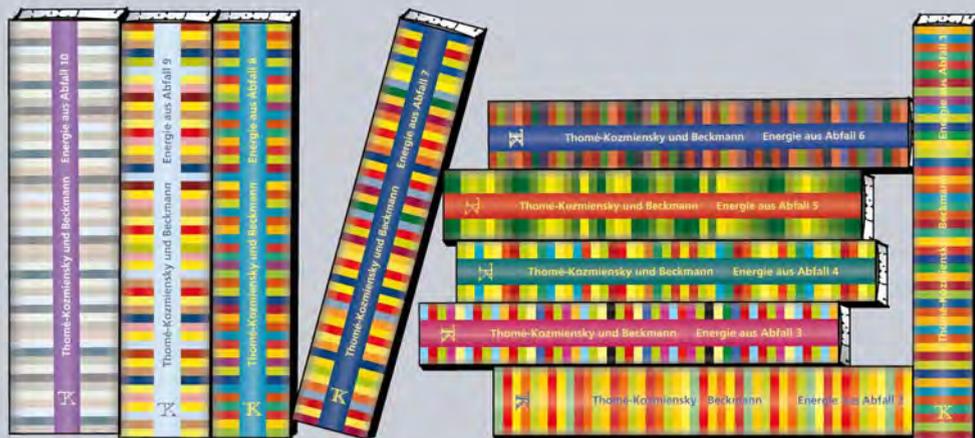


Energie aus Abfall



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Energie aus Abfall, Band 1

ISBN: 978-3-935317-24-5
Erscheinung: 2006
Gebundene Ausgabe: 594 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 2

ISBN: 978-3-935317-26-9
Erscheinung: 2007
Gebundene Ausgabe: 713 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 3

ISBN: 978-3-935317-30-6
Erscheinung: 2007
Gebundene Ausgabe: 613 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 4

ISBN: 978-3-935317-32-0
Erscheinung: 2008
Gebundene Ausgabe: 649 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 5

ISBN: 978-3-935317-34-4
Erscheinung: 2008
Gebundene Ausgabe: 821 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 6

ISBN: 978-3-935317-39-9
Erscheinung: 2009
Gebundene Ausgabe: 846 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 7

ISBN: 978-3-935317-46-7
Erscheinung: 2010
Gebundene Ausgabe: 765 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 8

ISBN: 978-3-935317-60-3
Erscheinung: 2011
Gebundene Ausgabe: 806 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 9

ISBN: 978-3-935317-78-8
Erscheinung: 2012
Gebundene Ausgabe: 809 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

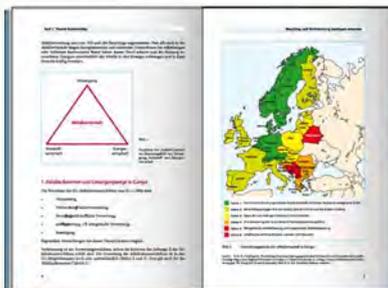
Energie aus Abfall, Band 10

ISBN: 978-3-935317-92-4
Erscheinung: 2013
Gebundene Ausgabe: 1096 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

270,00 EUR
statt 500,00 EUR

Paketpreis

Energie aus Abfall, Band 1 bis 10



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Alternativen zur Verbrennung?

Peter Quicker und Yves Noël

1.	Hintergrund.....	767
2.	Aufgabenstellung.....	769
3.	Thermochemische Prozesse.....	769
3.1.	Pyrolyse	770
3.2.	Vergasung.....	773
3.3.	Plasmaverfahren.....	773
3.3.1.	Plasmaerzeugung	773
3.3.2.	Plasmapyrolyse	774
3.3.3.	Plasmavergasung.....	775
4.	Vorgehen	775
5.	Stand und Ausblick.....	777
6.	Literatur.....	777

1. Hintergrund

Die Abfallverbrennung ist hinsichtlich Anlagenzahl, installierter Behandlungskapazität und technischer Reife das weltweit dominierende Verfahren zur thermischen Behandlung von Restabfällen. Die Technologie ist seit über hundert Jahren etabliert und wurde durch kontinuierliche Optimierungsmaßnahmen, vor allem im Bereich der Abgasreinigung, zur umweltfreundlichen Standardtechnologie. Die ohnehin sehr strengen Emissionsgrenzwerte werden in der Regel deutlich – zum Teil um mehrere Zehnerpotenzen – unterschritten. Gefährliche Reststoffe der Abgasreinigung werden sicher unter Tage abgelagert und die erzeugte Energie als Nah- und Fernwärme, Prozessdampf und Strom vermarktet. Aschen und Schlacken werden aufbereitet, von Eisen- und Nichteisenmetallen, die wieder in Rohstoffkreislauf rückgeführt werden, entfrachtet und, sofern dies die physikalischen und chemischen Eigenschaften zulassen, als Baustoff im Bereich Straßen- und Deponiebau verwertet.

Die Abfallverbrennung ist also eine langzeiterprobte, umweltfreundliche und sichere Technologie zur Behandlung von Restabfällen. Dennoch gibt es nach wie vor starke Vorbehalte und Vorurteile in der öffentlichen Diskussion, die nicht zuletzt auf Kommunikationsfehler der Betreiber in der Vergangenheit zurückzuführen sind.

In den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden Umweltprobleme von Abfallverbrennungsanlagen häufig kleingeredet und berechtigte Bedenken der Bevölkerung beschwichtigt, anstelle proaktiv Lösungen zu finden.

Nicht zuletzt aufgrund der geschilderten öffentlichen Wahrnehmung werden – jenseits der Verbrennung – immer wieder neue thermische Behandlungsverfahren für Abfälle kreiert und auf dem Markt feilgeboten. Zu nennen sind hier vor allem Pyrolyse- und Vergasungsverfahren, die inzwischen gerne durch Plasma- oder Mikrowellengeneratoren oder die Zugabe von Katalysatoren *optimiert* werden. Ebenfalls eine gewisse Tradition haben sogenannte Verölungsverfahren, mit denen feste Abfallstoffe direkt in flüssige Energieträger überführt werden sollen. In jüngster Zeit wird auch versucht, die von Bergius bekannte Technik der hydrothermalen Carbonisierung (HTC) auf Abfallstoffe zu übertragen.

Die genannten, auch als *alternative Behandlungsverfahren* bezeichneten Prozesse zur thermischen Abfallbehandlung sollen – zumindest nach den Vorstellungen der Entwickler, Anbieter und (soweit bereits existent auch der) Betreiber – höherwertige Produkte, verbesserte Produkteigenschaften oder eine bessere Prozesseffizienz als die konventionelle Abfallverbrennung bieten. Erste Ansätze gehen mehr als ein Jahrhundert zurück. Bereits im 19. Jahrhundert gab es in verschiedenen europäischen Städten (Wien, Stuttgart, Paris, Versailles) Versuche, aus Abfällen Leuchtgas für die Straßenbeleuchtung zu erzeugen. Die Versuche wurden aufgrund massiver technischer Probleme bald wieder eingestellt. Eine zur gleichen Zeit in San Jose errichtete Anlage zur Gaserzeugung für Motoren musste nach wenigen Monaten aufgrund einer Explosion wieder außer Betrieb genommen werden.

Nach den Wirren der beiden Weltkriege und dem Wiederaufbau in der Nachkriegszeit werden alternative thermische Verfahren seit den 1970er Jahren von unterschiedlichen Herstellern in diversen Anlagenkonfigurationen wiederkehrend neu präsentiert. Derartige Verfahren sind im Allgemeinen durch eine vergleichsweise komplexe Anlagentechnik und relativ weitgehende Anforderungen an die Brennstoffaufbereitung charakterisiert. Während die thermische Abfallbehandlung mittels Pyrolyse bzw. Vergasung nach zahlreichen Rückschlägen innerhalb Deutschlands bzw. Europas keine praktische Bedeutung erlangen konnte, fand im ostasiatischen Raum teilweise eine Etablierung dieser Technologien statt. Hinsichtlich Neuentwicklungen stehen aktuell besonders Plasma- und Direktverölungsverfahren im Fokus der durchaus kontroversen Diskussion. HTC-Prozesse versuchen sich als Nischenverfahren für biogene Abfälle zu etablieren.

Aufgrund des geschilderten Hintergrundes ist ein Stand der Technik für die alternative thermischen Abfallbehandlungsverfahren noch immer nicht definiert. Neben technischen Aspekten spielen dabei vor allem ökonomische Faktoren eine Rolle. Die teilweise Etablierung der genannten Alternativverfahren in Asien ist auf die völlig anderen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zurückzuführen. So betragen die durchschnittlichen Entsorgungskosten für eine Tonne Abfall in Tokio aktuell 56.975 Yen, also über 400 Euro.[1] Dies liegt um ein Mehrfaches über den gegenwärtigen deutschen und europäischen Behandlungskosten. Daher können in Japan entsprechend aufwändigere und damit teurere Verfahren betrieben werden.

Das Potenzial der alternativen thermischen Verfahren kann für den deutschen und europäischen Markt also nicht direkt aus der Situation in Asien abgeleitet werden. Vielmehr ist genau zu prüfen, welche Verfahren – aufgrund kostengünstiger Technik, der Option zur Behandlung von Sonderfraktionen mit hohem Erlös oder durch die Bereitstellung hochwertiger Produkte – unter den herrschenden wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen in Europa bestehen könnten.

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen eines vom Umweltbundesamt beauftragten Sachverständigengutachtens soll eine verbesserte Datenbasis zum Stand der Technik der alternativen thermischen Verfahren zur Behandlung von Abfällen erarbeitet werden. Die Resultate sind Grundlage für weitere rechtliche und technische Maßnahmen zur Abfallverwertung. Insbesondere soll das Gutachten die Entwicklung der nationalen deutschen Position im Vorfeld des Sevilla-Prozesses, zur Revision des BVT-Merkblatts über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung, unterstützen. [2]

Zur Erstellung der Datenbasis findet eine durch Literaturrecherchen unterstützte Datenerhebung hinsichtlich der verfügbaren Techniken zur alternativen thermischen Behandlung von Abfällen statt. Hierbei werden umweltbezogene Leistungsmerkmale, wie entstehende Emissionen, Energieverbräuche oder die Qualität der im Prozess aufbereiteten Wertstoffe erfasst. Abschließend findet eine Gesamtbewertung der alternativen Behandlungstechniken im Vergleich mit den etablierten thermischen Behandlungsverfahren statt.

3. Thermochemische Prozesse

Eine Übersicht der thermochemischen Prozesse ist in Bild 1 wiedergegeben. Sonderverfahren unter Plasmaerzeugung oder Verwendung von Katalysatoren sind nicht aufgeführt.

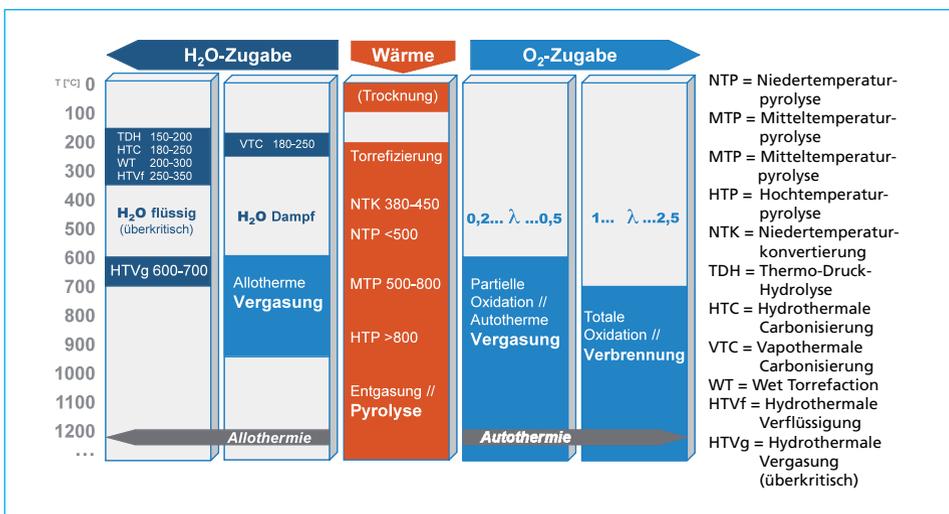


Bild 1: Übersicht und Einteilung thermochemischer Prozesse

Im Folgenden sind die Prozesse der Pyrolyse, Vergasung sowie die Plasmaverfahren kurz erläutert. HTC-Prozesse werden hier nicht näher beschrieben, da diese im Wesentlichen für biogene Substrate eingesetzt werden.

3.1. Pyrolyse

Zentrales thermochemisches Verfahren ist die Pyrolyse. Dieser Prozess bedarf keines externen Reaktionspartners. Die Entgasung der flüchtigen Bestandteile der Einsatzstoffe erfolgt nur durch Wärmeeinwirkung. Je nach Temperatur werden verschiedene Varianten unterschieden.

Wird die Pyrolyse bei sehr niedrigen Temperaturen durchgeführt, wird diese in jüngerer Zeit auch als Torrefizierung oder Torrefaction bezeichnet. Dieser Prozess wird im Wesentlichen auf Biomassefraktionen angewendet, um deren Energiedichte zu erhöhen und die mechanischen Eigenschaften (Mahlbarkeit) zu verbessern. Bekannt sind solche Prozesse beispielsweise aus der Kaffeeröstung. Für die Abfallbehandlung hat die Torrefizierung kaum Bedeutung.

Daneben finden sich weitere Bezeichnungen für die Pyrolyse bei niedriger Temperatur, wie Wet Torrefaction oder Niedertemperaturkonvertierung, deren Etablierung vermutlich vorwiegend aus Gründen des Marketings erfolgte und weniger deshalb, weil signifikante technische Unterschiede zur Niedertemperaturpyrolyse vorlägen, die neue Bezeichnungen als angebracht erscheinen lassen würden.

Eine vollständige Entgasung der flüchtigen Bestandteile wird bei Temperaturen von 550 und 750 °C erreicht, je nach eingestellter Verweilzeit und Zusammensetzung des Einsatzmaterials. Zurück bleibt ein Pyrolysekoks, der neben der Asche auch große Anteile von fixem Kohlenstoff enthält. Für eine Ablagerung solcher abfallstämmigen Pyrolysekokse ist deren Glühverlust zu hoch. Allerdings ist der Glühverlust fast ausschließlich auf Kohlenstoff zurückzuführen. Reaktionen, biologische Vorgänge oder Gasbildung sind von derartigen Stoffen nicht zu erwarten. Daher gibt es von administrativer Seite zum Teil Ausnahmeregelungen für die Ablagerung solcher Fraktionen.

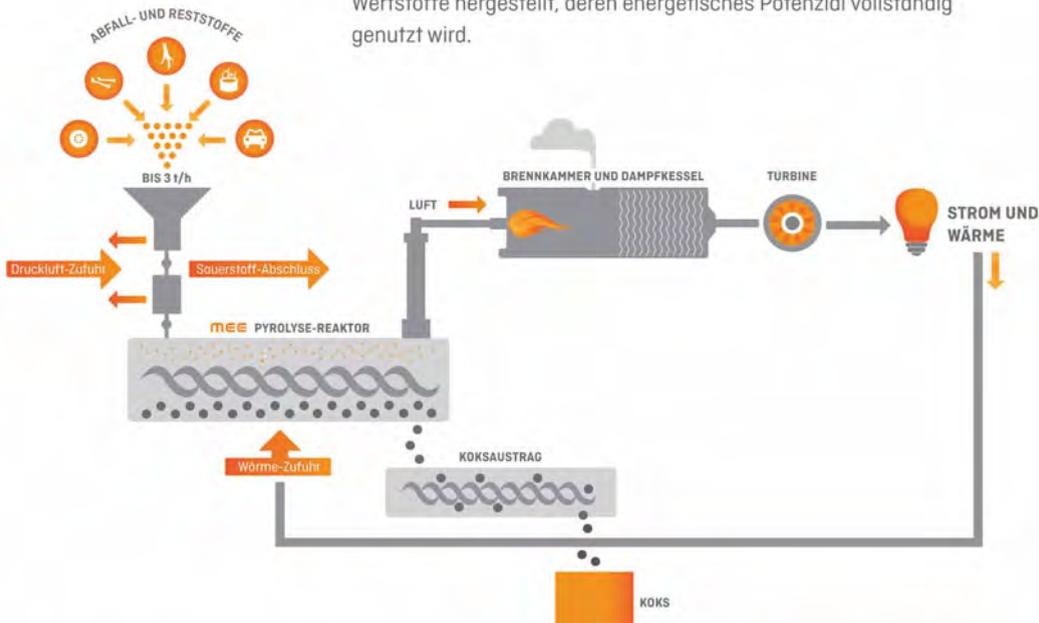
Im Pyrolysekoks befinden sich auch die im Abfall enthaltenen Metalle. Durch die sauerstofffreie (bzw. -arme) Atmosphäre werden die Metalle nicht oxidiert und besitzen eine gute Qualität für die weitere Verarbeitung in metallurgischen Prozessen.

Die bei der Pyrolyse gebildeten Gase bestehen aus permanenten, also bei Umgebungsbedingungen nicht kondensierbaren Anteilen und einem (aus öliger und wässriger Phase bestehendem) Kondensat. Eine weitergehende Nutzung der Gase ist allgemein mit sehr hohem Aufwand verbunden, da die Kondensate abgetrennt und behandelt werden müssen. Daher wird das erzeugte Pyrolysegas häufig direkt und ohne vorherige Kondensation der flüssigen Bestandteile verbrannt und die Wärme zu Heizzwecken, als Prozessdampf oder zur Stromerzeugung genutzt. Damit fällt jedoch der in diesem Zusammenhang häufig postulierte Vorteil der alternativen thermochemischen Prozesse, nämlich die Erzielung eines höheren elektrischen Wirkungsgrades als die klassische Abfallverbrennung, weg.

Sauber, kostengünstig und regenerativ

ENERGIEGEGEWINNUNG DURCH PYROLYSE

Mit der M.E.E.-Pyrolyse werden aus heutigen Abfall- und Reststoffen Wertstoffe hergestellt, deren energetisches Potenzial vollständig genutzt wird.



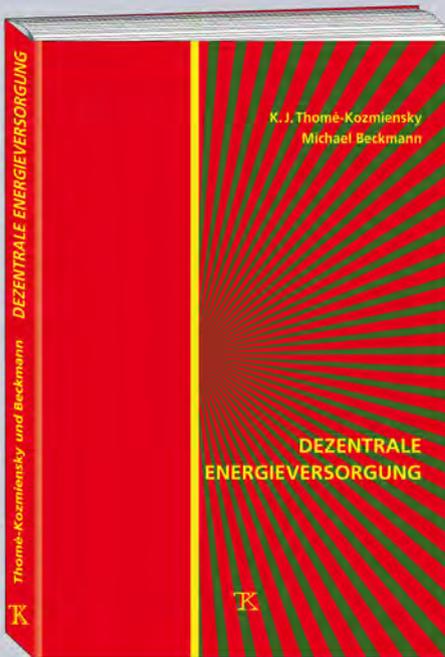
Die M.E.E. GmbH ist ein Unternehmen aus M-V (Schwerin) für eine saubere Zukunft. Informieren Sie sich unter www.m-e-e.biz.

mee

M.E.E. GmbH · Werkstraße 206 · 19061 Schwerin

Telefon: +49(0)385 - 6380 0 · Telefax: +49(0)385 - 6380 201 · E-Mail: info@m-e-e.biz

Dezentrale Energieversorgung



Dezentrale Energieversorgung

ISBN: 978-3-935317-95-5
Erschienen: Juni 2013
Gebundene Ausgabe: 468 Seiten
mit zahlreichen farbigen Abbildungen
Preis: 40.00 EUR

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Die Energiewende mit der Umstrukturierung des Energieversorgungssystems stellt technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Herausforderung dar. Hinsichtlich Ausmaß und Tragweite ist dies eine industrielle Revolution. Die Probleme sind komplex und vielschichtig: Anstrengungen zum Klimaschutz, ungewisse Reichweiten und Verfügbarkeiten fossiler und regenerativer Energieressourcen, Umsetzung des Kernenergieausstiegs bei Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit, dabei stark steigende Energiepreise. Dennoch soll die Versorgungssicherung auch stromintensiver Unternehmen und von Kommunen sicher sein.

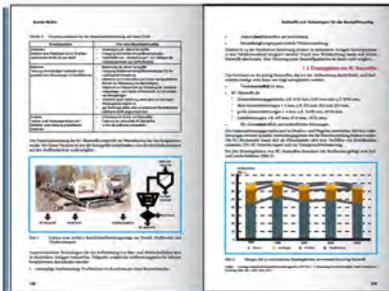
Insbesondere sollen trotz der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und des zögerlichen Ausbaus der Netze und Speicher die Energieeffizienz gesteigert und ausreichende Kraftwerksreservekapazitäten vorgehalten werden.

Dezentrale Lösungen können im günstigen Fall die entscheidende Maßnahme sein.

Etlche Gebietskörperschaften, Industrieunternehmen und Gewerbeparks haben schon Erfahrungen mit dezentralen Energieversorgungskonzepten. Sie werden ihre Erfahrungen und Aktivitäten bei der Berliner Konferenz präsentieren.

Themenschwerpunkte sind:

- Strategien, Konzepte, Wirtschaft, Recht,
- Stadtwerke und regionale Energieversorger – Modelle und Beispiele –,
- Dezentrale Versorgung mit Strom und Wärme – Systemintegration von Erzeugern, Netzen und Verbrauchern –,
- Energetische Verwertung von Biomasse.



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

3.2. Vergasung

Vergasungsverfahren werden entweder autotherm, also bei unterstöchiometrischer Zugabe von Sauerstoff (Luft) zur Wärmefreisetzung mittels Teiloxidation des Brennstoffs, oder allotherm, meist in Wasserdampfatosphäre, durch externe Wärmezuführung mit Energie versorgt. In Bild 1 sind beide Prozessvarianten berücksichtigt.

Vergasungsverfahren sind meist auf die Erzeugung eines Brenngases, das in Folgeprozessen hochwertiger als der Ausgangsstoff Abfall eingesetzt werden kann, fokussiert. Meist zielen die Entwicklungsarbeiten auf eine motorische Nutzung. Auch als Edukt der Methanolherstellung wurden solche Synthesegase aus Abfällen bereits erfolgreich (aber nicht wirtschaftlich) eingesetzt. Zum Teil wird sogar die Verwendung abfallstämmiger Synthesegase als Einsatzstoff für Brennstoffzellen postuliert. Für alle genannten Zwecke muss das erzeugte Gas eine hohe Reinheit besitzen, die einen großen Reinigungsaufwand erforderlich macht.

Neben der Gaserzeugung und -nutzung ist die Herstellung inerter Reststoffe mittels Schlackeverglasung ein weiteres Charakteristikum so mancher Vergasungsprozesse. Hierzu werden die Verfahren bei sehr hohen Temperaturen, oberhalb des Schmelzpunktes der enthaltenen Inertmaterialien betrieben, um ein schwer eluierbares und deshalb gut verwertbares Produkt erzeugen.

3.3. Plasmaverfahren

3.3.1. Plasmaerzeugung

Bei den alternativen Verfahren wird das zur Abfallbehandlung nötigte Temperaturniveau im Allgemeinen direkt durch eine Teiloxidation des Brennstoffs oder indirekt über die Reaktorwand bzw. über einen Wärmeträger eingestellt. Eine weitere Möglichkeit der direkten Wärmezufuhr nutzen Plasmaverfahren. Zur Plasmaherstellung wird einem Gas (Arbeitsgas) eine hohe spezifische Energiemenge zugeführt. Gemäß dem Energieniveau wird der Zustand des angeregten Gases auch als vierter Aggregatzustand bezeichnet.

Zur Generierung eines Plasmas wird in einem so genannten Plasmabrenner durch Gleichspannung zwischen zwei Elektroden ein elektrischer Lichtbogen erzeugt. Plasmabrenner sind in zwei unterschiedlichen Konfigurationen ausgeführt. Bei der Technologie mit nicht übertragenem Lichtbogen befinden sich die Elektroden hintereinander angeordnet, innerhalb eines Gehäuses. Die Kathode ist als Stab ausgeführt und wird axial von einem Arbeitsgas umströmt. Umschließend ist eine gekühlte ringförmige Anode angeordnet, die von diesem Gasstrom durchströmt wird. Der zwischen Kathode und Anode entstehende Lichtbogen liefert die nötige Energie zur Erzeugung des Plasmas. Ein ausreichend großer Gasstrom sorgt dafür, dass sich das Plasma über die Anode hinweg ausbreitet und dahinter als Plasmastrahl aus dem Brenner austritt [3].

Zur Erzeugung eines übertragenen Lichtbogens wird dieser nicht innerhalb eines Gehäuses, sondern zwischen einer freien Stabelektrode und einer bis zu einem Meter weit entfernten, externen Anode aufgebaut (Bild 2, rechts). Aufgrund des hohen

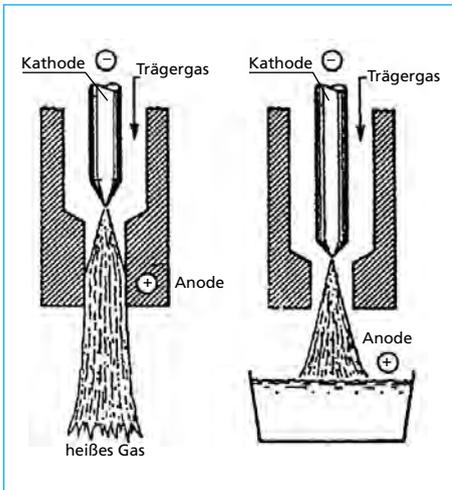


Bild 2: Plasmaerzeugung mittels nicht übertragenem Lichtbogen (links) und übertragenem Lichtbogen (rechts)

Quelle: Bonizzoni, G.; Vasallo, E.: Plasma physics and technology; industrial applications. Vacuum. 64 Jg., 2002, Nr. 3-4, S. 327-336

3.3.2. Plasmapyrolyse

Die Plasmapyrolyse von Abfällen stellt die Prozessbedingungen einer pyrolytischen Konversion unter Einsatz eines Plasmabrenners als Energiequelle ein. Dem entsprechend werden die eingesetzten Abfallstoffe in einer sauerstoffarmen Atmosphäre bei hohen Temperaturen ab 2.000 K in einfache Moleküle aufgebrochen. Die Aufspaltung des Abfalls erfolgt auf zwei Wegen – abhängig davon, ob das umzusetzende Material indirekt durch die vom Plasma abgestrahlte Wärme erhitzt wird oder direkt mit dem Plasma in Kontakt kommt. Im ersten Fall bewirkt die Wärmeeinwirkung, analog zur konventionellen Pyrolyse, ein thermisches Cracken der Makromoleküle. Besteht ein direkter Kontakt zwischen Abfall und Plasma, kollidieren die angeregten Plasmabestandteile (Moleküle, Ionen, Elektronen) auf molekularer Ebene mit dem Aufgabematerial. Dies bewirkt eine zusätzliche Aufspaltung des Pyrolyseprodukts. [7]

In der Literatur existieren zahlreiche Studien über die Behandlung diverser Abfallfraktionen mittels Plasmapyrolyse. In Abhängigkeit des Einsatzstoffs sowie der Verfahrensziele wird, ähnlich der klassischen Pyrolyse, von der Umwandlung des Abfalls in ein heizwertreiches Gas berichtet. Darüber hinaus wurden Versuche zur Rückgewinnung von Monomeren aus Polymeren durchgeführt. Ein weiteres Potential besteht laut den Anwendern in der Zerstörung des Schadpotentials von Sonderabfällen [6]. Die oben genannten Studien beschränkten sich auf die Verwendung homogener, feinkörniger Einsatzstoffe, welche direkt mit dem Plasmastrahl in Kontakt gebracht werden konnten [3].

Wärmeströme werden die im Aufgabegut enthaltenen Metalle und Mineralstoffe eingeschmolzen bzw. verglast. [4]. Diese Schmelze ist über die Reaktorwand geerdet und dient somit als externe Anode. [5] Die oben genannten Möglichkeiten zur Plasmaerzeugung sind in Bild 2 schematisch dargestellt.

Zur thermischen Abfallbehandlung verwendete Plasmen erreichen Temperaturen zwischen 2.000 K und 30.000 K [3]. Bei den alternativen Plasmaverfahren zur thermischen Abfallbehandlung wird, wie auch bei den klassischen alternativen Verfahren, in die Plasmapyrolyse sowie in die Plasmavergasung unterschieden. Bei der Plasmapyrolyse wird als Arbeitsgas ein Inertgas (Argon, Stickstoff) eingesetzt. Hingegen kann bei der Plasmavergasung ein sauerstoffhaltiges Arbeitsgas (Sauerstoff, Luft, Wasserdampf, Kohlenmonoxid) genutzt werden. [6]

3.3.3. Plasmavergasung

In Abgrenzung zur Plasmapyrolyse geschieht die Plasmavergasung mit dem Ziel, ein kohlenstoffmonoxid- sowie wasserstoffreiches Synthesegas aus Abfällen zu erzeugen. Das sauerstoffhaltige Vergasungsmittel ermöglicht die Spaltung von Schwelprodukten (Teere) sowie den Umsatz der Koksfraktion. Durch die Spaltung der Schwelprodukte sinkt der Anteil kondensierbarer Gasbestandteile. Bedingt durch die hohen Prozesstemperaturen wird von einer im Vergleich zu klassischen Vergasungsverfahren insgesamt höheren Gasqualität berichtet. Neben Synthesegaserzeugung werden das Verglasen der Inertfraktion sowie der damit verbundene Schadstoffeinschluss in eine Glasmatrix hervorgehoben. [6, 7]

Insgesamt ist die Verwendung von Plasmaverfahren zur thermischen Abfallbehandlung der Literatur zufolge durch eine hohe Umsatzrate, eine flexible Prozessführung die Erzeugung verwertbarer Produkte sowie die Möglichkeit zur Behandlung hitzebeständiger Materialien gekennzeichnet. Als Nachteil wird der Betrieb des Prozesses ausschließlich mit elektrischer Energie gesehen. [6]

4. Vorgehen

Zur Beurteilung der Eignung und Funktionalität thermochemischer Prozesse für die Abfallbehandlung wurden zunächst die historischen, d.h. nicht mehr betriebenen und die aktuell relevanten Verfahren recherchiert. Dabei lag der Fokus auf den Verfahren, die sich derzeit in Betrieb befinden. Daneben wurden auch Verfahren betrachtet, die in der Vergangenheit über einen längeren Zeitraum im industriellen Maßstab betrieben wurden. Schließlich fanden auch solche Technologien Berücksichtigung, die sich aktuell im Pilotstadium befinden und voraussichtlich in nächster Zeit marktrelevant werden.

Basis des Gutachtens ist eine ausführliche Literaturrecherche, insbesondere im deutschen, englischen, französischen und japanischen Sprachraum. Dabei wurden rund einhundert Verfahren identifiziert, über die Informationsmaterial beschafft wurde.

Die Kerndaten aktuell in Deutschland in der Entwicklung oder im Pilotmaßstab befindlicher Technologien wurden anhand eines Fragebogen erfasst – sofern die Entwicklungsaktivitäten bekannt und die Verantwortlichen zur Datenerhebung bereit waren. Betreiber oder Entwickler, die auf die Zusendung des Fragebogens und eine mehrfache Nachfrage keine Reaktion zeigten wurden im weiteren Verlauf der Studie nicht mehr betrachtet und werden im Abschlussbericht wegen Irrelevanz nicht behandelt.

Im Rahmen der Studie wurden mehrere neue Technologieentwicklungen im Rahmen von Anlagenbegehungen evaluiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die jeweilige Pilotanlage zum Begehungszeitpunkt in Betrieb war und dabei wesentliche Anlagenparameter und Messwerte überprüft und zum Teil auch Probennahmen durchgeführt werden konnten. Intensive Betreiberbefragungen waren wichtiger Bestandteil jeder Anlagenbegehung.

Tabelle 1: Bewertungsschema für den Entwicklungsstand von Anlagen für die thermische Abfallbehandlung

Stand bezüglich	Mindestanforderungen an die Beschreibung des Entwicklungsstandes
Entwicklungsstufe 1	
Anlage Verfahren	Beschreibung des Verfahrens, Tests im Labormaßstab, Einschätzung von Massen- und Energiebilanzen für eine Kernanlage (Verbrennungseinheit, Abgasreinigung)
Eingangs-, Ausgangsstoffe	Beschreibende Analyse der Eingangs- und Ausgangsstoffe (Qualität, Quantität)
Marktchancen	Einschätzung der Marktchancen einer Großanlage aufgrund der Laborergebnisse
Scale-up	Darstellung der Möglichkeiten und Risiken eines Scale-up, Planung einer Versuchsanlage
Entwicklungsstufe 2	
Anlage Verfahren	Stationärer Betrieb einer Versuchsanlage bei unterschiedlichen Last- und Betriebszuständen, Darstellung der Massen- und Energiebilanzen für eine Kernanlage
Eingangs-, Ausgangsstoffe	Analyse der Eingangs- und Ausgangsstoffe (Qualität, Quantität), Darlegung von Möglichkeiten und Grenzen einzelner Eingangsstoffe
Marktchancen	Abschätzung der Marktchancen einer Großanlage
Scale-up	Darstellung der technischen Rahmenbedingungen für ein Scale-up, weitere notwendige Verfahrensschritte für Eintrag und Austrag der Stoffe, Planung einer Technikumsanlage
Betrieb	Abschätzung möglicher Betriebsprobleme (Korrosion, Erosion, Anbackungen etc.)
Entwicklungsstufe 3	
Anlage Verfahren	Stationärer Betrieb einer Technikumsanlage über längere Zeit mit begleitendem Mess- und Analysenprogramm, Validierung der aus der Versuchsanlage abgeleiteten Massen- und Energiebilanzen, Emissionsmessungen
Eingangs-, Ausgangsstoffe	Prüfung der prozesstypischen Stoffe auf ihre Umweltrelevanz und Nutzbarkeit
Marktchancen	Darlegung der Marktchancen einer Großanlage
Scale-up	Technische und wirtschaftliche Interpretation der Mess- und Analyseergebnisse bezüglich einer Großanlage, Größe der Apparate, Materialien, zu erwartende Kosten für Bau und Betrieb einer Großanlage, Kosten pro Tonne Abfall
Betrieb	Einschätzung der zu erwartenden Reisezeit, Anlagenverfügbarkeit und Standzeit einer zu konzipierenden Großanlage
Entwicklungsstufe 4	
Anlage Verfahren	Betrieb einer großtechnischen Anlage in bestimmungsgemäßen Betrieb über 1 bis 2 Jahre, Bestätigung der Massen- und Energiebilanzen, Emissionswerte
Eingangs-, Ausgangsstoffe	Nachweis der Eignung der Anlage für die geplanten Eingangsstoffe, Möglichkeiten der Vermarktung prozesstypischer Produkte
Marktchancen	Validierung der Investitions- und Betriebskosten (Business Plan)
Betrieb	Nachweis der Verfügbarkeit und Reisezeit
Entwicklungsstufe 5	
Anlage Verfahren	Großtechnische Anlage im bestimmungsgemäßen Betrieb über mehrere Jahre, Beurteilung der Umweltrelevanz von Verfahren und Anlage
Eingangs-, Ausgangsstoffe	Nachweis der Entsorgung der Einsatzstoffe, Nachweis der Vermarktung prozesstypischer Produkte
Marktchancen	Nachvollziehbare Darstellung der Investitions- und Betriebskosten über mehrere Jahre
Betrieb	Optimierung von Verfügbarkeit und Reisezeit, z.B. durch technische, organisatorische und/oder logistische logistische Maßnahmen

Quelle: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3460, Emissionsminderung thermische Abfallbehandlung, Düsseldorf 2014

Die Bewertung der Technologien erfolgte unter anderem anhand anlagenspezifischer Parameter wie, Laufzeit, Verfügbarkeit, Massen- und Energiebilanzen, Qualität der Einsatzstoffe und Produkte, Emissionen und Behandlungspreisen, soweit diese verfügbar waren bzw. gemacht wurden. Als wesentliches Kriterium für die Vermarktbarkeit wurden auch ökonomische Parameter betrachtet.

Für die Bewertung der Relevanz, Marktverfügbarkeit aber auch Förderwürdigkeit von neuentwickelten Verfahren sind transparente Kriterien ausschlaggebend. Wichtig in diesem Zusammenhang ist der Entwicklungsstand von neuen Verfahren. Um hierfür eine Basis zu schaffen, hat die Arbeitsgruppe der VDI 3460, Emissionsminderung – Thermische Abfallbehandlung ein einfaches Schema zur Bewertung dieses Entwicklungsstandes erarbeitet. Tabelle 1 zeigt das Schema. Unterschieden werden 5 Entwicklungsstufen, vom Labormaßstab bis zur mehrjährig erprobten großtechnischen Anlage. Die Einstufung nach diesem Schema war ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der betrachteten Prozesse.

5. Stand und Ausblick

Auch in den letzten Jahren sind wieder verschiedentlich alternative Verfahren zur thermischen Abfall- oder Reststoffbehandlung in Deutschland gescheitert bzw. wurden von den Betreibern aufgegeben. Beispielhaft zu nennen sind hier das über mehrere Jahre betriebene Contherm-Verfahren, die Vergasungsanlagen Blauer Turm oder die Klärschlammbehandlungsanlage in Dinkelsbühl-Crailsheim.

Neben einigen Anlagen zur Behandlung von Spezialfraktionen, wie der Reifen-Vergasungsanlage am Zementwerk Rüdersdorf oder der Klärschlammvergasungsanlage in Balingen, wird in Deutschland nur eine alternative thermische Anlage zur Behandlung von Restabfall betrieben. Dies ist die Hausmüllpyrolyseanlage in Burgau.

Aktuell befinden sich mehrere neue Verfahren in der Entwicklung. Als Einsatzstoffe fokussieren diese Prozesse meist auf voraufbereitete Sonderfraktionen wie Klärschlämme, Elektroschrott, Shredderfraktionen oder, im Fall der Verölungsverfahren, auf Kunststoffe. Kaum eines dieser Verfahren hat bisher die Entwicklungsstufe 4 erreicht, die einen großtechnisch grundsätzlich erprobten Prozess charakterisiert. Allerdings befinden sich mehrere Verfahren auf Stufe 3. Deren Entwicklungsstand lässt zum Teil das künftige Erreichen von Entwicklungsstufe 4 erwarten.

Das Sachverständigengutachten zu den alternativen Verfahren für die thermische Entsorgung von Abfällen befindet sich zur Drucklegung dieses Artikels noch in der Bearbeitung. Die zur Auswertung erforderlichen Daten lagen aufgrund noch ausstehender Fragebögen nicht vollständig vor.

Daher ist ein abschließendes Fazit an dieser Stelle nicht möglich.

6. Literatur

- [1] Clean Association of Tokyo (Hrsg.): Waste report 2013
- [2] Europäische Kommission (Hrsg.): BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung, Sevilla 2005

- [3] Huang, H.; Tang, L.: Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management*. 48. Jg., 2007, Nr 4
- [4] Bonizzoni, G.; Vasallo, E.: Plasma physics and technology; industrial applications. *Vacuum*. 64 Jg., 2002, Nr. 3-4, S. 327–336
- [5] Gomez, E.; Amutha Rani, D.; Cheeseman, C.R.; Deegan, D.; Wise, M.; Boccaccini, A.R.: Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 161 Jd., 2009, Nr.2-3
- [6] Heberlein, J.; B Murphy, A.: Thermal plasma waste treatment. Topical review. In: *Journal of Physics D: Applied Physics*. 053001. Jg., 2008, Nr. 41
- [7] Helsen, I.; Bosmans, A.: Waste-to-Energy through thermochemical processes. Matching waste with process. In: *Proceedings of the International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining - Enhanced Landfill Mining and the transition to Sustainable Materials Management*. Houthalen-Helchteren, Belgium, 4-6 October, 2010.