 3



HMV-Asche zur Stabilisierung der Skihalle Bottrop,
Quelle: REMEX GmbH

Ein Praxisbeispiel aus Nordrhein-Westfalen HMV-Asche stabilisiert die Skihalle in Bottrop – Projekt in großen Dimensionen

Erdacht als eine der größten Freizeitattraktionen im Ruhrgebiet, wurde das Alpincenter in Bottrop 2001 auf der Bergehalde der Zeche Prosper errichtet und unterscheidet sich aufgrund der eindrucksvollen Pistenlänge von 640 Meter von vielen Skihallen weltweit. Zehn Jahre später, im Sommer 2011, wurden an verschiedenen Tragpfeilern Verschiebungen durch Setzungen der Halde mit Absenkungen des Gebäudes um bis zu 90 Zentimeter festgestellt. Das Bauwerk drohte einzuknicken. Um den Fortbestand des Alpincenters zu sichern sollte ein „Rettungsplan“ entworfen werden. Schnell war klar: Die Stabilisierung der Halde sollte unter Einsatz von mineralischen Baustoffen mittels so genannter Vorschüttung entgegen der Richtung der Verschiebung erfolgen. Es stellte sich die Frage: Welcher Baustoff ist für diese Vorschüttung technisch geeignet, in einem Volumen von 450.000 Kubikmeter im Rahmen des Zeitplanes vorhanden und zugleich zu einem wirtschaftlichen Preis verfügbar?

Ende 2015 wurde ein im wahrsten Sinne des Wortes tragfähiges Konzept für das Alpincenter herausgearbeitet. Durch eine Kombination von Hausmüllverbrennungsasche mit einem beim Kupferrecycling entstehenden Nebenprodukt, dem Eisensilikatsand, wurde ein Baustoff produziert, der die technischen Anforderungen an Standfestigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Schüttgewicht übertreffen konnte. Die Vorteile des Materials im Hinblick auf die große Verfügbarkeit, durchgehende Homogenität und stabile Qualität, gesichert durch eine regelmäßige Güteüberwachung, gaben dabei gegenüber einer Ausführungsvariante mit Böden den Ausschlag für die Entscheidung. Seit Herbst 2016 wird an der Nordseite des Alpincenters ein Bauwerk nach den Sicher-

heitsstandards aus dem Deponiebau errichtet, das eine nachhaltige Standfestigkeit der Halde garantiert. Ein Gutachterbüro prüft und dokumentiert sämtliche Vorgänge regelmäßig im Auftrag der Behörden. Die Aufschüttung an der Nordseite ist seit 2020 abgeschlossen.

Der Erfolg dieser Maßnahme veranlasste die Betreiber, in weitere Attraktionen wie eine Sommerrodelbahn, einen Hochseilgarten sowie den höchsten Biergarten des „Reviere“ zu investieren.

Bauwerk mit Fortsetzung – und planerische Sicherheit für Investoren

Weil das Projekt – das als das mit dem größten Stützkörper Europas gilt – so erfolgreich war, wurde die Baumaßnahme Anfang November 2020 ausgeweitet. Um ein weiteres Abrutschen sicher zu verhindern, werden in einem Zeitraum von vier Jahren insgesamt 600.000 Tonnen der erfolgreichen Kombination aus Hausmüllverbrennungssasche mit Eisensilikatsand an der Südseite aufgeschüttet. Pläne für ein Schwimmbad mit Wellnessbereich und Wasserrutsche, eine Mini-Golf-Anlage sowie ein Hotel liegen vor. Möglich ist das geworden, weil die bebaubare Fläche auf der Halde dank der Aufschüttung sowohl länger wie auch breiter geworden ist.

Ein Praxisbeispiel aus den Niederlanden - HMV-Asche als Zuschlag für Betonsteine, Betonpflaster und Bordsteine in den Niederlanden

HMV-Asche ist vielseitig einsetzbar, sogar ihr Einsatz als Zuschlag in Beton ist technisch möglich. Es gibt eine Reihe von europäischen Normen, die die Rahmenbedingungen festlegen, Sekundärbaustoffe in Beton oder Betonprodukten als anteilige Gesteinskörnung bei der Produktion zu nutzen. Als Vorreiter-Land gelten die Niederlande. Sie haben die Verwendung von HMV-Asche bereits in einer entsprechenden nationalen Richtlinie geregelt (CUR-Aanbeveling 116, Oktober 2012).

In Deutschland regelt die DAfStB-Richtlinie für rezyklierte Gesteinskörnungen den partiellen Einsatz selbiger in Beton und Mörtel. Für den Einsatz von HMV-Asche fehlt jedoch ein solches Regelwerk. Es bedarf daher in Deutschland einer bauaufsichtlichen Zulassung oder einer Zulassung im Einzelfall des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt).

Niederländische Richtlinie „CUR-Aanbeveling 116“

- Eingerichtet im Oktober 2012 als Regelung für HMV-Aschen in Beton,
- regelt den Einsatz von HMV-Asche als Gesteinskörnung für bewehrten und unbewehrten Beton (der Einsatz in vorgespannten Betonbauteilen ist nicht erlaubt),
- erlaubt den Ersatz von natürlicher Gesteinskörnung Sand/Kies in folgender Höhe:
 - bis zu 20 Volumenprozent in bewehrtem Beton und
 - bis zu 50 Volumenprozent in unbewehrtem Beton ohne statische Funktion,
- HMV-Asche ist zulässig in den Festigkeitsklassen C 12/15 bis C 30/37 sowie in allen Expositionsklassen (Ausnahmen XA 2, XA 3); die Zemente CEM III/B und CEM II/B-V sind verpflichtend für die Expositionsklassen XD und XS.

Essenz: Die „CUR-Aanbeveling 116“ erklärt den Einsatz von HMV-Asche in unbewehrtem Beton sowie in Betonprodukten in allen Festigkeits- und Expositionsklassen für zulässig.



Betonpflaster,
Quelle: Fotolia, 36332179, © JWS,
Adobe Stock, 39891217, © Claudio
Divizia



Niederländisches Unternehmen HEROS Sluiskil verarbeitet 700.000 Tonnen Rohasche jährlich

Zu den ersten Unternehmen, die HMV-Asche für die hochwertige Anwendung als Betonzuschlag im Markt angeboten haben, gehört die niederländische HEROS Sluiskil B.V., eine Tochtergesellschaft der REMEX GmbH. Aufgrund großer Investitionen in Forschungs- und Entwicklungsarbeit sowie Anlagentechnik für die Aufbereitung, verarbeitet die Anlage in Sluiskil aktuell etwa 700.000 Tonnen Rohasche jährlich zu einem hochwertigen Baumaterial. Und das unter Einhaltung der strengen niederländischen Vorgaben. Der Baustoff ist mit entsprechendem europäischen CE-Kennzeichen und niederländischem KOMO-Zertifikat versehen. Unter den Markennamen granova granulat und granova combimix sind diese Baustofflösungen als Zuschlagsstoff für Beton und Asphalt erhältlich.



Doppelwaschanlage in der Aufbereitung sorgt für verbesserte Qualität und höhere Umweltverträglichkeit

Um die Qualität der mineralischen Ersatzbaustoffe zu steigern und insbesondere die umweltrelevanten Parameter einzuhalten oder zu übertreffen, spielt die Reinheit im Rahmen der Herstellung der HMV-Asche eine entscheidende Rolle. Neben der Metallrückgewinnung sorgt das Waschen mittels Waschanlage nachweislich für eine verbesserte Umweltverträglichkeit der Hausmüllverbrennungsasche. Aus diesem Grund setzt REMEX in den Niederlanden eine neue dynamische Doppelwaschanlage ein, in der Fraktionen von 2 bis 16 Millimeter über eine hydromechanische Aufbereitung (kurz HMT) gereinigt werden. Die Folge: Die Schadstoffwerte sinken, da sowohl schlammige Anteile als auch leichte organische Bestandteile stärker entfernt werden. Das Ergebnis ist ein granova Ersatzbaustoff, der sich durch wesentlich verbesserte Umwelteigenschaften auszeichnet.

Betonsteine und Bordsteine,
Quelle: REMEX GmbH, Adobe
Stock, 44655972, © auremar

Wettbewerbsvorteil für innovative Betonhersteller

Hausmüllverbrennungsasche ist damit nicht nur eine nachhaltige und kostengünstige Alternative zu Primärbaustoffen. Innovativen Betonherstellern wird jetzt auch ein echter Wettbewerbsvorteil geboten.

Fazit

Nachhaltiges ressourcenschonendes Bauen rückt immer näher in den Blickpunkt der Öffentlichkeit. Die Erkenntnis, dass die Menge zur Verfügung stehender Primärrohstoffe begrenzt ist, zeigt die Notwendigkeit für ein neues Denken und Handeln auf. Es ist daher folgerichtig, wenn schon heute umwelt- und ressourcenschonende (Sekundär-) Baustoffe stärker als bisher in den Fokus rücken und umfassend Verwendung finden. HMV-Asche als Sekundärbaustoff ist ein unterschätzter Baustoff mit Potential und Zukunft.

Sind die Voraussetzungen für einen sicheren Einsatz gegeben, wird durch die Verwendung von HMV-Asche im Straßenbau wertvoller Deponieraum geschont. Entscheider auf kommunaler beziehungsweise auf Landesebene haben somit die Möglichkeit, einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten und dabei die Wirtschaftlichkeit nicht aus den Augen zu verlieren. Im Vergleich zu konventioneller Bauausführung mit primären Baustoffen ist nämlich der Einsatz von HMV-Asche in der Regel immer wirtschaftlicher.

Unter Berücksichtigung der technischen als auch der umweltrelevanten Regelwerke sowie regelmäßiger interner und externer Güteprüfungen ist HMV-Asche ein technologisch sicherer Baustoff. Unter dem Aspekt der Ergiebigkeit und Standfestigkeit sind die Ersatzbaustoffe der REMEX GmbH aufgrund der



hochwertigen Aufbereitung mit Primärrohstoffen vergleichbar. Wer sich für den Einsatz von Ersatzbaustoffen entscheidet, entscheidet sich für Ressourcenschonung, Klimaschutz und nachhaltiges Bauen. Es bleibt zu hoffen, dass auch die neuen Anwendungen von HMV-Asche als Zuschlagstoff in Beton in Deutschland in der Zukunft ihre Verwendung finden.

Durch die Doppelwaschanlage in Sluiskil werden Schadstoffwerte deutlich gesenkt und die Umweltverträglichkeit gesteigert.

Ein weiteres wichtiges Argument, das für die Nutzung dieses Baustoffs aus der Hausmüllverbrennung spricht, Quelle: REMEX GmbH

Literatur

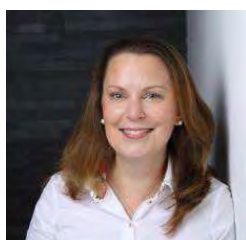
Basten, Michael, bbs-Zahlenspiegel 2020 Daten und Fakten zur Baustoff-Steine-Erden-Industrie

https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Konjunktur/2020-06-11_BBS_Zahlenspiegel.pdf, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V., Berlin 2020, Aufruf am 25.11.2020

Granova, <https://granova.de/granova-ersatzbaustoffe> Aufruf am 24.11.2020

Granova, <https://granova.de/einsatzbereiche/uebersicht> Aufruf am 24.11.2020

Onkelbach, Astrid, Handbuch Ersatzbaustoffe, Grundlagen für den Einsatz im Straßen- und Erdbau, 5. Auflage, Düsseldorf August 2019



Autorin

Margarethe Dettmar
 Projektmanagerin Vertrieb
 REMEX Oberhausen GmbH
 Buschhausener Str. 158
 46049 Oberhausen
 margarethe.dettmar@remex.de
 www.remex.de



“

Innovative Technologie trägt zum Wachstum bei.

Wir sind AMCS.

Die digitalen Lösungen für die smarte
und saubere Zukunft in der
Entsorgungs- und Recyclingbranche.

Wir gehen mit Ihnen diesen Weg!

amcsgroup.de

Die Deponie



Anlieferung,
Quelle: Breer

Langzeitsichere Deponien als Schutz von Klima und Umwelt

**Deponien stehen immer am Ende der
Entsorgungskette und das ist auch richtig so!**

Hartmut Haeming

Organische Abfälle dürfen schon seit 2005 auf Deponien nicht mehr unvorbehandelt deponiert werden. Organische Stoffe werden deshalb zuvor in der thermischen Abfallbehandlung sicher zerstört, so dass es auch nicht mehr zu einer Methanbildung kommen kann. Was übrig bleibt, ist die Müllverbrennungsschlacke, die typischerweise in einer Schlackeaufbereitungsanlage behandelt wird.

Findet sich für die so vorbehandelte Schlacke kein Verwertungsweg oder ist die Qualität der Schlacke beziehungsweise inerte Abfälle.

Die Deponie hat als sogenannte Schadstoffsенke die Aufgabe, schadstoffbelastete Abfälle unter Abschluss zur Umwelt aufzunehmen, sicher zu lagern und eben nicht ubiquitär zu verteilen.

Je nach Belastungsgrad (Schadstoffinventar) der Abfälle erfolgt dies in unterschiedlichen Deponieklassen. Dabei gilt der Grundsatz: Je höher die Deponieklasse, desto höher die Sicherheitsanforderungen.

Deponien sind heutzutage hochkomplexe technische Bauwerke mit einer Vielzahl an Nebeneinrichtungen.

Ihre Dichtungssysteme gliedern sich in der Regel (Ausnahme Deponie der Klasse 0 für unbelastete mineralische Abfälle) in mehrere Komponenten, um einen Austritt von Schadstoffen in die Umwelt, insbesondere ins Grundwasser, sicher zu unterbinden. Deshalb muss jede Deponie über eine geologische Barriere zum Untergrund verfügen, die je nach Deponieklasse um eine (ton-) mineralische Abdichtung, eine Kunststoffdichtungsbahn und gegebenenfalls über eine Leckageüberwachung ergänzt wird. Für Untertagedeponien gelten andere Regelungen.

In einer oberhalb der Dichtung befindlichen Drainageschicht wird das Sickerwasser gesammelt und erforderlichenfalls in einer Sickerwasserreinigungsanlage (wenn nötig auch mehrstufig) gereinigt bis es die sogenannten Einleitwerte erfüllt. Das bedeutet, dass das Wasser so gereinigt ist, dass es entweder direkt in ein Gewässer eingeleitet werden darf oder aber einem Vorfluter zugeführt wird.

Ältere noch in Betrieb befindliche Deponien, auf denen vor 2005 noch organische Abfälle abgelagert wurden und in denen sich deshalb noch Deponiegas bildet, verfügen außerdem über Gasfassungssysteme, die das Deponiegas aus dem Deponiekörper absaugen, verdichten und einer Verwertung (zum Beispiel Gasmotor zur Erzeugung elektrischer Energie) zuführen. Reicht der Energiegehalt hierfür nicht mehr aus, wird das Gas, das überwiegend aus Methan besteht, verbrannt oder in anderer Weise oxidiert, um es unschädlicher zu machen; denn Methan ist für die Umwelt nach ICCP 28 mal schädlicher als CO₂. Damit wird also ein erheblicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet.

Es werden nur die Abfälle abgelagert, für die die Deponie auch zugelassen ist. Deshalb muss der Abfallanlieferer vor beabsichtigten Anlieferungen eine sogenannte Deklarationsanalyse erstellen, in der alle maßgeblichen Schadstoffwerte bzw. chemischen Bestandteile dargestellt sind. Diese Erklärung prüft der Deponiebetreiber auf Übereinstimmung mit den für seine Deponieklasse zugelassenen Parameter. Befinden sich die Schadstoffgehalte des Abfalls innerhalb

Deponiebau
und Deponiegaserfassung,
Quelle: Breer



dieser Grenze, darf er den Abfall annehmen. Ist das nicht der Fall, muss der Abfall auf einer noch höherwertigeren Deponie entsorgt werden. Die Abfallanlieferungen werden im Einzelnen erfasst und regelmäßig durch organoleptische Prüfung, Probenahme und Analytik auf die Einhaltung der für die Deponie zugelassenen Parameter überwacht. Stellt sich dabei heraus, dass die Ablagerung einer Anlieferung nicht zulässig ist, wird die Charge sichergestellt und einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt.

Ist die Deponie verfüllt, wird sie nicht sich selbst überlassen, sondern ordnungsgemäß stillgelegt und rekultiviert. Hierzu zählt insbesondere eine Oberflächenabdichtung, die ein weiteres Eindringen von Niederschlagswasser und damit eine Sickerwasserneubildung verhindert.

Oberhalb der Oberflächenabdichtung erfolgt die Rekultivierung der Fläche. Diese kann ganz unterschiedlich ausgebildet sein, zum Beispiel als Grünfläche und Naherholungsgebiet. Aber auch technische Nachnutzungen wie beispielsweise die Errichtung eines Betriebshofes für einen Abfallwirtschaftsbetrieb kommen in Betracht. Wie die Rekultivierung der Fläche letztlich erfolgt, ist von vielen Faktoren, zum Beispiel der Standfestigkeit des Deponiekörpers, abhängig. Allen gemeinsam ist aber, dass sie zu einer vollständigen Kapselung des Deponiekörpers und damit zu einem sicheren Abschluss vor der umgebenden Umwelt führen.

Soweit der Deponiekörper noch Gas produziert oder Sickerwasser freigibt, wird dies auch in der Nachsorgephase der Deponie noch so lange gefasst und erforderlichenfalls behandelt, bis hiervon keine Gefahren mehr für die Umwelt ausgehen.

Nach geltendem deutschen Deponierecht gilt diese Nachsorgephase mindestens 30 Jahre nach der Stilllegung, kann aber auch wesentlich verlängert werden, wenn von der Deponie noch Emissionen ausgehen. Die Deponie wird erst dann sich selbst überlassen, wenn absolut sichergestellt ist, dass von ihr keine Gefahren mehr ausgehen. Erst dann wird sie aus der Nachsorge entlassen.

Unsere heutigen Deponien sind also die letzte Stufe der Entsorgung, wenn eine anderweitige Verwertung der Abfälle technisch oder wirtschaftlich nicht mehr möglich ist. Errichtung, Betrieb, Stilllegung, Rekultivierung und Nachsorge sind so angelegt, dass sie eine Beeinträchtigung von Mensch, Klima und Umwelt sicher vermeiden.

Deponien werden wir auch in Zukunft benötigen und so lange nutzen müssen, wie nicht für alle Abfälle entsprechende Verwertungsmöglichkeiten bestehen. Deponien sind damit am Ende der Kette das Rückgrat einer umweltsicheren Entsorgungswirtschaft.



Autor

Hartmut Haeming

Vorsitzender InwesD - Interessengemeinschaft
Deutsche Deponiebetreiber e.V.

Geestemünder Straße 23

50735 Köln

info@inwesd.de

www.inwesd.de

Sickerwassererfassung und -
reinigung, Sickerwasserpro-
beentnahme,
Blockheizkraftwerk,
Quelle: Breer

Abb. rechte Seite:
Deponie Vereinigte Ville,
Quelle: AVG Köln





Untertageversatzbergwerk
Bleicherode,
Quelle: C.C. Umwelt

Die Filterstäube, Abgasreinigungsabfälle und andere gefährliche Abfälle Verfahren zur langzeitsicheren Entsorgung als Bergversatz in Untertagebergwerken

Dr.-Ing. Klaus-Axel Riemann

Einleitung

Der untertägige Versatz (UTV) in - der Versatzpflicht unterliegenden - ausgebeuteten Hohlräumen deutscher Salzbergwerke von geeigneten, konditionierten gefährlichen Abfällen stellt einen nicht unwesentlichen Entsorgungsweg dar.

So werden in Deutschland etwa Filterstäube und Rückstände aus der Abgasreinigung der thermischen Abfallbehandlungsanlagen überwiegend sowie bestimmte Abfälle aus der chemischen Industrie in UTV-Bergwerken einer langzeitsicheren Verwertung unter Tage zugeführt.

Beispielhaft werden im Folgenden Betrachtungen zu Schadstoffen aus der thermischen Abfallbehandlung, zu den Verfahren des Untertageversatzes sowie zur Langzeitsicherheit der untertägigen Entsorgung angestellt.

Schadstoffe aus der thermischen Abfallbehandlung

Die thermische Behandlung von Abfällen führt zu einem weitgehenden Ausbrand dieser, so dass die entstehende Asche beziehungsweise Schlacke kaum noch organische Bestandteile aufweist. Beim Verbrennungsprozess fallen Abgase an, die vor der Ableitung über den Kamin aufwändig gereinigt werden. Neben den Hauptbestandteilen Kohlendioxid, Stickstoff und Wasserdampf kann das Abgas folgende Bestandteile enthalten:

- Staubpartikel,
- Kohlenmonoxid,

- Stickoxide,
- Saure Gaskomponenten: Chlorwasserstoff, Schwefeloxide, Fluorwasserstoff,
- Kohlenwasserstoffe,
- Dioxine, Furane,
- Schwermetalle (Cadmium, Quecksilber, Arsen, Titan, Zink, Zinn und andere).

Daher werden die zum Teil hochtoxischen Schadstoffe in der, der Verbrennung nachgeschalteten Abgasreinigung über mehrere Verfahrensschritte aus dem Abgas entfernt. Eine konventionelle Abgasreinigung für die Abfallverbrennung beinhaltet grundsätzlich folgende Schritten:

- Entstickung entweder durch SNCR-Verfahren oder einen SCR-Katalysator.
- Gegebenenfalls Vorentstaubung: Vorabscheidung der Stäube - und damit auch die daran gebundenen schwerflüchtigen Schwermetalle - durch ein Elektrofilter oder andere Abscheidesysteme (Heißgasgewebefilter, Zyklone). Die bei der Vorentstaubung anfallenden Filterstäube müssen aufgrund ihres Schadstoffgehaltes sicher entsorgt werden.
- Hauptabscheidung der Schadstoffe: Eindüsung eines speziellen Reduktionsmittels (auf der Basis von Kalk oder Natriumhydrogencarbonat und Aktivkohle oder Herdofenkoks) in den Abgasstrom. Dadurch werden die sauren Gaskomponenten chemisch gebunden und die leichtflüchtigen Schwermetalle zusammen mit den Dioxinen und Furanen adsorptiv angelagert. Alternativ kann auch ein - meist zweistufigen - Wäscher eingesetzt werden. In diesem werden durch Eindüsung von Wasser und Kalk, Salzsäure, Flusssäure, die Schwefelverbindungen und die Schwermetalle aus dem Abgas entfernt. Dem Wäscher nachgeschaltet ist zur Abscheidung von Dioxinen und Furanen und zur Nachabscheidung von Schwermetallen ein Festbettreaktor oder ein Flugstromverfahren mit Aktivkohle oder Herdofenkoks.
- Abtrennung des reagierten Mittels in einem Gewebefilter: Diese Gewebefilterrückstände enthalten aufkonzentriert die im Abgas enthaltenen Schadstoffe, die einer sicheren Entsorgung zugeführt werden müssen.
- Kamin zur Ableitung der gereinigten Abgase.

Die Anforderungen an die Abgasreinigung, die sich aus der 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung ergeben, werden in allen Fällen eingehalten beziehungsweise - in der Regel deutlich - unterschritten.

Untertageversatz zur langzeitsicheren Entsorgung

Als „Versatz“ wird allgemein Material zum Ausfüllen untertägiger Hohlräume bezeichnet. Der Versatz dient in erster Linie der notwendigen Stabilisierung einzelner Hohlräume; er wird dem Bergbaubetreiber von der Genehmigungsbehörde als Versatzpflicht auferlegt.

Der Untertageversatz mit geeigneten bergbaufremden gefährlichen Abfällen erfolgt in Deutschland in ausgebeuteten Hohlräumen von Salzbergwerken.

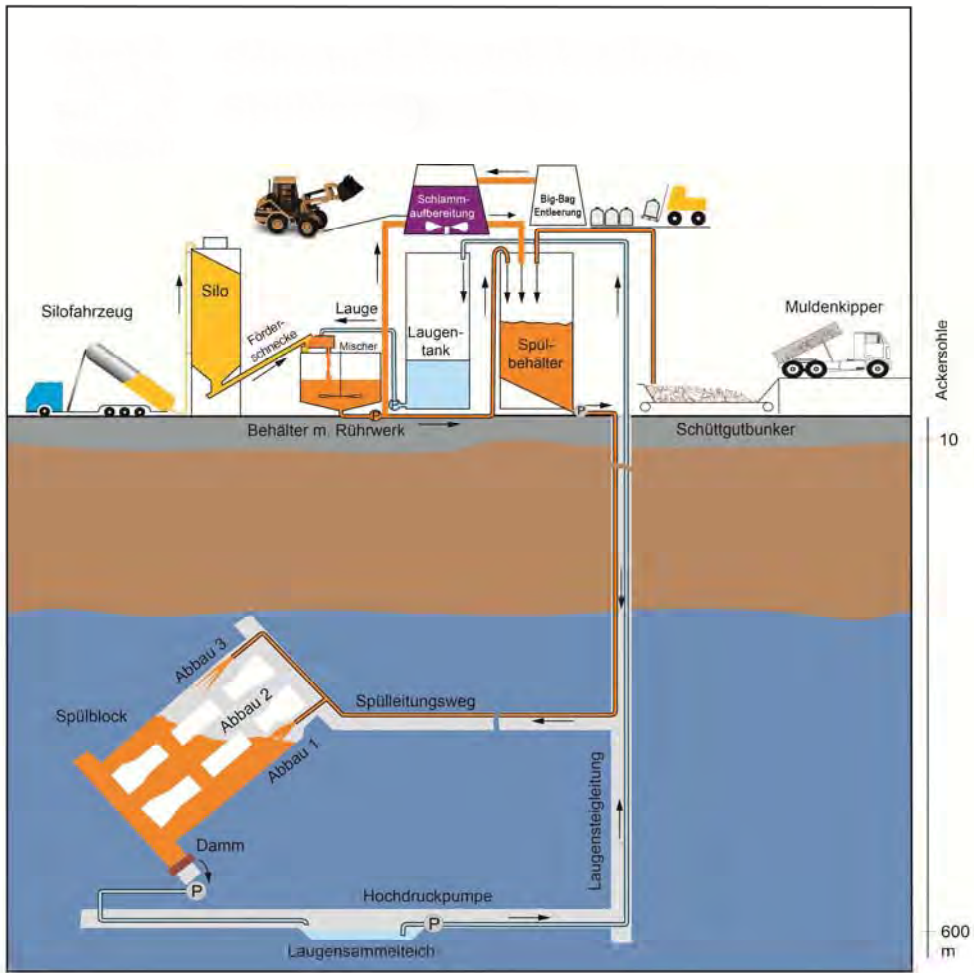
Die nachfolgende Betrachtung der Versatzverfahren bergbaufremder Abfälle in deutschen UTV-Bergwerken sowie die Betrachtungen zur Langzeitsicherheit sind einem Gutachten [1] entnommen beziehungsweise angelehnt, an dem der Autor persönlich mitgewirkt hat.

Versatzverfahren in den deutschen UTV-Bergwerken

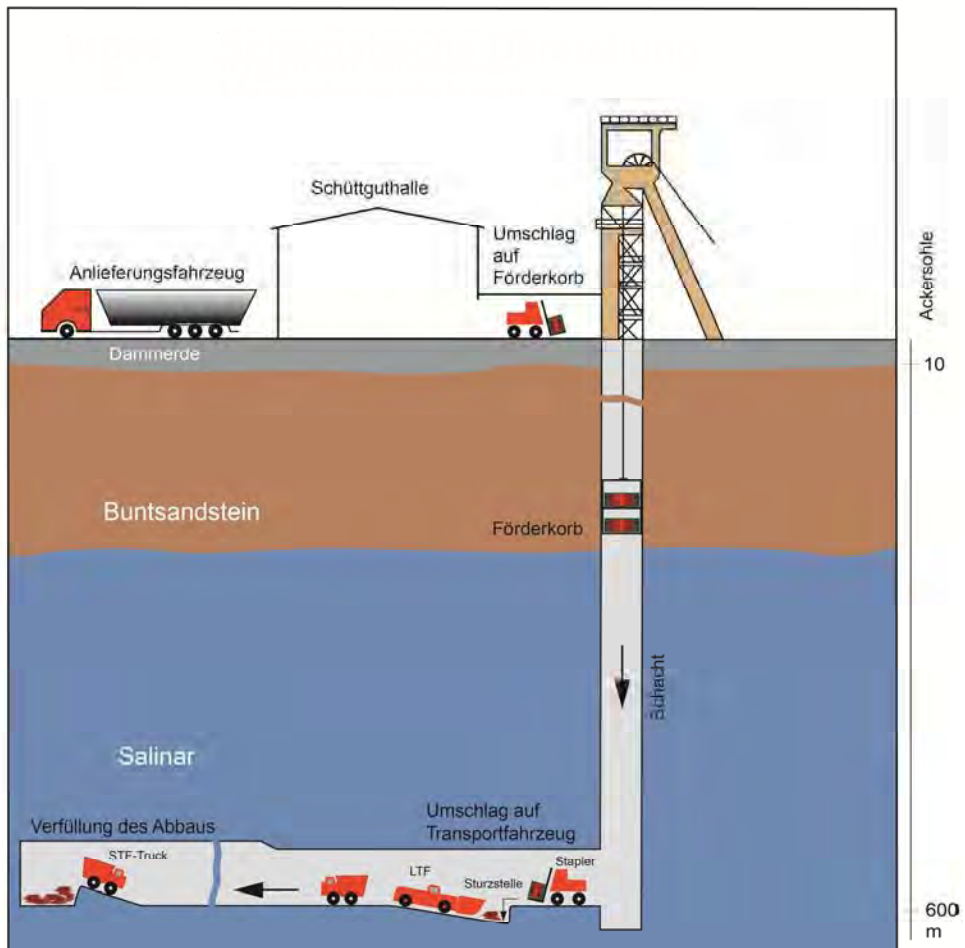
Der angelieferte Abfall wird (entweder nach übertägiger Behandlung in nach BImSchG genehmigten Anlagen oder – bei entsprechender Eignung der Abfälle



Stollen,
Quelle: REMONDIS



Spülversatzverfahren,
Quelle: DEUSA



Sturzversatzverfahren,
Quelle: DEUSA

– als Direktversatzmaterial ohne Vorbehandlung) mittels hydraulischer, pneumatischer oder mechanischer Verfahren nach unter Tage verbracht, wobei jeweils mehrere Varianten möglich sind.

Hydraulische Verfahren

Bei dem hydraulischen Versatzverfahren wird das Versatzgut nach der über oder unter Tage stattfindenden Konditionierung über ein geschlossenes Rohrleitungssystem in die zu verfüllenden Hohlräume gefördert und härtet in der Versatzkammer nahezu vollständig aus. Mit diesem Verfahren ist eine vollständige (firstschlüssige) Verfüllung der Hohlräume möglich.

Die hydraulischen Verfahren der Verbringung nach unter Tage sind davon abhängig, ob der Versatz als Spülversatz oder Pumpversatz durchgeführt wird.

Beim **Spülversatz** stellt die Anmischflüssigkeit das Transportmedium für das Versatzgut dar. Der überschüssige Anteil drainiert aus dem Versatzmaterial aus, wird an geeigneter Stelle des jeweiligen Einspülbereiches gesammelt und zum Wiedereinsatz in die Mischanlage gepumpt. Der Spülversatz im Salzbergbau ermöglicht eine frei fließende, sich selbst nivellierende Versatzmasse.

Beim **Pumpversatz** wird die zur Anmischung verwendete Flüssigkeit hingegen vollständig durch die Abfälle und das gegebenenfalls eingesetzte Bindemittel im Versatzmassiv gebunden. Die chemische Zusammensetzung der Anmischflüssigkeit muss gewährleisten, dass ein Auflösen der tragenden Pfeiler im Versatzfeld ausgeschlossen ist.

Pneumatische Verfahren

Pneumatischer Versatz ist die pneumatische Förderung der Abfälle nach unter Tage zur dortigen Konditionierungsanlage beziehungsweise der direkte Austrag der Versatzstoffe aus der Rohrleitung mittels Druckluft direkt in den Versatzhohlraum.

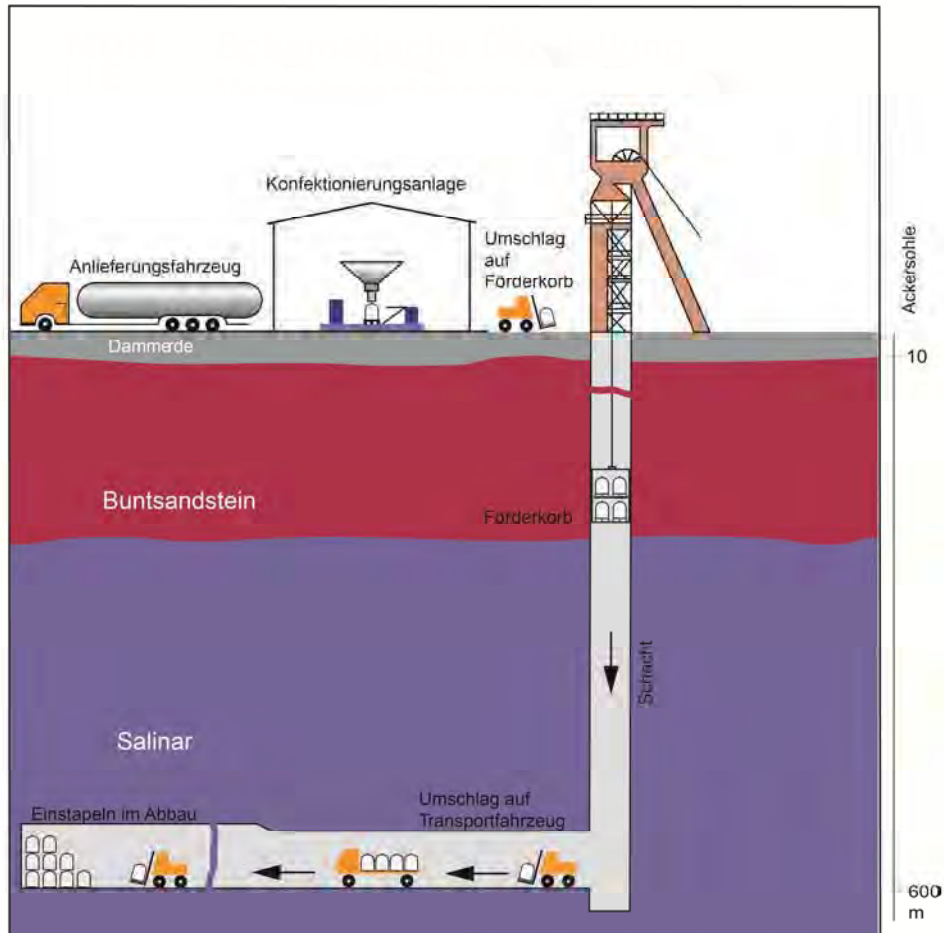
Mechanische Verfahren

Bei den mechanischen Versatzverfahren sind ebenfalls mehrere Varianten denkbar, die einzeln oder in Kombination angewendet werden. Je nach dem vorgesehenen mechanischen Versatzverfahren werden die dazu bestimmten Materialien entweder über eine Falleitung als Schüttgut beziehungsweise in Big-Bags oder in sonstigen Behältern nach unter Tage verbracht. Die Behälter werden regelmäßig über Schachtanlagen in das untertägige Bergwerk eingebracht. In Einzelfällen ist auch die Befahrung über eine Rampe möglich.

Bei den Verfahren des **Schütt-, Kipp-, Sturz-, Schleuder- und Schiebeversatzes** werden die dazu geeigneten Abfälle ohne Großpackmittel regelmäßig von Transportfahrzeugen abgeladen und zum Teil mit Schiebeschilden verteilt und gegebenenfalls bis unter die Firste gedrückt. In einem Fall wird das trocken genutzte Versatzmaterial unmittelbar nach pneumatischem Transport unter Tage ohne Verwendung von Transportfahrzeugen aus Rohrleitungen in die zu versetzenden Abbaue verbracht.

Bei der Anwendung des **Stapelversatzes** werden die in **Big-Bags** verpackten Versatzmaterialien mit LKW zum Versatzort transportiert und dort mit Stapelfahrzeugen in die untertägigen Hohlräume eingestellt. Zwischenräume zwischen den Big-Bags und die unvermeidbar verbleibenden Hohlräume (zu den Pfeilern beziehungsweise standortspezifisch bis zur Firste) werden unter Verwendung spezieller Schleudermaschinen nach Einzelvorgaben der Behörde mit körnigem Salzgestein verfüllt.

Big-Bag-Stapelversatzverfahren,
Quelle: DEUSA



Big-Bags im Stollen,
Quelle: DEUSA

Langzeitsicherheit von UTV-Bergwerken

Für einen Versatzbetrieb in einem Bergwerk ist die Zulassung eines Betriebsplanes nach Bergrecht Voraussetzung. Bei einem Versatz mit bergbaufremden Stoffen ist dabei die Versatz-Verordnung zu beachten. Aus dieser Verordnung leitet sich ab, dass gefährliche Abfälle ausschließlich in Salzbergwerken oder Salzkavernen verwertet werden dürfen, wenn die Langzeitsicherheit unter Beachtung der Vorgaben der Anlage 4 der Versatz-Verordnung belegt wird.

Die Versatzmaßnahme ist konkret mit Angabe der räumlichen Ausdehnung sowie den Anforderungen an das eingebrachte Versatzmaterial im Antrag zu beschreiben.

Als maßgeblicher Schritt im Rahmen der standortbezogenen Sicherheitsbeurteilung ist ein Langzeitsicherheitsnachweis zu führen, der im Wesentlichen auf dem

- geotechnischen Standsicherheitsnachweis und dem
- Sicherheitsnachweis für die Ablagerungs- und Stilllegungsphase basiert.

Die wesentlichen Anforderungen an den Standort und die geologische Barriere werden so definiert, dass die Abfälle dauerhaft von der Biosphäre ferngehalten werden und die Ablagerung so erfolgen kann, dass keine Nachsorgemaßnahmen erforderlich sind. Nicht unüblich sind Betrachtungszeiträume für die Nachweisführung von 10.000 Jahren und mehr.

In der Modellierung zur Beurteilung der Langzeitsicherheit muss der Versatz mit seinen gebirgsmechanischen (stützenden) Eigenschaften mit einbezogen werden. Dabei ist auch nachzuweisen, dass der gewollte Zweck der Versatzmaßnahme erreicht wird. Die Einhaltung der in dem Langzeitsicherheitsnach-



Sturzversatzverfahren,
Quelle: REMONDIS

weis berücksichtigten Materialeigenschaften des Versatzes ist im Versatzbetrieb durch wiederkehrende Untersuchungen an Materialproben des Versatzes zu belegen.

Fazit

Die Betrachtungen zeigen, dass der Untertageversatz die langzeitsichere Entsorgung von geeigneten bergbaufremden gefährlichen Abfällen sicherstellt. Besonders kritische Schadstoffe, wie zum Beispiel Quecksilber und seine Verbindungen, können so dem Abfallkreislauf sicher entzogen werden.

Daraus ergibt sich, dass die in Deutschland vorhandene - europaweit einmalige - Ressource des Salinars (geologische Salzformation) zur Aufnahme von hochtoxischen Filterstäuben, Abgasreinigungsabfällen sowie weiteren geeigneten gefährlichen Abfällen für deren langzeitsichere Entsorgung nicht nur geeignet, sondern auch von großer Bedeutung ist.

Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, alle vorhandenen und zukünftig entstehenden Salinarhöhlräume zur untertägigen Verwertung zu öffnen. Die Qualifikation als versatzpflichtiger Hohlraum sollte nicht länger als alleiniges Kriterium zur Aufnahme von Filterstäuben, Abgasreinigungsabfällen sowie weiteren geeigneten gefährlichen Abfällen zur Verwertung aufrechterhalten werden. Auch ohne eine Versatzpflicht als Voraussetzung für die Verwertung der genannten Abfälle hat dieser Entsorgungsweg den eindeutig größten Nutzen, da er eine besonders langzeitsichere und mit dem höchsten Emissionsverhinderungspotenzial (dauerhafte Abschirmung von der Biosphäre) versehene Entsorgungsalternative für diese gefährlichen Abfälle darstellt.

Literatur

[1] Alwast, H., Birnstengel, B., Riemann, K.-A., Schulte, J.: Perspektiven der Untertage-Entsorgung in Deutschland, Gutachten für VKS und VBGU, 2012



Autor

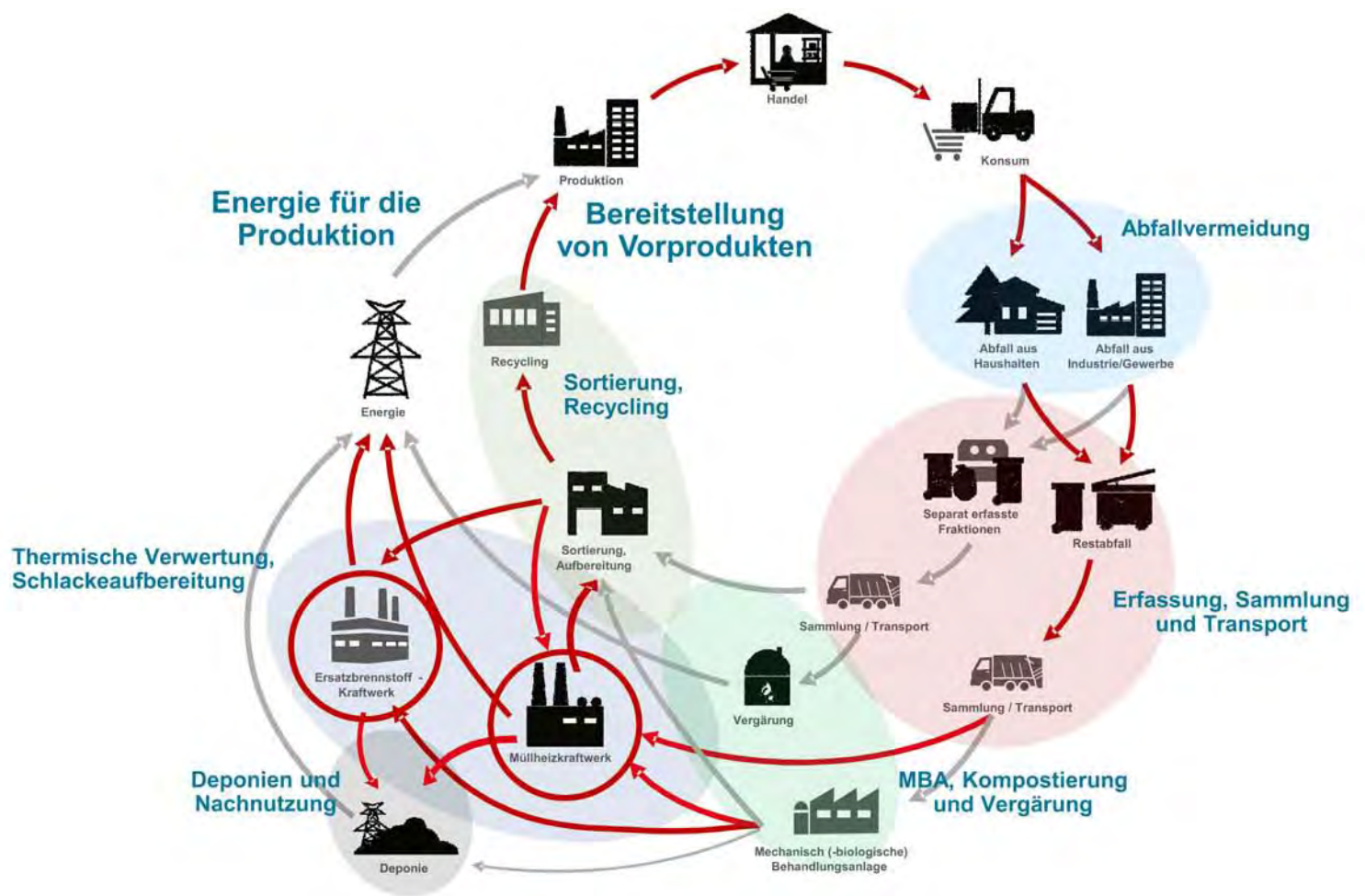
Dr.-Ing. Klaus-Axel Riemann
Geschäftsführer
Riemann, Sonnenschein & Partner GmbH
Ingenieurbüro für Umwelt- und Entsorgungstechnik
Südstraße 41
44625 Herne
axel.riemann@rspgmbh.de
www.rspgmbh.de



- | **Ausstellungen**
- | **Tagungen**
- | **Fort- und Weiterbildung**
- | **Events**

www.sase-iserlohn.de

Fazit und Ausblick



Wertschöpfungsstufen in der Kreislaufwirtschaft, Quelle: Prognos AG

Fazit und Ausblick: Die künftige Bedeutung der Thermischen Abfallbehandlung für die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft und ausgewählter kommunaler Handlungsfelder

Dr. Jochen Hoffmeister

Die Rolle der Thermischen Behandlungsanlagen in der Kreislaufwirtschaft

Die Fachbeiträge in dieser Veröffentlichung zeigen auf unterschiedliche Weise, dass die Kreislaufwirtschaft heute weit mehr umfasst als das einfache Sammeln, Transportieren und Entsorgen von Abfällen. Die Analysen des „Statusberichtes der deutschen Kreislaufwirtschaft“ (1) belegen detailliert, welche wirtschaftliche Bedeutung auch die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen der Technik und des Handels für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft haben. Von den rund 10.700 kommunalen und privaten Unternehmen entfallen etwa 6.100 Betriebe auf die klassischen Marktsegmente „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ (rund 2.650) und „Abfallbehandlung und -verwertung“ (rund 3.450). Etwa 1.300 Unternehmen zählt das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“, weitere 3.300 Unternehmen sorgen mit dem „Großhandel mit Altmaterialien“ für den wichtigen Kreislauf der erfassten und recycelten Wertstoffe aus der Abfallwirtschaft. Die Kreislaufwirtschaft erzielte im Jahr 2017 einen Umsatz von etwa 84,1 Milliarden Euro und beschäftigte im Jahr 2019 über 310.000 Erwerbstätige.

Im Zentrum der Kreislaufwirtschaft und ihrer wesentlichen Stoffkreisläufe stehen heute die rund 100 Thermischen Behandlungsanlagen (TAB (2)), die damit auch in hohem Maße für die Stabilität des Gesamtsystems der einzelnen Wertschöpfungsstufen sorgen.

Die Beschreibungen der Standortkonzepte in dieser Veröffentlichung verdeutlichen, wie unterschiedlich die Standorte einzelner TAB im Hinblick auf die Logistik, das Stoffstrommanagement und die Energieerzeugung ausgestaltet sind. Die beschriebenen technischen Innovationen dienen vor allem der Kostenstabilität, dem Klimaschutz und der Energiewende. Weitere Optimierungen im vorgelegten Bereich der Logistik zeigen die Beiträge zur kontaktarmen Sammlung von Wertstoffen und Restabfällen. Große Potenziale für die Gewinnung von Recyclingrohstoffen hingegen liegen in der Aufbereitung der Schlacken und Rauchgasreinigungsprodukten aus den Verbrennungsprozessen, wie das Recycling von Metallen, Phosphor oder Ersatzbaustoffen. Weitere Beiträge gehen auf die Bedeutung der TAB für andere gesellschaftlich bedeutsame Aufgaben, wie beispielsweise für die (aktuell sehr wichtige) Hygienisierung von Abfällen, die Daseinsvorsorge oder die umweltgerechte Deponierung nicht mehr verwertbarer Abfälle ein.

Alle Fachbeiträge gemeinsam betrachtet zeigen deutlich, dass sich sowohl die TAB, ihre Standorte sowie die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen in kontinuierlichen Veränderungsprozessen befinden und somit das Gesamtsystem optimieren. Ebenso deutlich wird aber auch, dass die TAB heute und auch in Zukunft den zentralen Bestandteil der Aktivitäten zur Sammlung, Transport, Verwertung und Ablagerung von Abfällen bilden wird.

Rückblick: Die Entwicklung der TAB im Kontext veränderter Rahmenbedingungen

In den letzten 30 Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für den Betrieb von TAB bereits mehrfach nachhaltig verändert:

- Die Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) hat seit 1993 mit der Perspektive, dass ab dem Jahr 2005 keine unvorbehandelten Abfälle mehr auf Deponien abgelagert werden dürfen, zu einem deutlichen Zubau an TAB-Kapazitäten geführt, ohne die es aus Gründen der Entsorgungssicherheit keine Deponieschließungen hätte geben können.
- Die so genannte „Liberalisierung“ der Entsorgung von Gewerbeabfällen im Jahr 1996, nach der gewerbliche Abfälle zur Verwertung nicht mehr weiter als überlassungspflichtige Abfälle über den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) in die TAB geliefert werden müssen, sondern über private Unternehmen mit eigenen Verträgen beziehungsweise Kontingenten angeliefert werden können, hat zu massiven Veränderungen der Mengenströme, der Preise, dem Wissen über Stoffströme und nicht zuletzt auch der Planbarkeit der Kapazitätsauslastung geführt. Mit der Liberalisierung begann auch die internationale Verflechtung zuzunehmen, sodass relevante Mengen an Abfällen exportiert wurden. Ein Teil der heute zu verzeichnenden Auslastungsschwankungen ist auf die Einführung dieser Regelung vor fast 25 Jahren zurück zu führen.
- Die Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung in Deutschland verläuft stabil und damit auch das erzeugte Gesamtabfallaufkommen. Während vor einigen Jahren noch von einem kontinuierlichen Rückgang der Bevölkerung ausgegangen werden musste, hat der starke Zuzug ab dem Jahr 2015 für eine stabile Perspektive der Bevölkerungsentwicklung in den nächsten Jahren gesorgt. Die Binnenwanderung von Ost- nach Westdeutschland und die zunehmende Attraktivität der Agglomerationsräume hat in der Vergangenheit räumliche Verschiebungen des Abfallaufkommens zur Folge gehabt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass nicht nur die absolute Anzahl der Bevölkerung, sondern auch die Entwicklung der Anzahl der Haushalte und die Alterststruktur für die thermisch zu behandelnden Abfallmengen von Bedeutung sind.

- Die Entwicklung des Gewerbes und der Industrie verlief in den letzten Jahren vergleichsweise stabil beziehungsweise positiv. Im Jahre 2009 konnte jedoch gut beobachtet werden, welchen Einfluss die Wirtschaftskrise im Jahr 2008 auf die thermisch zu behandelnden Abfälle haben kann. Umgekehrt führte die gute Konjunktur seit diesem Zeitraum zu einer Zunahme der gewerblichen Abfälle und zu einer guten Auslastung der TAB. (3)

Die Erfahrungen aus der jüngeren Vergangenheit zeigen, dass sich die Kapazitäten der TAB schrittweise an den tatsächlichen Bedarf des Gesamtsystems „Kreislaufwirtschaft“ angepasst haben und auch in der Lage sein werden, dass künftig zunehmende Restabfallaufkommen durch die demografischen und wirtschaftlichen Entwicklungen energetisch verwerten zu können.

Ausblick: Wie verändert sich die Rolle der TAB innerhalb der Kreislaufwirtschaft?

Spätestens seit Inkrafttreten der TASI im Jahr 1993 hat die Frage, wie viele Thermische Behandlungskapazitäten für das „Stichjahr 2005“ und auch darüber hinaus gebraucht werden, zu immer wiederkehrenden Prognosen und auch zu zum Teil sehr kontroversen Diskussionen geführt. Auch aktuell stehen wieder unterschiedliche Ansichten beziehungsweise Prognosen über den künftigen Bedarf an thermischen Behandlungskapazitäten im Raum. Die Beantwortung dieser Frage ist jedoch sehr wichtig für die Planungs- und Entscheidungssicherheit der kommunalen und privaten Entscheidungsträger.

Wie kommt es zu unterschiedlichen Einschätzungen der künftigen Entwicklung?

- Die Vergangenheit hat gezeigt, dass rechnerisch bestehende Potentiale nicht zwangsläufig für die Prognosen auch schon als umgesetzt angesehen werden können und insofern auch nicht für belastbare Kapazitätsprognosen nutzbar sind. Beispielsweise hat der Status quo der getrennten Bioabfallerfassung für die Kommunen gute wirtschaftliche und fachliche Gründe, so dass nicht davon auszugehen ist, dass es hier in Zukunft zu signifikanten Mehrmengen kommt, die das Restabfallaufkommen deutlich reduzieren.
- Wichtig ist ferner die Einschätzung von Auswirkungen bestehender und künftiger rechtlicher Rahmenbedingungen. Diese führen nicht nur einerseits zur Reduzierung von Fraktionen, die für die TAB von Relevanz sind, sondern andererseits auch zur Erhöhung des Aufkommens von Fraktionen, die bislang noch nicht notwendigerweise thermisch zu behandeln gewesen sind. Insofern sind für die Einschätzung immer beide Effekte zu betrachten, wenn es um die Prognose der künftig benötigten Kapazitäten geht. Abnehmende Mengen durch ein umfangreicheres Recycling werden aller Voraussicht nach durch künftig notwendigerweise energetisch zu verwertende Abfälle aus Umweltschutzmaßnahmen ersetzt.
- Wenn die Bilanzkreise für die Erfassung demografischer, wirtschaftlicher sowie abfallwirtschaftlicher und -politischer Einflüsse auf die Abfallmengenentwicklung zu eng gezogen werden, entstehen naturgemäß andere Ergebnisse als bei einer umfassenden Analyse der Gesamtentwicklung. Somit ist es wichtig, die Ergebnisse nicht pauschal zu bewerten, sondern immer vor dem Hintergrund der im Einzelnen untersuchten Einflussfaktoren und der jeweils getroffenen Annahmen.

Die Anlagenbetreiber haben in erster Linie die Entsorgungssicherheit zu gewährleisten und können daher ihre Kapazitäten nicht analog zu politischen

Strömungen ausrichten, sondern müssen sich an den absehbaren Entwicklungen und Erwartungen orientieren und diese realistisch bewerten. Wichtig für die Beurteilung der künftigen Bedeutung der TAB ist daher nicht unbedingt die sehr enge Diskussion um ein paar Hunderttausend Tonnen Kapazitäten pro Jahr mehr oder weniger, sondern vielmehr die Frage, welche Risiken wir eingehen, wenn wir einen bewährten und technisch hochwertigen Teil unserer Entsorgungsinfrastruktur immer wieder in Frage stellen.

Zudem müssen für die Beurteilung der tatsächlichen Perspektiven der TAB in Deutschland auch die künftigen Wechselwirkungen zwischen dem Betrieb der TAB und wichtigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aufgaben beziehungsweise Herausforderungen betrachtet werden. Dies gilt insbesondere für den Weg Deutschlands in Richtung einer Circular Economy.

Die Strategie der Circular Economy geht von dem Ideal geschlossener Rohstoffkreisläufe aus, das Recycling von Wertstoffen hat allerdings wirtschaftliche, energetische, technische und ökologische Grenzen, so dass der Wirtschaftskreislauf auch künftig nicht nur auf die Zuführung von Primärrohstoffen angewiesen sein wird, sondern auch auf die Ausschleusung von Schadstoffen, um diese nachfolgend nicht im Produktkreislauf anzureichern. Außerdem ist die Substitution von fossilen Brennstoffen durch Abfälle auch Ressourcenschutz.

Für die TAB ergibt sich daraus innerhalb der Circular Economy die wichtige Zukunftsaufgabe, zum einen weiterhin als Schadstoffsene für die gesamten Recyclingprozesse zu dienen und zum anderen im Bereich des Metallrecyclings und als Lieferant von mineralischen Ersatzbaustoffen als wichtiger Akteur im System zu agieren. Zukünftig könnte darüber hinaus das Schließen von Kohlenstoffkreisläufen eine bedeutendere Rolle spielen. (4)

Ein vollständiger Blick auf die Bedeutung der TAB ergibt sich, wenn die Wechselwirkungen der TAB mit den unterschiedlichen kommunalen und regionalen Handlungsfeldern in die Bewertung einbezogen werden:

Wie sehen die Wechselwirkungen der TAB konkret aus?

Kreislaufwirtschaft

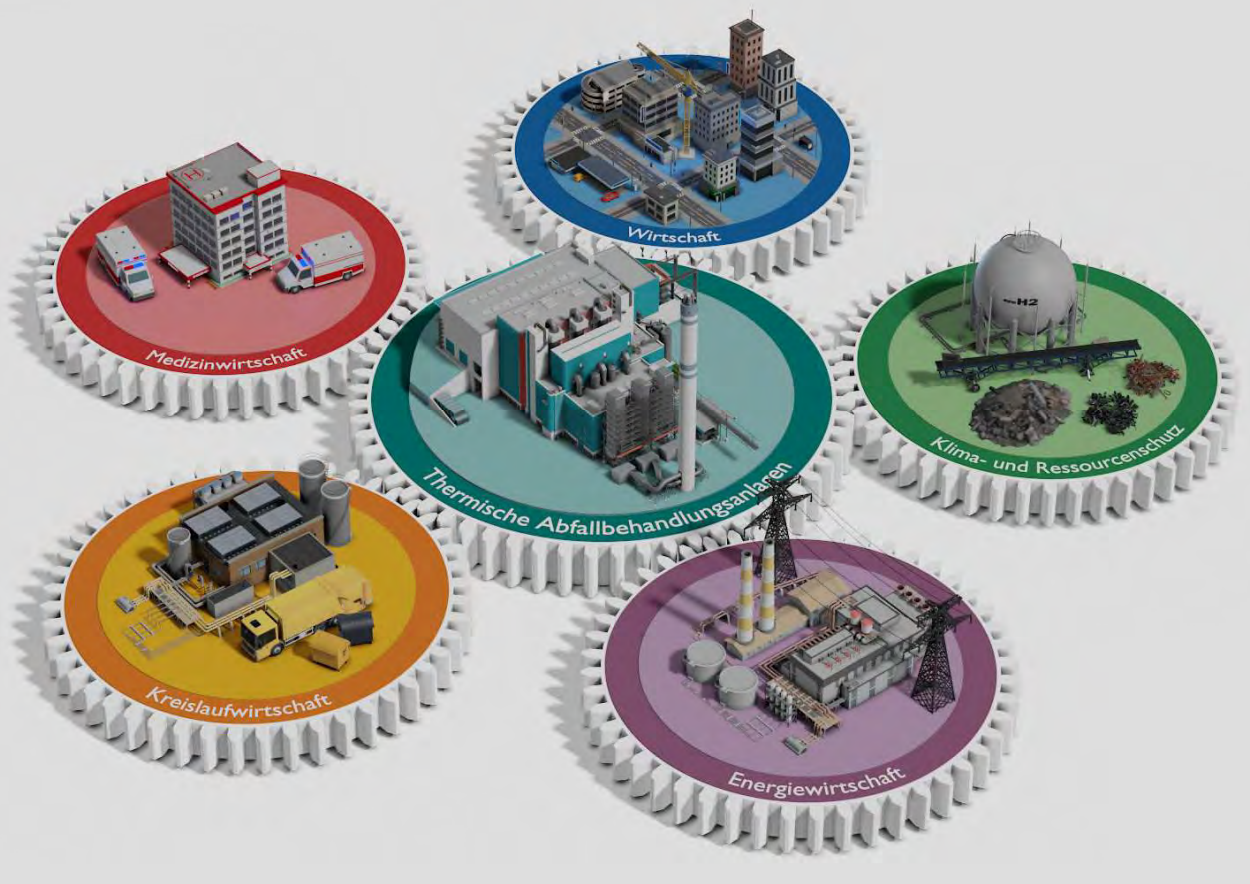
- Die TAB gewährleisten in erster Linie die Entsorgungssicherheit für private und gewerbliche Abfälle. Über ihre Funktion als Schadstoffsene sichern sie ferner den Produktkreislauf und eine hochwertige Recyclingwirtschaft.

Wichtige Aufgabe: Kapazitätsreserven für Sonder-
Entsorgungsmaßnahmen:

- Abfälle aus Umweltschutzmaßnahmen
- Abfälle, die durch extreme Wetterereignisse verursacht werden
- Beseitigung von gefährlichen Schädlingen, Pflanzen et cetera.

Gesundheitswesen

- Die TAB sind neben den Sonderabfallverbrennungsanlagen als einzige Abfallbehandlungsverfahren in der Lage, organische Schadstoffe vollständig zu zerstören und anorganische Schadstoffe sicher auszuschleusen.
- Die Hygienisierung von Abfällen, auch von Haushaltsabfällen, hat während der Coronakrise eine neue Bedeutung erlangt.
- Systemrelevanz für das Gesundheitswesen: Rund 80.000 Arztpraxen, Krankenhäuser und Laboratorien müssen kontinuierlich entsorgt werden.
- Auch die Beseitigung von Schädlingen und schädlichen Pflanzen dient dem Schutz der Gesundheit.



Wechselwirkungen der TAB,
Quelle: Prognos AG

Wirtschaft

- Die TAB sind ein wichtiger lokaler und regionaler Wirtschaftsfaktor.
- Die Erlöse aus der Abfallverwertung und Energieerzeugung kommen den Regionen in der Regel in Form von Investitionen (Bau, Instandhaltung und vieles mehr) sowie Gehältern, Steuern und Konsumausgaben wieder zugute.
- Die Investitionen lösen Vorleistungen zum Beispiel im Handwerk aus, ebenso wie die Arbeitsplätze, die den laufenden Betrieb sicherstellen (zum Beispiel durch vorgelagerte Bürotätigkeiten in den Zulieferbetrieben). Dadurch entstehen zusätzliche regionalwirtschaftliche Effekte.

Klima- und Ressourcenschutz

- Direkt: Einsparungen an Treibhausgasen durch die Substitution von fossilen Primärenergieträgern sowie das Metall-Recycling und die Herstellung von Ersatzbaustoffen als Ressourcenschutzmaßnahme
- Indirekt:
 - Voraussetzung für die Möglichkeit zur Schließung von Deponien
 - Sicherstellung eines hochwertigen Recyclings
 - Senke für Sortierreste
- Künftig: Je nach Wirtschaftlichkeit eröffnet sich die Erzeugung von H₂ und der Betrieb der CO₂-Abscheidung (CCU).

Energiewirtschaft

- Die TAB liefern einen Beitrag zur Klimaneutralität von Städten und Regionen durch die Nutzung von Abwärme in Form von Strom, Fernwärme, Prozessdampf und - je nach Entwicklung – künftig auch Wasserstoff.
- Die TAB gewährleisten an vielen Orten die Versorgungssicherheit von Industrieparks und energieintensiven Betrieben.

- Die TAB erlangen zunehmend größere Bedeutung für die Erbringung von Energiesystemdienstleistungen, die künftig bei einem Rückgang der Kohleverstromung einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität leisten werden. (5)

Die Beiträge in dieser Veröffentlichung belegen in der Gesamtschau, dass die Notwendigkeit der TAB für die Gewährleistung der Entsorgungssicherheit und auch für das Funktionieren des Gesamtsystems der Kreislaufwirtschaft zu einem ständigen Innovationsprozess führen und sich die TAB somit auch den veränderten Rahmenbedingungen durch Abfallmeidung und eine zunehmende stoffliche Verwertung anpassen werden. Gleichzeitig werden die Schnittstellen zu anderen kommunalen Infrastrukturen beziehungsweise Politikfeldern immer ausgeprägter, so dass die Bewertung der künftigen Rolle der TAB heute wesentlich differenzierter als noch vor einigen Jahren ausfallen muss.

Fragen der Energiewende, des Klima- und Ressourcenschutzes, der Circular Economy und aktuell auch der Hygienisierung von Abfällen müssen heute ebenfalls mitgedacht werden, wenn es um die Antwort geht, was künftig von den Thermischen Behandlungsanlagen im und außerhalb des Systems der Kreislaufwirtschaft erwartet wird.

Literatur und Anmerkungen

1. „Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020“. Prognos/INFA/Faulstich im Auftrag von ASA, BDE, BDSAV, BDSV, bvse, DGAW, InwesD, ITAD, KdK, PlasticsEurope, VDMA, VDM, VHI, VKU und der IFAT. www.statusbericht-kreislaufwirtschaft.de
2. Zu den Thermischen Abfallbehandlungsanlagen zählen die klassischen Müllverbrennungsanlagen (MVA, MHKW) und die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke. Darüber hinaus gibt es noch Sonderabfall-, Klärschlammmono- und Altholverbrennungsanlagen sowie die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in Zementwerken, Industriekraftwerken und so weiter.
3. vgl. hierzu: Prognos/Faulstich: Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung - Roadmap 2040 -. Studie im Auftrag der ITAD e.V. Düsseldorf, 2020; S. 103 ff.
4. vgl. zum Thema Circular Economy: Prognos/Faulstich, ebenda.
5. vgl. zu den einzelnen Handlungsfeldern ausführlich: Prognos/Faulstich, ebenda



Autor:

Dr.-Ing. Jochen Hoffmeister
 Direktor Wirtschaft, Energie &
 Infrastruktur
 Prognos AG
 Werdener Straße 4
 40227 Düsseldorf
jochen.hoffmeister@prognos.com
www.prognos.com

