

## VERBESSERUNG DES VERBRENNUNGSABLAUFES

R. Jeschar, M. Beckmann, F. Schulenburg

### 1. EINLEITUNG

In der Bundesrepublik Deutschland fallen jährlich etwa 23 Mio t Hausmüll sowie hausmüllähnlicher Gewerbemüll an, der bisher überwiegend deponiert oder verbrannt wurde. Nur ein geringer Teil wurde einer erneuten Verwertung zugeführt. Da sich in der Vergangenheit weder die Deponierung noch die Verbrennung als problemlos erwiesen haben, unternimmt man gegenwärtig große Anstrengungen, den Abfall überhaupt nicht erst entstehen zu lassen bzw. einer Wiederverwendung zuzuführen. Trotz dieser Entwicklung wird es aber nicht vermeidbar sein, daß auch in Zukunft ein beachtlicher Teil des anfallenden Abfalls verbrannt bzw. anderweitig thermisch entsorgt werden muß und daß die Reststoffe zu deponieren sind. Für alle diese Verfahren entsteht noch ein erhebliches Entwicklungspotential.

Man hat davon auszugehen, daß es kein Verfahren gibt, das für die Entsorgung aller Abfallstoffe gleichermaßen geeignet ist. Will man aber eine optimale Schonung der zur Verfügung stehenden Ressourcen und der Umwelt erreichen, so ist für jede Abfallart eine ganz bestimmte Entsorgungskonzeption zu entwickeln. Dabei wird es fast die Regel sein, daß jeweils mehrere Entsorgungstechnologien in geeigneter Weise zusammenschalten sind. Welche Möglichkeiten es dabei vor allem bei der thermischen Entsorgung gibt, ist Gegenstand dieses Berichtes.

### 2. VORBEHANDLUNG VON HAUSMÜLL UND GEWERBEMÜLL

Werden der eingesammelte Hausmüll und Gewerbeabfall unmittelbar, wie in Bild 1 dargestellt, einer Müllverbrennungsanlage zugeführt, so ist eine erneute Verwendung von Wertstoffen in der Regel kaum möglich. Zur Gewährleistung der Emissionsgrenzwerte ist ein hoher Aufwand bezüglich der Abgasreinigungs- und Rückstandsbehandlungsanlagen erforderlich.

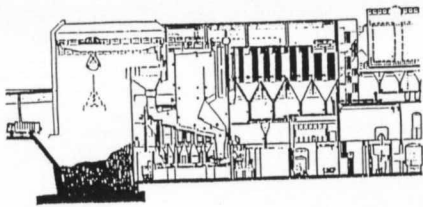


Bild 1: Beaufschlagung einer Müllverbrennungsanlage mit Haus- und Gewerbemüll (ohne Vorbehandlung)

In einem zukünftigen Abfallkonzept ist zunächst durch mechanische Grundoperationen wie z.B. Sieben, Zerkleinern, Sortieren, Sichten eine Trennung der Abfallstoffe in weitestgehende verwertbare Fraktionen anzustreben. In Bild 2 ist ein verfahrenstechnisches Fließbild für eine solche Vorbehandlung dargestellt.

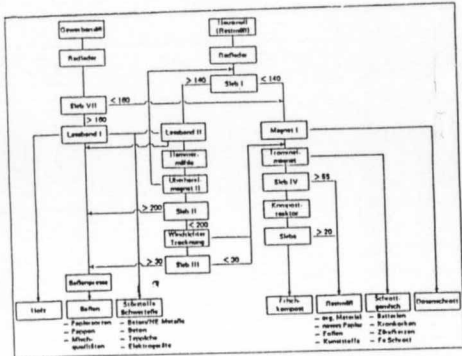


Bild 2: Verfahrenstechnisches Fließbild für eine Vorbehandlung von Haus- und Gewerbemüll [1]

Gewerbemüll und Hausmüll werden in zwei unterschiedlichen Verfahrenslinien behandelt. Entsprechend ihrer Eigenschaft können einzelne Fraktionen nach dieser Vorbehandlung einer direkten Verwertung in einem Produktionsverfahren zugeführt werden. Beispielsweise kann ein Teil der Abfallfraktion durch aerobe Behandlung zu einem in der Landwirtschaft einsetzbaren Frischkompost aufgearbeitet werden. Papiersorten und Pappen werden zu vermarktungsfähigen Ballen gepreßt.

Es verbleiben aber eine Reihe von Fraktionen, die in der anfallenden Form weder verwertet werden können noch deponiert werden dürfen. Sie sind somit einer weiteren Behandlung zu unterziehen. In Frage kommen chemisch/physikalische und biologische Verfahren, deren Stammbäume in Bild 3 dargestellt sind.

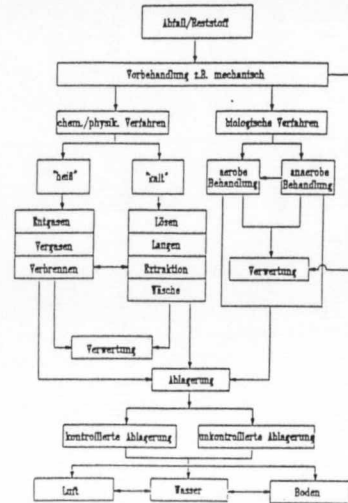


Bild 3: Systematische Darstellung möglicher Abfall-/Reststoffbehandlungsverfahren

Die einzelnen Stufen werden hier jeweils nach den übergeordneten verfahrenstechnischen Prozessen bezeichnet. Es kann durchaus der Fall sein, daß für Zwischenbehandlungsstufen oder vor einer kontrollierten Ablagerung erneut mechanische Verfahren angewendet werden. Bei den biologischen Verfahren unterscheidet man grob in aerobe und anaerobe Verfahren. Die chemisch/physikalischen Behandlungsverfahren lassen sich weiter in Verfahren unterteilen, die den Fachgebieten der Aufbereitungstechnik und der Hochtemperaturverfahrenstechnik zugeordnet werden können. Im weiteren wird auf die Gruppe der letztgenannten Verfahren, die oftmals auch als thermische Verfahren zusammengefaßt sind, näher eingegangen.

### 3. THERMISCHE BEHANDLUNGSVERFAHREN

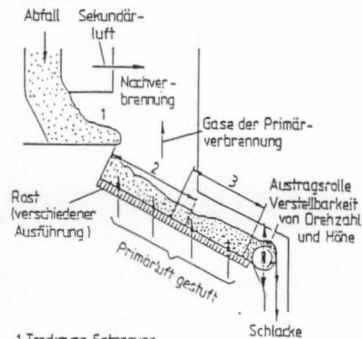
Restmüllfraktionen aus Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, die nach einer Vorbehandlung keiner direkten Verwertung zugeführt werden können, müssen gegebenenfalls einer weiteren thermischen Behandlung zugeführt werden. Dabei bestehen die Zielsetzungen:

- weitestgehende Inertisierung dieser Stoffe,
- Zerstörung gefährlicher, zum Teil chemisch kompliziert zusammengesetzter Verbindungen  
(nach Möglichkeit sollen die Rückstände in verwertbarer Form anfallen),
- energetische Nutzung.

In der Regel sind diese Restmüllfraktionen von fester stückiger Konsistenz. Sie werden häufig einer Verbrennung in Rostfeuerungen zugeführt.

Bei der Feststoffverbrennung laufen, wie in Bild 4 dargestellt, nach einer Trocknung die Entgasung, Vergasung und der Ausbrand des Feststoffes sowie der Ausbrand des Gases als Teilschritt ab. Sind die einzelnen Reaktionszonen, in denen diese Teilschritte ablaufen ungenügend voneinander getrennt, d.h. werden mehrere Zielstellungen in nahezu einem Reaktionsraum angestrebt, so sind eine Vielzahl von unterschiedlichen Einfluß

größen überlagert und, eine Optimierung im Hinblick auf die Reduzierung von Schadstoffen durch die Prozeßführung ist schwierig. Durch eine Auftrennung der Prozeßführung wird eine Reduzierung der Ziel- und Einflußgrößen in jeder einzelnen Prozeßstufe erreicht.



1. Trocknung, Entgasung
2. Trocknung, Entgasung, Vergasung
3. Verbrennung, Ausbrand der Schlacke

Bild 4: Verbrennungsablauf in Rostfeuerungen

Der Verbrennungsprozeß stückiger fester Restabfallstoffe kann zunächst in die Teilabschnitte

- Vorverbrennungsstufe und
- Nachverbrennungsstufe

unterteilt werden [2]. In Bild 5 ist eine mehrstufige Verbrennungsführung schematisch dargestellt. Dabei ist die erste Verbrennungsstufe auf einem Verbrennungsrost unter den Gesichtspunkten

- eines möglichst vollständigen Asche-/Schlackeausbrandes und
- der Reduzierung des Flugstaubaustrages usw.

zu betreiben.

Die Nachverbrennungsstufe ist wie eine eigenständige Feuerung für gasförmige, flüssige und staubförmige Brennstoffe im Hin-

blick auf

- einen hohen Ausbrand der aus der Roststufe stammenden Abgase und des nicht vermeidbaren Flugstaubanteils.
- einen hohen Abbaugrad chemisch stabiler Verbindungen (PCB, PCDD, PCDF usw.).
- die Vermeidung bzw. Reduzierung von  $NO_x$  usw.

zu konzipieren.

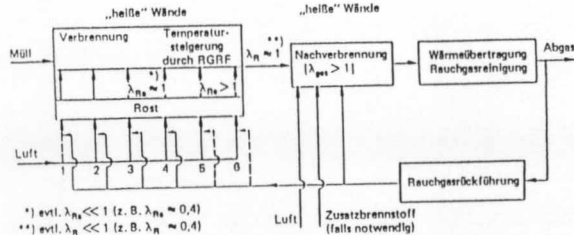


Bild 5: Schematische Darstellung einer mehrstufigen Verbrennungsführung in Rostfeuerungsanlagen

In der Roststufe wird unabhängig von der Zusammensetzung der entweichenden Gase ein hoher Feststoffumsatzgrad angestrebt. Bezogen auf die Elementarzusammensetzung des Brennstoffes liegen im Rostbereich nächststöchiometrische bis stark unterstöchiometrische Verhältnisse (z.B.  $\lambda = 0,4$ ) vor. Die in der Roststufe zugeführten Primärluftmassenströme und damit die Strömungsgeschwindigkeiten sind entsprechend niedrig, was u.a. eine Reduzierung der Flugstaubmenge und der Flugstaubpartikelgröße zur Folge hat.

Zur Gewährleistung von einheitlichen Temperaturverhältnissen in den einzelnen Reaktionbereichen bei Verbrennungsprozessen ist auf eine Wärmeauskopplung, verbunden mit "kalten" Wärmeübertragerflächen im Verbrennungsraum, zu verzichten. Das Temperaturniveau muß einstellbar sein. Im vorliegenden Beispiel werden zur Temperatursteuerung im Rostbereich und zur Vermeidung von Überhitzungen der mechanischen Rostelemente "kalte", gereinigte Abgase zurückgeführt. Der Vorteil niedriger Primär-

luftmassenströme im Rostbereich im Hinblick auf die Reduzierung der Flugstaubmenge wird durch eine Abgasrückführung teilweise wieder etwas verringert. Es ist deshalb bei der Konstruktion von Verbrennungsrosten darauf zu achten, daß der Druckverlust der Rostelemente sehr viel höher sein muß als der Druckverlust der Brennstoffschüttung. Mit der Abgasrückführung kann aber die Trocknung am Rostanfang unterstützt werden. In diesem Bereich ist keine Primärluftzufuhr als Reaktionsluft erforderlich. Bei einer solchen Betriebsweise der Roststufe enthalten die Abgase noch unverbrannte Bestandteile. Es ergeben sich somit zusätzliche Freiheitsgrade hinsichtlich der Verbrennungsführung in der Nachverbrennungsstufe, da das Abgas wie ein Brennstoff betrachtet werden kann. Das Bild 6 zeigt eine schematische Darstellung der Verbrennungsführung in der Nachverbrennungsstufe.

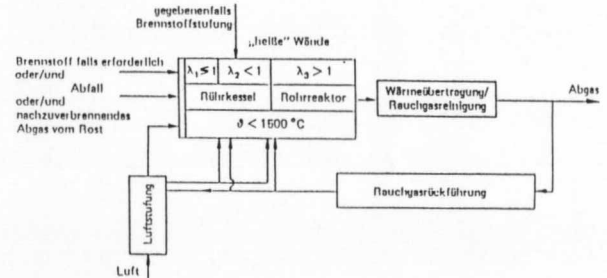


Bild 6: Schematische Darstellung der Verbrennungsführung in der Nachverbrennungsstufe (z.B. hinter einer Roststufe) [4]

Es sind dabei die gleichen grundsätzlichen Gesichtspunkte wie für gasförmige, flüssige und staubförmige Brennstoffe zu beachten. Darüber ist bereits mehrfach berichtet worden [z.B. 4 bis 9]. Es sei deshalb hier nur stichpunktartig erwähnt, daß im Hinblick auf optimale Reaktionsbedingungen:

- für eine sichere Zündung und eine stabile Verbrennung eine hohe Mischungsintensität, z.B. durch ein "Rühr-

- "kessel"-Element anzustreben ist,
- zur Vermeidung von "kalten" Wänden und bei Brennstoffen mit niedrigen Heizwerten die Verbrennung und die Wärmenuskoppelung zu trennen sind,
- Möglichkeiten zur variablen Einstellung eines gewünschten Temperaturniveaus, z.B. durch Abgasrückführung, Veränderungen der Luftmassenströme, Wassereindüsung, vorzusehen sind,
- im Hinblick auf die Reduzierung von Stickoxiden eine variable Einstellung von Konzentrationsverhältnissen, z.B. durch Luftstufung, Brennstoffstufung, Abgasrückführung, möglich ist,
- für einen hohen Abbaugrad, z.B. von CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, PCDD, PCDF die Nachschaltung eines "Kolbenströmer"-Elementes günstig ist.

Im Rahmen eines vom Land Niedersachsen geförderten Forschungsvorhabens wurde in Zusammenarbeit mit einem mittelständischen Unternehmen eine Pilotanlage für Versuche zur mehrstufigen Verbrennungsführung von BRAM errichtet. Der Restkohlenstoffgehalt der Asche nach der Roststufe betrug 0.5 Ma.-%. Durch eine Luftstufung und Abgasrückführung in der Nachverbrennungsstufe wurde eine Absenkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf 300 mg/m<sup>3</sup> (i.N.tr. bei 11 Vol.-% O<sub>2</sub>) bei gleichbleibend niedrigen CO-Gehalten (< 10 mg/m<sup>3</sup> (i.N.tr. bei 11 Vol.-% O<sub>2</sub>)) erreicht [2].

Versuche zu einer Optimierung der mehrstufigen Verbrennungsführung stehen jedoch noch aus. Dabei muß in Zukunft zu weitaus größerem Maß die Zielsetzung einer Beeinflussung der Eigenschaften der festen Rückstände durch die Prozeßführung in der Roststufe mit einbezogen werden.

Zu dieser Thematik wird gegenwärtig in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Energieverfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal und der CUTEC-Institut GmbH ein Forschungsvorhaben vorbereitet. Dafür steht eine vom Land Niedersachsen geförderte Pilotanlage zur Verfügung.

Im Sonderforschungsbereich 134 der Deutschen Forschungsgemeinschaft, "Erdöltechnik - Erdölchemie", wird u.a. die schadstoffarme Verbrennung von gasförmigen, flüssigen und staubförmigen Brennstoffen am Institut für Energieverfahrenstechnik an einer

Pilotanlage untersucht. Den schematischen Aufbau dieser Anlage zeigt Bild 7. Hinsichtlich der Verbrennungsführung sind konzeptionelle die o.g. Aspekte berücksichtigt.

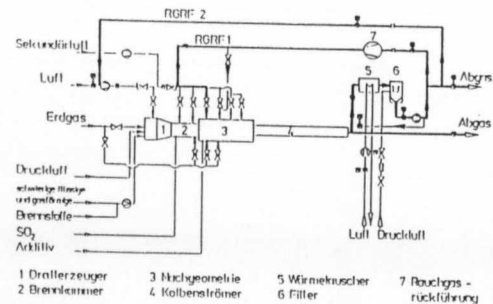


Bild 7: Anlagentech. Grundfließbild des Drallkammersystems [4]

Beispielhaft für ein Ergebnis bei der Verbrennung eines flüssigen Erdölrückstandes (Vakuurrückstand) sei auf Bild 8 verwiesen.

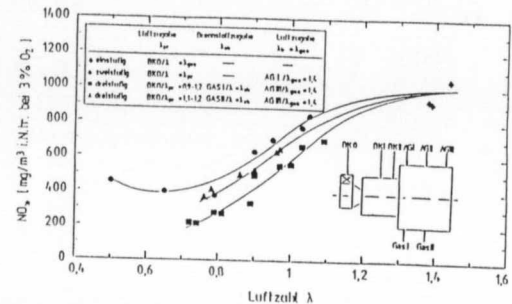


Bild 8: NO<sub>x</sub>-Konzentration bei der mehrstufigen Verbrennung von flüssigem Erdölrückstand (Vakuurrückstand) [10]

Es ist zu erkennen, daß durch eine Luftstufung und Brennstoffstufung eine erhebliche Absenkung der  $\text{NO}_x$  - Emissionen erreicht wird. Weiterhin wird deutlich, daß neben dem Grad der Unterstöchiometrie in der ersten bzw. zweiten Stufe auch die Verweilzeit, d.h. der Ort der Brennstoffzugabe wichtig ist. Bei einer zwei- und dreistufigen Betriebsweise werden bei Luftzahlen von jeweils  $\lambda = 0.7$  CO-Konzentrationswerte von  $15 \text{ mg/m}^3$  (i.N.tr. bei 3 Vol.-%  $\text{O}_2$ ) erreicht [10].

Neben den Möglichkeiten der Reduzierung von Schadstoffen durch die Verbrennungsführung sind jedoch sekundäre Maßnahmen zur Abgasreinigung weiterhin vorzusehen. Der schematische Aufbau einer modernen Abgasreinigungsanlage hinter einer Müllverbrennungsanlage ist beispielhaft in Bild 9 dargestellt. Durch die Verbesserung der Verbrennungsführung kann jedoch eine erhebliche Verminderung des Aufwandes und der Baugrößen erreicht werden.

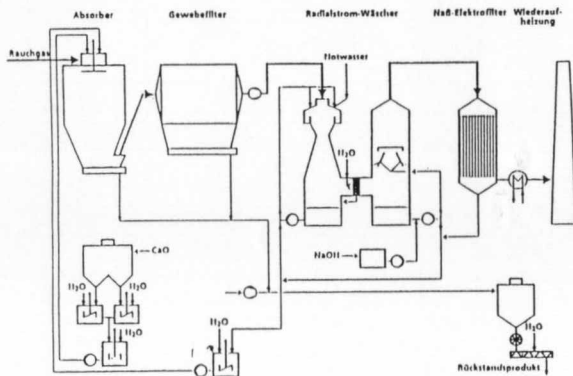


Bild 9: Anlagentechnisches Fließbild einer modernen Abgasreinigungsanlage hinter einer Müllverbrennungsanlage [11]

Im Unterschied zu den o.g. Verbrennungsverfahren ist für bestimmte Restmüllfraktionen eine weitere Aufteilung der Teil-

schritte Entgasung, Vergasung usw. mit jeweils zwischengeschalteten Behandlungsstufen, wie in Bild 10 dargestellt, in Betracht zu ziehen. Ein solches Konzept kann z.B. für Restmüllfraktionen mit einem hohen Gehalt an chlororganischen Verbindungen bzw. im Hinblick auf die gezielte Stofftrennung von Verbundmaterialien aus Kunststoffen und Metallen wie z.B. Platinenschrott angestrebt werden.



Bild 10: Schematische Darstellung einer Aufteilung der Prozessstufen Entgasung, Vergasung mit jeweils zwischengeschalteten Prozessstufen

Ein möglicher Verfahrensablauf ist in Bild 11 abgebildet. In einer ersten Prozessstufe findet eine Entgasung des Feststoffes statt. Bei einer Prozesstemperatur von ca.  $300^\circ\text{C}$  und unter Luftausschuß tritt z.B. bei PVC-Kunststoffen eine deutliche Zersetzung auf. Bei weiterer Temperaturerhöhung werden aus den anderen organischen Einsatzstoffen zahlreiche, überwiegend höhermolekulare Kohlenwasserstoffverbindungen gebildet. Die Endtemperatur und die Anheizgeschwindigkeit sind so zu wählen, daß ein nichtflüchtiger koksartiger Rückstand ver-

bleibt. Gegebenenfalls kann die Entgasung selbst wieder in mehrere Teilentgasungsstufen aufgeteilt werden. Das Entgasungsgas erhält einen hohen Anteil höhermolekulare, zum Teil auch chlorhaltige Kohlenwasserstoffverbindungen und wird zur weiteren Behandlung einer Hydrierstufe zugeführt.

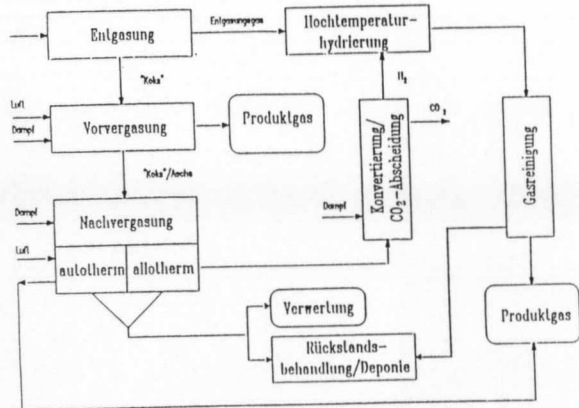


Bild 11: Schematische Darstellung des Verfahrensablaufes einer in die Teilstufen Entgasung, Vergasung usw. unterteilten Prozeßführung (Erklärung im Text)

Der feste Entgasungsrückstand ist häufig durch einen hohen Kohlenstoffgehalt gekennzeichnet. Außerdem können verschiedene metallische und mineralische Verbindungen darin enthalten sein. In einer der Entgasung nachgeschalteten Vorvergasungsstufe wird zunächst ein Teil des fixen Kohlenstoffes umgesetzt. Es bildet sich ein Vergasungsgas das, gegebenenfalls nach einer Reinigungsstufe, z.B. prozeßintern zur Deckung des Energiebedarfes bereitgestellt werden kann.

In einer Nachvergasung findet der Umsatz des Restkohlenstoffes statt. Die für die endothermen Vergasungsreaktionen benötigte Energie kann entweder durch partielle Oxidation in dem Vergas-

ungsreaktor selbst freigesetzt (autotherm) oder indirekt zugeführt werden (allotherm). Zur Begrenzung des Aufwandes bei der Bereitstellung des Wasserstoffes für die Hydrierung empfiehlt es sich jedoch, mindestens eine Vergasungsstufe allotherm zu betreiben. Das dabei erzeugte Vergasungsgas enthält überwiegend Wasserstoff und Kohlenmonoxid.

Nach einer Konvertierung und Kohlendioxidabscheidung ist dieses Gas mit der Qualität eines technischen Wasserstoffes für den Einsatz in der Hydrierstufe geeignet.

In Bild 12 ist das Thermogramm für die Zersetzung von Polyvinylchlorid in einer Heliumatmosphäre bei einer Aufheizrate von 20 K/min dargestellt. Es werden dabei überwiegend Chlorwasserstoff und Benzol abgespalten. Die Dehydrochlorierung ist nahezu quantitativ, d.h. der entgaste Rückstand ist nahezu frei von organischen Chlorverbindungen.

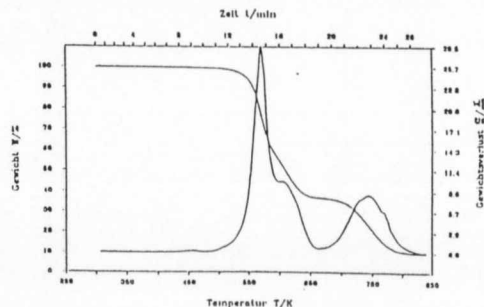


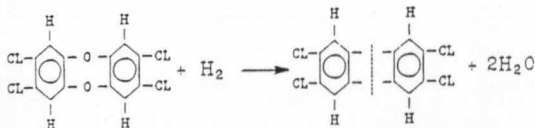
Bild 12: Thermogramm für Polyvinylchlorid [12]

Entsprechend den in Bild 13 dargestellten Reaktionsabläufen erfolgt in der Hydrierstufe unter Zugabe von Wasserstoff bei Prozeßtemperatur oberhalb 900°C eine nahezu vollständige Dechlorierung und die Aufspaltung zu niedrigmolekularen Kohlenwasserstoffverbindungen. Nach der Hydrierung kann dieser Gasstrom mit einfachen Verfahren der Gasaufbereitung gereinigt und entweder energetisch oder zu Synthesezwecken genutzt werden.

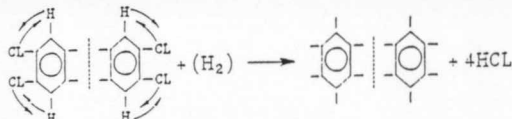
### Reaktionsablauf (vereinfachte Darstellung)<sup>\*)</sup>

**Phase 1:** Binden der Sauerstoffbrückenatome durch zugeführten Prozezwasserstoff (Kondensationsreaktion).

Dioxin + Wasserstoff → "chlorierte + Wasser Benzole" (output)

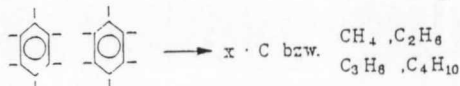


**Phase 2:** Bildung von HCL-Gas als Überwiegend "molekül-interne" Reaktion.



"chlorierte Benzole" + Wasserstoff → Benzole bzw. + HCL Gas  
andere KW

**Phase 3:** "Aufbrechen" der C-Ringe zu amorphem Kohlenstoff bzw. durch Anlagerung von Wasserstoff Entstehung niedriger KW (Methan, Ethan, Butan...)

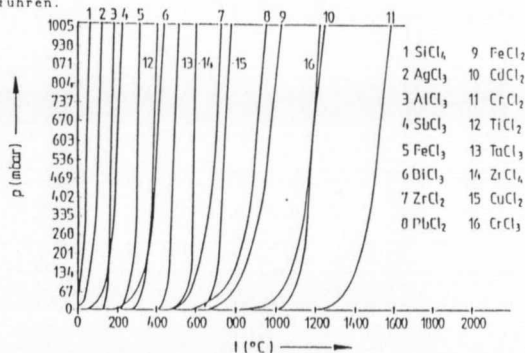


Benzole bzw. → Kohlenstoff + niedere Gase (KW)  
andere KW output

**Bild 13:** Reaktionsablauf bei der Hydrierung von chlororganischen Verbindungen

<sup>\*)</sup> aus: Informationsschrift "Input-Output-Darstellungen verschiedener toxischer Stoffe, z.B. Sickeröl einer Mülldeponie" der GUS Systemtechnik GmbH; Weidenstraße 31, 4504 Georgsmarienhütte

Bei entsprechender Prozeßführung der einzelnen Entgasungs- und Vergasungsstufen können jeweils zwischen den Stufen einzelne Stoffströme abgezogen werden. Zum Beispiel können gummierte Form-Stahlteile nach einer schonenden Entgasung und einer mechanischen Abtrennung des koksartigen Rückstandes erneut dem Produktionsprozeß zugeführt werden. Es verbleibt nach allen Stufen u.a. ein fester Rückstand, der vergleichsweise zu einem Verbrennungsverfahren gering ist. Dieser kann entweder direkt deponiert werden oder ist einer weiteren Rückstandsbehandlung zuzuführen.



**Bild 14:** Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur für verschiedene Metallchloride [13]

Die Vorteile der oben geschilderten mehrstufigen Prozeßführung sind insbesondere darin zu sehen, daß entsprechend der Anzahl der Stufen und der jeweils gewählten verfahrenstechnischen Parameter verschiedene Stoffströme thermisch fraktioniert werden können. Die Massenströme dieser abgezogenen Stoffströme sind entsprechend niedrig und die für eine weitere Abscheidung in Frage kommenden Stoffe liegen in angereicherter Form vor. Die jeweils nachfolgenden Verfahrens- bzw. Zwischenbehandlungsstufen können somit einzeln im Hinblick auf die Separation ganz spezieller Komponenten betrieben werden. Beispielsweise lassen



sich die Druck- und Temperaturverhältnisse in den Ent- und Vergasungsstufen so einstellen, daß bestimmte Schwermetallverbindungen im festen Rückstand verbleiben oder separiert in die Gasphase übertreten.

In Bild 14 sind die Dampfdrücke abhängig von der Temperatur für verschiedene Metallchloride dargestellt. Daraus ist zu erkennen, daß Kupferchlorid, das bekanntlich für eine Neubildung von Dioxinen und Furanen im "kalten" Abgasstrom eine katalytische Wirkung aufweist, bei Prozeßtemperaturen unterhalb 650°C weitestgehend im festen Rückstand verbleibt.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß zur Senkung des Energiebedarfes bei der mehrstufigen Prozeßführung eine umfangreiche energetische Analyse erforderlich ist.

#### 4. AUSBLICK

In diesem Beitrag werden Möglichkeiten der Prozeßführung bei der thermischen Behandlung von Restmüll, der nach einer mechanischen Vorbehandlung verbleibt, vorgestellt. Die Kombination verschiedener Verfahrensstufen richtet sich dabei hauptsächlich nach der Beschaffenheit der Abfallstoffe. Die vorangehenden Betrachtungen zeigen, daß in diesem Bereich ein erhebliches Entwicklungspotential vorhanden ist. Es sind jedoch dabei noch eine große Anzahl von Grundlagenuntersuchungen durchzuführen. Für die Untersuchung der Wirksamkeit von Primärmaßnahmen bei der mehrstufigen Verbrennungsführung wurde gemeinsam vom Institut für Energieverfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal und der CUTEK-Institut GmbH eine vom Land Niedersachsen geförderte Rostfeuerungsanlage mit unabhängiger Prozeßführung in der Rost- und in der Nachverbrennungsstufe im Pilotmaßstab errichtet. Neben einer Reduzierung der gas- und staubförmigen Emissionen, sollen Möglichkeiten zur gezielten Beeinflussung der Eigenschaften der festen Rückstände "(Asche, Schlacke) in der Roststufe untersucht werden.

Weiterhin wird an der Entwicklung einer Versuchsanlage der mehrstufigen Ent- und Vergasung unter Einbeziehung verschiedener Zwischenbehandlungsstufen, wie z.B. einer Hydrierung, gearbeitet.

#### 5. LITERATURHINWEISE

- [1] Hoppenheit, P.; Bewerunge, J.; Allhorn, H.: Abfallaufbereitungstechnik als Bestandteil eines integrierten Abfallwirtschaftskonzeptes; Technische Überwachung 32 (1991) 10
- [2] Jeschar, R.; Scholz, R.; Schopf, N.: Mehrstufige Prozeßführung bei der Verbrennung von BRAM; in: K. J. Thomé-Kozmiensky: Müllverbrennung und Umwelt 2; EF - Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1987
- [3] Scholz, R.; Beckmann, M.: Möglichkeiten der Verbrennungsführung bei Restmüll in Rostfeuerungsanlagen; VDI-Berichte 895, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [4] Scholz, R.; Jeschar, R.; Schopf, N.; Klöppner, G.: Prozeßführung und Verfahrenstechnik zur schadstoffarmen Verbrennung von Abfällen; Chem.-Ing.-Tech. 62 (1990) 11
- [5] Hasberg, W.; Römer, R.: Organische Spurenschadstoffe in Brennräumen von Anlagen zur thermischen Entsorgung; Chem.-Ing.-Tech. 60 (1988) 6
- [6] Kolb, T.; Sybon, G.; Leuckel, W.: Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Bildung aus brennstoffgebundenem Stickstoff durch gestufte Verbrennungsführung; 4. Tecflam-Seminar, Heidelberg, 1990
- [7] Günther, R.: Verbrennung und Feuerungen Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1974
- [8] Eberius, H.; Just, Th.; Kelm, S.; Warnatz, J.: Modellierung der Stickoxidbildung von brennstoffgebundenen Stickstoff in dotierten Kohlenwasserstoff/Luftflammen mit Inertgaszusatz; VDI-Berichte, VDI-Verlag, Düsseldorf 1989

- [9] Kremer, H.; Schulz, W.:  
Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen durch verbrennungstechnische Maßnahmen;  
VDI-Berichte 495, VDI - Verlag, Düsseldorf 1984
- [10] Malek, C.; Jeschar, R.; Scholz, R.:  
Verfahrenstechnik zur schadstoffarmen Verbrennung von Erdölrückständen;  
VDI-Berichte 922, VDI - Verlag, Düsseldorf 1991
- [11] Reiss, G.; Knoche, R.:  
Rauchgasreinigung am Beispiel des 1988 in Betrieb genommenen MHKW-Coburg;  
Informationsschrift der Lurgi GmbH
- [12] Knümann, R.; Schleussner, M.; Bockhorn, H.:  
Untersuchung zur Pyrolyse von PVC und anderen Polymeren; VDI-Bericht 922, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [13] Rechnungsunterlagen für das Metallhüttenmännische Seminar; Institut für Metallhüttenwesen  
Institut für Metallhüttenwesen der Technischen Universität Clausthal; 6. Auflage 1984

Prof.Dr.-Ing. R. Jeschar  
Dipl.-Ing. F. Schulenburg  
Technische Universität Clausthal  
Institut für Energieverfahrenstechnik  
Agricolastr.4  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Dipl.-Ing. M. Beckmann  
Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH-  
CUTEC-Institut GmbH  
Berliner Straße 2  
3392 Clausthal-Zellerfeld