

Hinweise und Erläuterungen

zu

Anhang 33

Wäsche von Abgasen aus der Verbrennung  
von Abfällen

**der Verordnung über Anforderungen an das  
Einleiten von Abwasser in Gewässer**

Nur für den Dienstgebrauch

Inhaltsverzeichnis:

1	Anwendungsbereich.....	3
2	Abwasseranfall und Abwasserbehandlung.....	3
2.1	Herkunft, Menge und Beschaffenheit des Rohabwassers.....	3
2.1.1	Verbrennungsanlagen für Abfälle.....	3
2.1.2	Verfahren der Abgasreinigung.....	9
2.1.3	Abwasseranfall und Abwasserbeschaffenheit.....	10
2.2	Abwasservermeidungsverfahren und Abwasserbehandlungsverfahren.....	12
2.3	Abfallverwertung und Abfallbeseitigung.....	13
3	Auswahl der Parameter, für die Anforderungen zu stellen sind.....	13
3.1	Hinweise für die Auswahl der Parameter.....	13
3.2	Hinweise für die Auswahl von Parametern, die gegebenenfalls im Einzelfall zusätzlich begrenzt werden sollen.....	14
4	Anforderungen an die Abwassereinleitung.....	14
4.1	Anforderungen nach § 7a WHG.....	14
4.1.1	Anforderungen nach Teil F.....	14
4.2	Weitergehende Anforderungen.....	16
4.3	Alternative anlagenbezogene Anforderungen und Überwachungsregelungen.....	16
5	Übergangsregelungen und -fristen (§ 7a Abs. 3 WHG).....	17
6	Hinweise zur Fortschreibung.....	17
7	Literatur.....	17
8	Erarbeitung der Grundlagen.....	18

Nur für den Dienstgebrauch

## **1 Anwendungsbereich**

Dieser Anhang gilt für Abwasser, dessen Schadstofffracht im Wesentlichen aus der Wäsche von Rauch- oder Abgasen aus der Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen gemäß Artikel 2 der Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen stammt (ABl. EG Nr. L332 S. 91, 2001, Nr. L145 S. 52).

Die immissionsschutzrechtliche Umsetzung dieser Richtlinie ist durch die siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV) erfolgt (BGBl I S. 1633).

In Ergänzung zu den Bestimmungen in Anhang 33 sind weitere wasserrechtliche Vorgaben zur Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG in landesrechtlichen Vorschriften verbindlich festgelegt (siehe Anlage 1).

Niederschlagswasser fällt nicht unter den Anwendungsbereich dieses Anhangs. In den vorgenannten Bereichen kann jedoch Niederschlagswasser anfallen, das gemäß § 3 Abs. 6 der 17. BImSchV ordnungsgemäß erfasst, beprobt und vor der Einleitung in ein Gewässer den Anforderungen des § 7a WHG entsprechen muss.

Dieser Anhang gilt nicht für Abwasser aus

- sonstigen industriellen Abgaswaschanlagen,
- Kreislaufkühlsystemen von Kraftwerken und industriellen Prozessen,
- sonstigen Anfallstellen bei der Dampferzeugung sowie
- der Wäsche von Rauchgasen aus Feuerungsanlagen.

## **2 Abwasseranfall und Abwasserbehandlung**

### **2.1 Herkunft, Menge und Beschaffenheit des Rohabwassers**

#### **2.1.1 Verbrennungsanlagen für Abfälle**

Der grundsätzliche Aufbau einer thermischen Abfallbehandlung für Siedlungsabfälle und Sonderabfälle ist in nachfolgender Abbildung 1 dargestellt. Es ist dabei allerdings zu beachten, dass sich die Anlagenarten hinsichtlich ihrer Lagereinrichtungen und Verbrennungssysteme (Drehrohrofen bei der Sonderabfallverbrennung und Rostfeuerung bei der Restsiedlungsabfallverbrennung) unterscheiden.

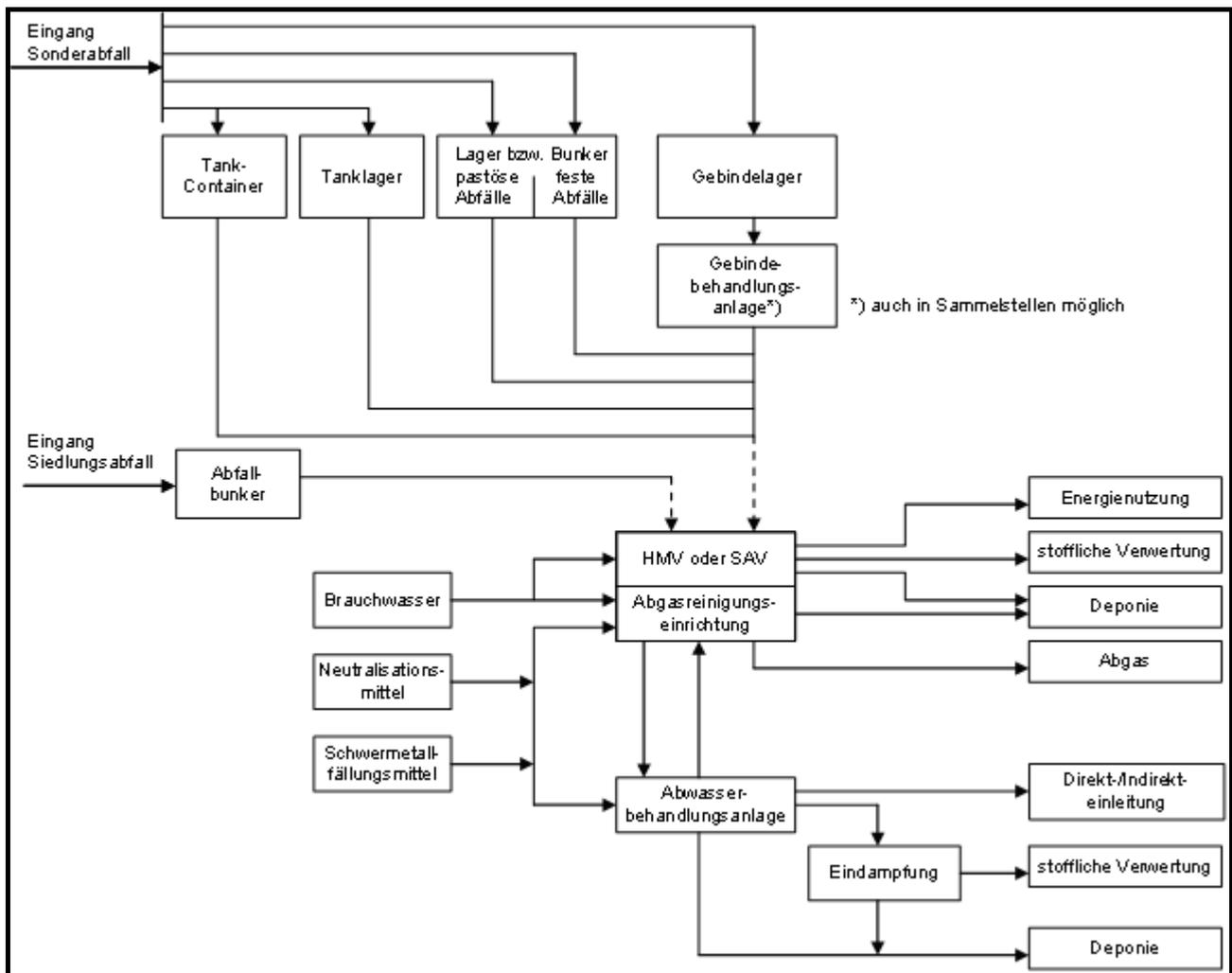


Abbildung 1: Blockschema einer Abfallverbrennungsanlage

### Verbrennung von Siedlungsabfällen (Hausmüllverbrennung - HMV)

Bei der Hausmüllverbrennung werden Abfälle verbrannt, die überwiegend aus einer Restfraktion eingesammelter Siedlungsabfälle, Sperrmüll und nicht getrennt erfasster verwertbarer Abfälle (Papier, Verpackungen, Bioabfälle, Kunststoffe), stofflich nicht verwertbarer Sortierreste aus Aufbereitungsanlagen sowie weiterer brennbarer, nicht gefährlicher Abfälle bestehen.

Nach einer Abfallvorbehandlung in der Verbrennungsanlage, die sich im Wesentlichen auf die Zerkleinerung von Pressballen, Sperrmüll u.ä. beschränkt, erfolgt die Zwischenlagerung und Durchmischung des Abfalls in einem Bunker, um die nachfolgende Verbrennungseinheit möglichst kontinuierlich mit vergleichmäßigem Verbrennungsgut beschicken zu können.

Zur Verbrennung von Siedlungsabfällen wird hauptsächlich die Rostfeuerung eingesetzt. Ein Beispiel ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

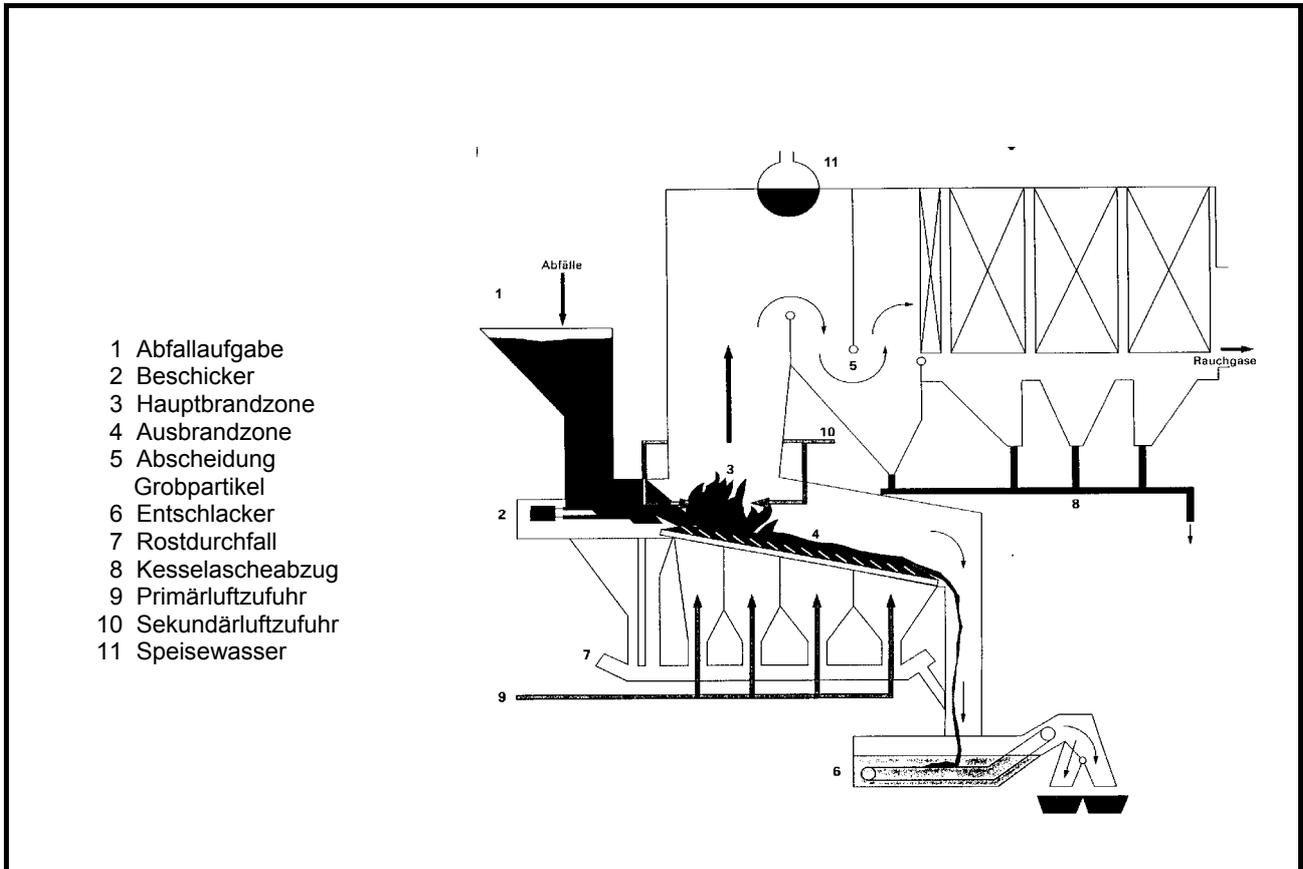


Abbildung 2: Beispiel für die Rostfeuerung einer Siedlungsabfallverbrennungsanlage

Der Verbrennungsrost dient:

- dem Transport des Verbrennungsgutes durch den Feuerraum,
- der Schürung und Auflockerung des Brenngutes,
- der Positionierung der Hauptbrandzone im Feuerungsraum evtl. in Kombination mit Einbindung in die Feuerungsleistungsregelung.

Als Rosttypen kommen Walzenrost, Vorschubrost und Rückschubrost zur Anwendung. Bei der Verbrennung der Abfälle entstehen Verbrennungsgase über dem Rost im Feuerraum, die bei Temperaturen von mindestens 850 °C und einer Verweilzeit von  $\geq 2$  Sekunden nach dem Feuerraum in der Nachbrennkammer weitgehend thermisch umgesetzt werden, während die festen Verbrennungsrückstände (Schlacken, Aschen) meist in gesinterter Form über den Rost ausgetragen werden.

Die Geometrie des Feuerraums wird bestimmt durch:

- Form und Größe des Verbrennungsrostes (Einfluss auf den Feuerraumquerschnitt),

- weitgehende Verwirbelung und Homogenisierung des Abgasstroms (Einfluss auf den Ausbrand der Abgase),
- ausreichende Verweilzeit der Abgase im heißen Feuerungsbereich (Einfluss auf vollständige Verbrennung),
- Verminderung der Temperatur der Abgase (Vermeidung der Versinterung der Flugasche).

Die Anforderungen an die Gestaltung des Feuerraumes über dem Verbrennungsrost variieren in Abhängigkeit von den Brennstoffeigenschaften. Um derartigen Unterschieden gerecht zu werden, wird grundsätzlich zwischen den verschiedenen Arten der Verbrennungsgaszuführung (Gleichstromfeuerung, Gegenstromfeuerung und Mittelstromfeuerung) unterschieden.

Die Verbrennungsluft (Primär-, Sekundärluft) wird benötigt, um:

- das Oxidationsmittel bereitzustellen,
- eine intensive Vermischung der Abgase zu erzielen und Strahlenbildung zu verhindern,
- eine Kühlung des Rostes zu gewährleisten,
- eine Verschlackung des Rostes zu vermeiden.

Der Austrag und die Kühlung der auf dem Verbrennungsrost anfallenden festen Rückstände erfolgt mit Hilfe des Entaschers. Durch den Entascher wird der Luftabschluss zu Verbrennungsrost und Feuerraum sichergestellt. Zum Einsatz kommen hauptsächlich wassergefüllte Presskolben- und Kratzerkonstruktionen.

### **Verbrennung von gefährlichen Abfällen (Sonderabfallverbrennung - SAV)**

Die angelieferten Sonderabfälle werden einer spezifischen Abfallkontrolle unterzogen, wobei die vorab zugeordnete Deklaration des Abfallerzeugers zu Grunde gelegt wird. Nach Abgleich der visuell ermittelten Informationen und der analytischen mit den vorliegenden Daten aus der Deklaration erfolgt entweder die Annahme des Abfalls und die Zuweisung zum entsprechenden Lagerungsort oder bei erheblichen Abweichungen ggf. dessen Rückweisung.

Aufgrund der zum Teil stark variierenden chemischen und physikalischen Eigenschaften von gefährlichen Abfällen ist ggf. vor dem eigentlichen Verbrennungsprozess eine Abfallvorbehandlung erforderlich. Maßnahmen hierfür sind z.B.:

- Neutralisierung (für die Abfallannahme sind pH-Werte von 4 - 12 üblich),
- Entwässerung von Schlämmen,
- Verfestigung von Schlämmen mit Bindemitteln,

- Zerkleinerung von groben Abfällen bzw. Fässern,
- Herstellung der gewünschten physikalischen Eigenschaften, um die Zuführung in den Verbrennungsprozess zu verbessern (z. B. Einstellung der Viskosität).

Vor der Verbrennung der Abfälle erfolgt in Abhängigkeit von der Art und Zusammensetzung des Abfalls eine geeignete Zwischenlagerung. Feste und nicht pumpfähige pastöse Abfälle werden in Bunkern, größere Mengen an flüssigen und pumpfähigen pastösen Abfällen in Tanks zwischengelagert. Besonders gefährliche Abfälle (giftig, leicht entflammbar) werden in Fässern oder speziellen Containern angeliefert und der Feuerung in gesonderter, direkter Form zugeführt. Für krankenhausspezifische Abfälle, die länger als 48 h innerhalb der Abfallverbrennungsanlage gelagert werden, sind gekühlte Lagerräume vorgeschrieben.

Für die Verbrennung von Sonderabfällen hat sich vor allem der Einsatz einer Kombination aus Drehrohrofen und Nachbrennkammer bewährt. Für die Verbrennung gefährlicher Abfälle kommen hauptsächlich Drehrohre mit einer Länge zwischen 10 und 15 m und einem Innendurchmesser zwischen 3 und 5 m zum Einsatz. Neuere Drehrohranlagen weisen Durchsätze von bis zu 50.000 t/a auf. Der Sonderabfallverbrennung werden verschiedene Abfalltypen zugeleitet, für die folgende Bandbreiten des Beschickungsmodus üblich sind:

- feste Abfälle: 10 – 70 %,
- flüssige Abfälle: 25 – 70 %,
- pastöse Abfälle: 5 – 30 %,
- Fässer: bis 15 %.

Beispielhaft wird in der Anlage 2 eine konkrete Anlage näher beschrieben (Betrieb 1).

### **Verbrennung von Klärschlämmen**

Im Jahre 2004 betrug der Klärschlammanfall aus insgesamt ca. 10.000 Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland ca. 2,26 Mio. t /a TS, davon gelangten ca. 0,7 Mio. Tonnen in die Verbrennung.

Vor der Verbrennung wird der Klärschlamm vorbehandelt. Hierfür stehen folgende Verfahren oder deren Kombinationen zur Verfügung:

Die **mechanische Entwässerung** dient neben der Volumenreduzierung auch der Erhöhung des Heizwertes. Reicht der durch die mechanische Entwässerung erzielte Trockensubstanzgehalt nicht für eine selbstgängige Verbrennung aus, kann eine **thermische Trocknung** vorgeschaltet werden. Eine **Konditionierung** mit Kohle dient der besseren Entwässerung in der Kammerfilterpresse sowie der Erhöhung des Heizwertes. Es können

auch Kalk und Flockungshilfsmittel für eine bessere Handhabung zugegeben werden. In Klärschlammmonoverbrennungsanlagen wird in der Regel auf die Zugabe von Kohle verzichtet. Nach einer Vorbehandlung kann der Klärschlamm separat oder gemeinsam mit Siedlungsabfällen verbrannt werden.

Die **Klärschlammmonoverbrennung** wird in speziell für diesen Zweck errichteten Anlagen bei Temperaturen zwischen 850 und 950 °C betrieben. Hierbei sind folgende Feuerungssysteme im Einsatz: Wirbelschichtofen (mit und ohne Vortrocknung), Etagenofen, Etagenwirbelofen und Zykloidfeuerung. In der Anlage 2 (Betrieb 2) ist die Verfahrensweise einer Klärschlammmonoverbrennungsanlage beispielhaft dargestellt. Kommunale Klärschlämme werden auch in einigen **Siedlungsabfallverbrennungsanlagen** und in einer **Pyrolyseanlage** mitentsorgt.

### **Mitverbrennung von Abfällen und Klärschlämmen in Feuerungsanlagen**

In Kraftwerken, die hauptsächlich feste Brennstoffe einsetzen, können feste und in einem begrenzten Umfang auch flüssige Abfälle mitverbrannt werden. Als feste Abfälle werden z.B. Tiermehl, Säureharze und mechanisch entwässerter Klärschlamm zusammen mit der Kohle verbrannt. Der Kohle wird in der Regel 5 – 10 % Abfall beigemischt, wobei dies durch das Aufbringen der Abfälle auf das Kohleförderband oder das direkte Einbringen in die Kohlemühle geschieht. Die Wahl der Feuerungstechnik wird größtenteils durch die Korngröße der eingesetzten festen Brennstoffe bestimmt (Fluff mit einer Korngröße 10 – 100 mm und Soft- und Hardpellets mit einer Korngröße von ca. 10 mm).

### **Andere thermische Behandlungsverfahren**

Als **Pyrolyse** wird die thermische Behandlung von Abfall unter weitgehendem Sauerstoffabschluss bezeichnet. Hierbei finden nacheinander - in Abhängigkeit von der Temperatur - Trocknungs-, Verdampfungs-, Entgasungs- und chemische Spaltprozesse statt. Bei der Pyrolyse entstehen Koks, Teere, Öle, andere kondensierbare Kohlenwasserstoffe, Zersetzungswasser und Pyrolysegas (z. B. CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>).

Zuerst werden die Abfälle unter Bildung des Pyrolysegases und des Pyrolysekokes pyrolysiert. Anschließend werden Pyrolysegas und -koks durch Kondensation der Gase zur Gewinnung von verwertbaren Ölgemischen und/oder Verbrennung von Gas und Koks zur Zerstörung der organischen Inhaltsstoffe bei gleichzeitiger Energienutzung nachbehandelt. Ziele sind der thermische Aufschluss von Abfall ohne Verschlackung, die Inert- und Wertstoffabtrennung nach dem Prozess und die Zerstörung von Schadstoffen unter Sau-

erstoffabschluss (z. B. PCB, PCDD/PCDF). In der Anlage 2 wird beispielhaft eine großtechnisch realisierte Pyrolyseanlage beschrieben (Betrieb 3).

Bei der **Hochtemperaturvergasung** werden die Abfälle zusammen mit Luft oder Sauerstoff in ein energiereicheres Gasgemisch (Synthesegas) umgewandelt. Dies setzt sich in Abhängigkeit von den Prozessbedingungen aus Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), weiteren brennbaren Kohlenwasserstoffen, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) und Wasser (H<sub>2</sub>O) zusammen. Es wird einer stofflichen oder thermischen Nutzung zugeleitet. Als Nebenprodukte entstehen höhermolekulare Kohlenwasserstoffverbindungen (Teer), Flugstaub und feste Rückstände. Als Vergasungsreaktoren werden Flugstromvergaser, Zyklonvergaser, Wirbelschichtvergaser und Festbettvergaser eingesetzt. In der Anlage 2 ist ein Beispiel für die großtechnische Realisierung dieses Verfahrens erläutert (Betrieb 4).

Unter den „**Kombinationsverfahren**“ werden Verfahren zusammengefasst, die aus dem Hintereinanderschalten unterschiedlicher thermischer Prozesse (Pyrolyse, Verbrennung, Vergasung) in jeweils separaten Aggregaten bestehen.

### **2.1.2 Verfahren der Abgasreinigung**

Die Abgase aus der Verbrennung / Mitverbrennung von Abfällen bedürfen einer nachgeschalteten Abgasbehandlung. Der Schwefel- und Halogenanteil im Rohgas bestimmt als Leitkomponente die Auslegung des Sorptionsverfahrens. Durch diese Verfahren werden auch andere Abgaskomponenten, z.B. leicht flüchtige Schwermetalle, abgeschieden. Ergänzend dazu werden Flugstromverfahren zur weitergehenden Abscheidung von Quecksilber und Dioxinen/Furanen eingesetzt. Folgende Verfahren werden angewandt.

#### **Trockene Verfahren**

Dem Abgasstrom wird ein trockenes Sorptionsmittel (z. B. Kalk) zugeführt. Das Reaktionsprodukt fällt ebenfalls trocken an. In der Anlage 2 sind jeweils ein Beispiel für eine thermische Behandlung von Siedlungsabfällen nach dem Verfahren der Pyrolyse (Betrieb 3) und für eine Hausmüllverbrennung mit einer trockenen Abgasreinigung (Betrieb 5) beschrieben.

#### **Quasi-trockene Verfahren**

Dem Abgasstrom wird das Sorptionsmittel als Suspension (z. B. Kalkmilch) oder Lösung zugeführt. Die wässrige Lösung verdampft und die Reaktionsprodukte fallen trocken an. In Abbildung 3 ist die quasi-trockene Abgasreinigung beispielhaft dargestellt.

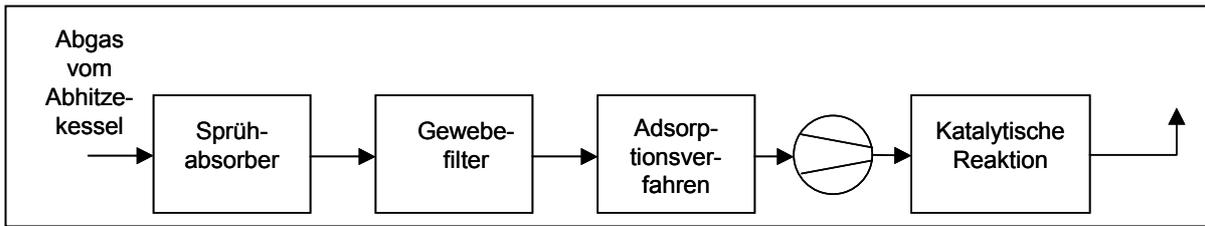


Abbildung 3: Abgasreinigung mit quasi-trockener Sorption, Adsorption und selektiver katalytischer Stickstoffoxid-Reduktion (SCR-Verfahren)

In der Anlage 2 ist ein Beispiel für eine Hausmüllverbrennung mit einer quasi-trockenen Abgasreinigung beschrieben (Betrieb 6).

### Nasse Verfahren

Die sauren Abgasbestandteile werden in einer 2-stufigen Wäsche pH-Wert abhängig ausgewaschen. Im ersten stark sauer gefahrenen Wäscher (pH-Wert 0,5 – 1,5) werden überwiegend Chlorid, Fluorid, Bromid und noch vorhandene leichtflüchtige Schwermetalle wie Quecksilber gelöst. Schwefeldioxid und -trioxid werden im zweiten Wäscher bei pH-Wert 6 – 8 gelöst. Ein Teil des Waschwassers wird aus beiden Wäschern kontinuierlich ausgeschleust und einer Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Nachfolgende Abbildung 4 zeigt beispielhaft den schematischen Aufbau der Abgasreinigung mit Nasswäsche.

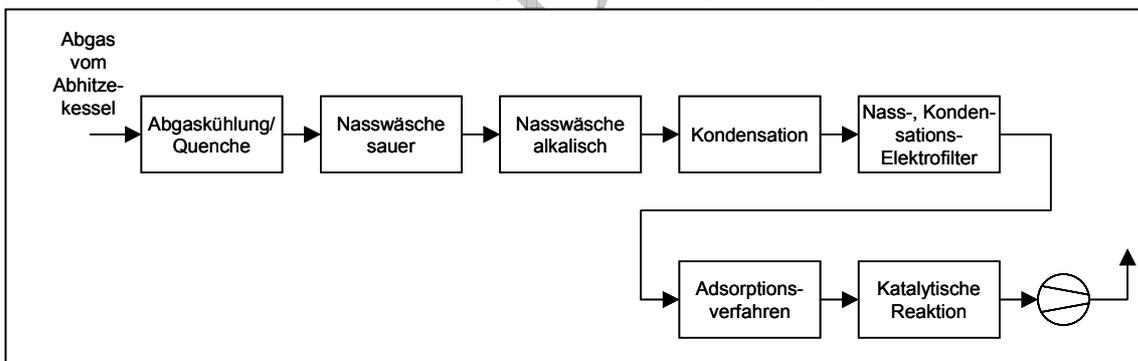


Abbildung 4: Abgasreinigung mit Nasswäsche

Anlage 2 enthält Beispiele für die nasse Abgasreinigung bei der Sonderabfallverbrennung (Betriebe 1 und 8) und der Klärschlammverbrennung (Betrieb 2).

### 2.1.3 Abwasseranfall und Abwasserbeschaffenheit

Abwasser fällt bei der Verbrennung oder Mitverbrennung von Abfällen nur bei der Rauch- oder Abgaswäsche an.

Bei Hausmüllverbrennungsanlagen entspricht es dem Stand der Technik, dass die Abgasreinigung abwasserfrei betrieben wird. Im Jahre 2006 waren 68 Anlagen zur thermischen

Siedlungsabfallbehandlung in Betrieb, davon 65 Abfallverbrennungsanlagen, zwei Pyrolyseanlagen und eine Hochtemperaturvergasungs-Anlage. 63 der Abfallverbrennungsanlagen werden abwasserfrei betrieben. Dies wird entweder durch die Wahl des Abgasreinigungsverfahrens (trocken oder quasitrocken) oder nachgeschaltete Behandlungsmaßnahmen (Prozesswassereindampfung oder Kreislaufführung) erzielt. In zwei Hausmüllverbrennungsanlagen wird das gereinigte Abwasser gemäß den Regelungen des Teils F für vorhandene Einleitungen noch direkt in ein Gewässer eingeleitet (vgl. Abschnitt 4.1.1).

Daneben gibt es 24 Sonderabfall- und 17 Klärschlammmonoverbrennungsanlagen. Bei diesen ist eine abwasserfreie Fahrweise nicht immer möglich. In Tabelle 1 sind typische Angaben für den durch die nasse Abgasreinigung erzeugten Abwasseranfall bei Sonderabfallverbrennungsanlagen dargestellt.

Anlage	Art der Abgasreinigung	Abwasseranfall
Sonderabfallverbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 60 000 t/a	2-stufig mit Kalkmilch	ca. 0,15 m <sup>3</sup> /t Abfall
Sonderabfallverbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 30 000 t/a	2-stufig mit Natronlauge	ca. 0,2 m <sup>3</sup> /t Abfall

Tabelle 1: Typische Werte für den Abwasseranfall aus der Abgaswäsche von Sonderabfallverbrennungsanlagen

Tabelle 2 zeigt typische Belastungen des Abwassers aus Abgasreinigungsanlagen für Sonderabfall- und Klärschlammverbrennungsanlagen.

Parameter	Sonderabfallverbrennungsanlagen (nach Abwasservorbehandlung)			Klärschlammverbrennungsanlagen (Rohabwasser)		
	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel
CSB [mg/l]			22	30	422	164
Sulfat [mg/l]	615	4056		455	13000	2065
Fluorid [mg/l]	7	48		3	100	37
Hg [mg/l]	0,0006	0,010		0,001	0,44	0,098
Pb [mg/l]	0,01	0,68		0,001	0,19	0,036
Cu [mg/l]	0,002	0,5		0,005	0,25	0,128
Zn [mg/l]	0,03	3,7		0,05	2,5	0,82
Cr [mg/l]	0,1	0,5		0,001	0,25	0,090
Ni [mg/l]	0,04	0,5		0,002	0,25	0,092
Cd [mg/l]	0,0009	0,5		0,001	0,25	0,005

Tabelle 2: Typische Belastungen des Abwassers aus Abgasreinigungsanlagen für Sonderabfall- und Klärschlammverbrennungsanlagen

## 2.2 Abwasservermeidungsverfahren und Abwasserbehandlungsverfahren

Durch die Wahl des trockenen oder quasi-trockenen Verfahrens zur Abgasreinigung kann der Anfall von Abwasser vermieden werden.

Eine abwasserfreie Betriebsweise kann ferner durch Eindampfung des anfallenden Prozesswassers oder andere verfahrenstechnische Möglichkeiten erreicht werden. Hierzu sind in der Anlage 2 beispielhafte Informationen zur Abwassereindampfung bei der Hausmüllverbrennung (Betrieb 7 und 9) enthalten. Erprobte Verfahren sind die direkte Eindampfung (Sprühtrocknung) und die indirekte Eindampfung (Eindampfung mit Brüdenkondensation).

Bei der **Sprühtrocknung** (siehe Abbildung 5) wird das behandelte Washwasser aus der Neutralisation und Schwermetallfällung mit Hilfe einer Zerstäubereinrichtung bei einer Temperatur von 200 – 300° C im Sprühabsorber fein verteilt und das Wasser verdampft. Ein Teil des Wasserdampfes kondensiert im Wäscher, der Rest verlässt die Anlage mit dem Abgasstrom. Die entstehenden Salze müssen als Sonderabfall entsorgt werden. Für die Verdampfung des Wassers wird die Wärmeenergie des Abgasstromes genutzt.

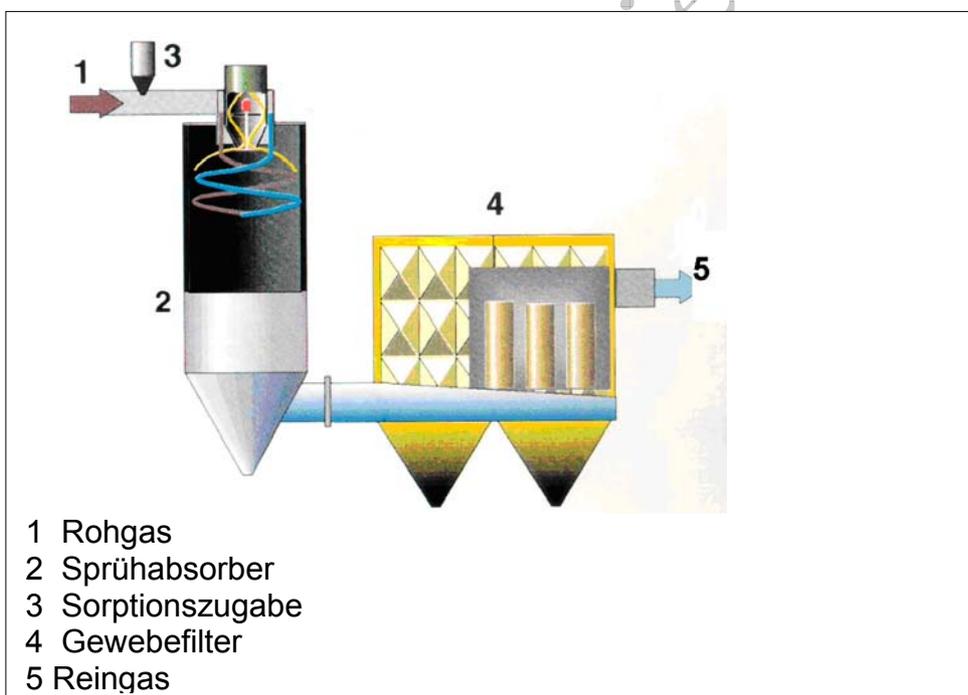


Abbildung 5: Funktionsprinzip eines Sprühabsorbers

Alternativ ist die indirekte Eindampfung in einer separaten Anlage sinnvoll, wenn die Reaktionsrückstände (HCl, NaCl, Gips) verwertet werden sollen.

Im Gegensatz zur Sprühtrocknung kann bei der Verdampfung mit Brüdenkondensation der Energiegehalt des Abgases nicht ausgenutzt werden, sondern es muss eine Beheizung mittels Prozessdampf erfolgen. Zunächst erfolgt die Neutralisation des Prozesswassers mit Kalkmilch oder Umsalzung mit  $\text{CaCl}_2$ . Hierbei entsteht Gips, der durch Filtration oder Zentrifugation abgetrennt wird. Ein Teil des Gipses bleibt in Lösung. Durch weitere Erhöhung des pH-Wertes und Zugabe eines Fällungsmittels (Trimercapto-s-triazin-trinatriumsalzlösung (TMT 15)) werden Schwermetalle ausgefällt und aus der Lösung abgetrennt. Anschließend wird die Lösung stufenweise mit Brüdenkondensation eingedampft. Dabei werden durch fraktionierte Kristallisation  $\text{CaSO}_4$  und  $\text{CaCl}_2$  gewonnen. Die Brüdenkondensate können als Zusatzwasser für die Abgaswäsche verwendet werden. Mehrstufige Eindampfungsanlagen haben den Vorteil, dass die entstehenden Brüden zum Aufheizen der nachfolgenden Stufen genutzt werden. Eine Reduzierung der Salzfrachten im Abwasser wird durch Zugabe von Kalkhydrat in den Abgasstrom (sogenannte Flugstromdosierung) erreicht, wodurch die Salzfracht im Abwasser in etwa halbiert wird. In der Anlage 2 ist für den Bereich der Sonderabfallverbrennung ein Abwasserbehandlungsverfahren beispielhaft beschrieben (Betrieb 1).

### **2.3 Abfallverwertung und Abfallbeseitigung**

Nicht verwertbare Abfälle aus der Abwassereindampfung oder sonstige trockene Reaktionsprodukte (Abfälle) aus der Abgasreinigung werden in Untertagedeponien abgelagert.

## **3 Auswahl der Parameter, für die Anforderungen zu stellen sind**

### **3.1 Hinweise für die Auswahl der Parameter**

Der **chemische Sauerstoffbedarf (CSB)** ist ein Maß für die chemisch oxidierbaren Inhaltsstoffe und ermöglicht als Summenparameter die Beurteilung der Leistung der Abwasserbehandlungsanlage. Mit dem CSB werden auch die schwer abbaubaren organischen Stoffe erfasst. Er ist ein für die Abwasserabgabe maßgebender Parameter. Zur Überwachung des Parameters CSB kann auch der Parameter **Organisch gebundener Kohlenstoff** (Total Organic Carbon = **TOC**) verwendet werden. Beide Parameter erfassen ähnliche Schädwirkungen. Die Anwendung des TOC ist von Vorteil, da er deutlich schneller und weniger aufwändig durchführbar ist, hierbei erheblich kleinere Arbeitsschutzrisiken bestehen und auf den Einsatz problematischer Chemikalien weitgehend verzichtet werden kann.

**Sulfit** und **Fluorid** wurden aufgenommen, da gelöste Sulfit- und Fluorid-Ionen toxisch gegenüber Wasserorganismen sind.

Die **Giftigkeit gegenüber Fischeiern ( $G_{Ei}$ )** ist ein Maß für die Schädlichkeit des Abwassers gegenüber Fischeiern. Sie ist ein für die Abwasserabgabe maßgebender Parameter.

Die **Schwermetalle** zählen zu den persistenten und toxischen Stoffen. Quecksilber und Cadmium zählen zu den prioritären gefährlichen Stoffen im Sinne der Wasserrahmen-Richtlinie. Quecksilber, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Chrom gehören u. a. zu den Parametern des Abwasserabgabengesetzes.

**Dioxine und Furane** bezeichnen Stoffgruppen polychlorierter aromatischer Verbindungen, die bei Verbrennungsprozessen gebildet werden können. Die Emissionsbegrenzung von Dioxinen und Furanen erfolgt aufgrund ihrer Toxizität, Bioakkumulierbarkeit und geringen Abbaubarkeit.

Die **abfiltrierbaren Stoffe** wurden aufgenommen, um den Gehalt des Abwassers an ungelösten Inhaltsstoffen zu ermitteln.

**Sulfid** gelangt im Wesentlichen bei der Anwendung von Sulfidfällungen in das Abwasser. Sulfid und Schwefelwasserstoff wirken toxisch gegenüber Wasserorganismen.

### **3.2 Hinweise für die Auswahl von Parametern, die gegebenenfalls im Einzelfall zusätzlich begrenzt werden sollen**

In den jeweiligen Verordnungen der Länder zur wasserrechtlichen Umsetzung der Abfallverbrennungsrichtlinie (siehe Anlage 1) ist festgelegt, dass für das Einleiten von Abwasser in Gewässer oder in öffentliche Abwasseranlagen auch Anforderungen für den pH-Wert, die Temperatur und den Durchfluss festzusetzen sind. Im Einzelfall kann es erforderlich sein, zusätzlich weitere Parameter zu begrenzen.

## **4 Anforderungen an die Abwassereinleitung**

### **4.1 Anforderungen nach § 7a WHG**

siehe Anhang 33 zur Abwasserverordnung

#### **4.1.1 Anforderungen nach Teil F**

In Anhang 33 Teil F sind Anforderungen für vorhandene Einleitungen von Abwasser aus der Abgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen aufgeführt. Vorhandene Einleitungen von Abwasser sind Einleitungen, die vor dem 1. August 2002 rechtmäßig in Betrieb waren oder mit deren Bau zu diesem Zeitpunkt rechtmäßig begonnen worden ist. Für diese Anlagen finden die Anforderungen nach Teil B, wonach das Abwasser aus diesen Anlagen nicht in ein Gewässer eingeleitet werden darf, keine Anwendung, soweit die beim Betrieb der Abgasreinigungsanlage entstehenden Abfälle nicht ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder in anderer Weise gemeinwohlverträglich beseitigt werden kön-

nen. In diesem Fall gelten Teil C und D und zusätzlich die in Teil F Absätze 1 bis 3 festgelegten Anforderungen.

In zwei Hausmüllverbrennungsanlagen (siehe Anlage 2, Betriebe 7 und 9) wird das gereinigte Abwasser gemäß den Regelungen des Teils F für vorhandene Einleitungen noch in ein Gewässer eingeleitet. In Tabelle 3 sind typische Angaben für den durch die nasse Abgasreinigung erzeugten Abwasseranfall bei Hausmüllverbrennungsanlagen dargestellt.

Anlage	Art der Abgasreinigung	Abwasseranfall
Hausmüllverbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 250.000 t/a	2-stufig mit Kalkmilch	ca. 0,15 m <sup>3</sup> /t Abfall
Hausmüllverbrennungsanlage mit einem Durchsatz von 250.000 t/a	2-stufig mit Natronlauge (vor Eindampfanlage)	ca. 0,15 m <sup>3</sup> /t Abfall

Tabelle 3: Typische Werte für den Abwasseranfall aus der Abgaswäsche von Hausmüllverbrennungsanlagen

Tabelle 4 zeigt typische Belastungen des Rohabwassers aus Abgasreinigungsanlagen für Hausmüllverbrennungsanlagen

Parameter	Hausmüllverbrennungsanlagen (Rohabwasser)		
	Minimal	Maximal	Mittel
pH-Wert	< 1		
CSB [mg/l]	140	390	260
TOC [mg/l]	47	105	70
Sulfat [mg/l]	1200	20000	4500
Chlorid [mg/l]	85000	180000	115000
Fluorid [mg/l]	6	170	25
Hg [mg/l]	1	19	6
Pb [mg/l]	0,05	1	0,25
Cu [mg/l]	0,05	0,2	0,1
Zn [mg/l]	0,40	2,0	0,7
Cr [mg/l]	<0,05	0,7	0,2
Ni [mg/l]	0,05	0,5	0,2
Cd [mg/l]	<0,005	0,02	0,01

Tabelle 4: Typische Belastungen des Abwassers aus Abgasreinigungsanlagen für Hausmüllverbrennungsanlagen

## 4.2 Weitergehende Anforderungen

Wenn aus Gründen des Gewässerschutzes weitergehende Anforderungen an die Einleitung zu stellen sind, können durch geeignete Maßnahmen, z.B. durch Hinzufügen einer weiteren Reinigungsstufe, geringere Schadstofffrachten erreicht werden.

## 4.3 Alternative anlagenbezogene Anforderungen und Überwachungsregelungen

Keine

## 4.4 Berücksichtigung internationaler und supranationaler Regelungen

Durch Anhang 33 zur Abwasserverordnung gemäß § 7a WHG erfolgte gemäß Artikel 2 die abwasserbezogene nationale Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen (Abl. EG Nr. L 332 S. 91, 2001 Nr. L 145 S. 52). Die immissionsschutzrechtliche Umsetzung dieser Richtlinie ist durch die siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV) erfolgt (BGBl I S. 1633). In Ergänzung zu den Bestimmungen in Anhang 33 sind weitere wasserrechtliche Vorgaben zur Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG in landesrechtlichen Vorschriften verbindlich festgelegt (siehe Anlage 1).

Die Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG (**Wasserrahmenrichtlinie**) ist am 21. November 2001 in Kraft getreten (Abl. EG vom 15.12.2001 Nr. L 331 S. 1). Damit sind prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe als Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) festgelegt worden. Die Überprüfung und Erweiterung dieser Stoffliste kann neuen Erkenntnissen angepasst werden. Nach Artikel 16 festzulegende Strategien gegen die Wasserverschmutzung werden vom Europäischen Parlament und dem Rat festgelegt. Dies betrifft Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung der prioritären Stoffe sowie zur Beendigung oder schrittweisen Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten prioritärer gefährlicher Stoffe.

Der Zeitplan für die Beendigung der Emissionen der prioritären gefährlichen Stoffe darf nach Verabschiedung entsprechender Maßnahmen auf europäischer Ebene 20 Jahre

nicht überschreiten. Für prioritäre Stoffe zielen die Maßnahmen auf eine schrittweise Reduzierung ab. Nickel und Blei sind als prioritäre Stoffe identifiziert, Cadmium und Quecksilber sind als prioritäre gefährliche Stoffe eingestuft.

Die Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) legt integrierte, medienübergreifende Regelungen für die Genehmigungsverfahren für bestimmte industrielle Tätigkeiten und Anlagen fest. Zu den im Anhang 1 der Richtlinie festgelegten Tätigkeiten und Anlagen gehören auch Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung mit entsprechenden Kapazitäten. Die Mitgliedstaaten haben durch diese Richtlinie sicherzustellen, dass die zum Geltungsbereich der Richtlinie zugeordneten Anlagen gemäß den besten verfügbaren Techniken (BVT) genehmigt und betrieben werden. Zu den besten verfügbaren Techniken werden von der Kommission Beschreibungen herausgegeben (BAT-Reference Documents – BREF). Die in den vorliegenden Hinweisen und Erläuterungen zum Anhang 33 beschriebenen Techniken entsprechen den Techniken (BVT), die im BREF-Dokument „Abfallverbrennung“ dargelegt sind. Die Anforderungen der HELCOM-Recommendation 16/8 vom 15. März 1995 wurden berücksichtigt.

## **5 Übergangsregelungen und -fristen (§ 7a Abs. 3 WHG)**

Soweit die Anforderungen für die unter die IVU-Richtlinie fallenden Anlagen noch nicht eingehalten sind, muss entsprechend der IVU-Richtlinie die Errichtung oder Erweiterung der Abwasserreinigungsanlagen unter Berücksichtigung der Planungs- und Ausführungsfristen bis 30. Oktober 2007 abgeschlossen sein. Für Anlagen, die nicht unter den Anwendungsbereich der IVU-Richtlinie fallen, erscheint ein Zeitraum von 3 Jahren angemessen.

## **6 Hinweise zur Fortschreibung**

Der Anhang 33 ist fortzuschreiben, sobald erkennbar ist, dass sich der Stand der Technik geändert hat oder die Überwachungsergebnisse eine Anpassung rechtfertigen.

## **7 Literatur**

Abwasserrecht, 3. Auflage, Bundesanzeiger-Verlag, Köln, ISBN 3-89817-285-6

Emissionsminderung Thermische Abfallbehandlung, VDI 3460, Beuth Verlag, Berlin; März 2002

Johnke, B.; Butz, W.:

Thermische, mechanisch-biologische Behandlungsanlagen und Deponien für Rest-Sied-

lungsabfälle in der Bundesrepublik Deutschland, 5. Auflage, Umweltbundesamt, Berlin; Januar 2001

Scholz, R.; Beckmann, M.; Schulenburg, F.:

Abfallbehandlung in thermischen Verfahren, 1. Auflage, B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden; Februar 2001

Europäische Kommission:

„BAT reference document (BREF) on Waste Incineration“, Sevilla

([www.eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm](http://www.eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm) oder [www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm](http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm))

## **8 Erarbeitung der Grundlagen**

Die Grundlagen für die Hinweise und Erläuterungen des Anhangs 33 wurden in einer Behördenarbeitsgruppe unter der Leitung von Herrn Markus Gleis, Umweltbundesamt Dessau, erarbeitet.

Nur für den Dienstgebrauch

## Anlage 1

### Länder-Verordnungen zur Umsetzung der Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EG (Stand 1.1.2007)

Nr.	Bundesland	Länderverordnung	Erscheinungsdatum
1	Baden-Württemberg	Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über abwasserrechtliche Anforderungen an Abwasser aus der Abgasreinigung bei der Abfallverbrennung (Abwasserverordnung Abfallverbrennung)	vom 20. Mai 2003, GBl. S. 290
2	Bayern	Verordnung für Abwasser aus der Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen (AbwV-Abfallverbrennung)	vom 20. Mai 2003, (GVBl. S. 357)
3	Berlin	Verordnung zur Umsetzung der Anforderungen der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen an die ordnungsgemäße Abwasserbeseitigung (Landes-Abwasserbeseitigungsverordnung –LAbwV)	vom 24. Januar 2003 (GVBl. S. 91)
4	Brandenburg	Verordnung zur wasserrechtlichen Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung - AbVAbwV)	Vom 12. Dezember 2003, GVBl. II S.707
5	Bremen	Verordnung zur Umsetzung der Anforderungen der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen an die ordnungsgemäße Abwasserbeseitigung in Bremen (BremAbwAbfverbrV)	vom 11. April 2003, ( Brem.GBl. S.183
6	Hamburg	Verordnung über die Einleitung von Abwasser aus der Verbrennung von Abfällen	vom 17. Juni 2003, (HmbGVBl. S. 172
7	Hessen	Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen ( AbwV-Abfallverbrennung)	vom 20. Oktober 2003, GVBL. I S. 288)
8	Mecklenburg-Vorpommern	Verordnung zur wasserrechtlichen Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen (AbwAbfverbrVO M-V	vom 11.Dezember 2002, GVOBl.M-V S.780
9	Niedersachsen	Verordnung über das Einleiten von Abwasser aus Abfallverbrennungsanlagen (AbwAbfVerbrennVO)	vom 29. April 2003, Nds. GVBl. S.190
10	Nordrhein-Westfalen	Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen (AbwAbfverbrVO)	vom 31. Juli 2003, GV NRW S.517
11	Rheinland-Pfalz	Landesverordnung über Anforderungen an Abwasser aus Anlagen zur Verbrennung von Abfällen (Landesabwasserverordnung Abfallverbrennung)	vom 31. März 2003 GVBl. S.66
12	Saarland	Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 76/2000/EG über die Verbrennung von Abfällen – Saarländische Abwasserverordnung - Abfallverbrennung	vom 28. Januar 2003 (Amtsblatt S.249)
13	Sachsen	Verordnung des Sächsischen Staatministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen (SächsAbwV-AbfVerbrVO)	vom 11. August 2003 SächsGVBl. S.310
14	Sachsen-Anhalt	Verordnung für Abwasser aus der Verbrennung von Abfällen (Abwasser-Abfallverbrennungsverordnung – AbwVVerbrVO)	vom 8. Mai 2003, GVBl. LSA S. 106
15	Schleswig-Holstein	Landesverordnung über die Einleitung von Abwasser aus der Verbrennung von Abfällen (Abwasserverordnung-Abfallverbrennung-AbwAbfVO	vom 10. Februar 2003, GS Schl.-H. II, Gl.Nr. 753-2-90
16	Thüringen	Thüringer Verordnung zur Umsetzung von wasserrechtlichen Vorschriften der Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen (ThürAbwVO - Abfallverbrennung	vom 22. Dezember 2003 (GVBl. S.239)

## Beschreibung von Anlagen zur Abfall(-mit)verbrennung

### Betrieb 1:

#### Anlage zur Sonderabfallverbrennung

Der Betrieb 1 verfügt über acht Verbrennungslinien (d.h. Drehrohröfen mit Nachbrennkammer und nachfolgenden Abhitze- und Restwärmekesseln zur Wärmenutzung) mit drei nachgeschalteten Abgasreinigungsstraßen (Elektrofilter, Katalysator, Wäscher).

Über die Stirnwand des Drehrohres werden feste, pastöse und flüssige Abfälle mit verschiedenen Vorrichtungen in den Ofen eingetragen. Im Drehrohr (Länge 10 m, Durchmesser 3,8 m) wird bei hohen Temperaturen (bis zu 1 200 °C) und langer Feststoffverweilzeit (1 bis 10 h) ein sehr guter Ausbrand des Feststoffanteils erreicht (> 99,99 %). Etwa 75 % des anorganischen Anteils der verbrannten Abfälle werden schmelzflüssig aus dem Drehrohr über den Nassentschlacker ausgetragen. Die glasartige Schlacke mit einem Restkohlenstoffgehalt von etwa 0,2 Gewichtsprozent hat eine sehr geringe Eluierbarkeit.

Der Stahlmantel der Drehrohre muss gegen die etwa 1 200 °C heißen, chemisch aggressiven Verbrennungsgase mit Feuerfeststeinen geschützt werden. Durch geeignete Wahl des Verbrennungsmenüs und Anpassung der Betriebsfahrweise an die jeweils zu verbrennenden Abfälle lässt sich auf diesen Steinen ein sogenannter "Schlackepelz" aufbauen, der die direkte Berührung der Verbrennungsgase mit dem Mauerwerk verhindert.

Die runde Nachbrennkammer (Höhe 18,5 m, Durchmesser 5,8 m) ist mit vier Flüssigkeitsbrennern ausgerüstet, die auf einem Brennkreis angestellt sind. Durch den hohen Austrittsimpuls der Brennerluft wird eine hohturbulente Mischzone in der Brennebene geschaffen. An die Mischzone, die reaktionstechnisch als Rührkessel beschrieben werden kann, schließt sich die als Plugflow-Reaktor zu charakterisierende Ausbrandzone der Nachbrennkammer an. Dort brennen die Abgase, die aufgrund der unvollständigen Quervermischung der Gasphase im Drehrohr unter Umständen nur teilausgebrannt sind, unter definierten Bedingungen hinsichtlich Temperatur (850 bis 1 200 °C), Sauerstoffangebot (ca. 10 Vol.-%) und Verweilzeit (> 2 s) weitgehend aus (> 99,99 %). Zur Absicherung der gesetzlich vorgeschriebenen Mindesttemperatur schaltet sich bei Bedarf ein Gasbrenner automatisch zu.

Die Kombination der Einzelanlagen Drehrohr und Nachbrennkammer erlaubt es, die Ausbrandbedingungen für die Feststoff- und Gasphase - in gewissen Grenzen - unabhängig voneinander zu optimieren.

Zur optimalen Wärmenutzung strömen die heißen Rauchgase von der Nachbrennkammer in den Abhitzekeessel, um dort auf 300 bis 350 °C abgekühlt zu werden.

Die 10-zügigen Schottenkessel produzieren Dampf mit 4,2 MPa und 350 °C, der zum Betreiben einer Gegendruckturbine zur Stromerzeugung genutzt wird. Die Reinigung der Heizflächen erfolgt mit Druckluft und durch Klopfen im laufenden Betrieb. Die Rauchgasumlenkungen im unteren Kesselbereich sind als Zitzen ausgebildet, so dass die dort abgelagerte Kesselasche über Trogkettenförderer ausgetragen werden kann.

Zur Nutzung der Restwärme und damit Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades werden die Rauchgase jeweils in einem Restwärmekessel unter Produktion von 0,4 MPa Dampf von ca. 300 °C nach dem Katalysator auf etwa 180 °C vor Eintritt in den Wäscher abgekühlt.

Die **Abgasreinigung** umfasst die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen.

Die Entstaubung erfolgt in einem vierfeldrigen Elektrofilter (maximale Betriebstemperatur 350 °C). Die anfallenden Filterstäube werden aus den vier Zitzen über Zellradschleusen und Trogkettenförderer ausgetragen.

Zur gleichzeitigen Zerstörung von PCDD/PCDF und Stickstoffoxiden dient ein Katalysator (SCR-Verfahren). Da die Abgastemperatur nach dem Elektrofilter der optimalen Katalysatortemperatur von 290 bis 320 °C entspricht, kann durch die Anordnung an dieser Stelle auf eine kosten- und energieaufwändige Zwischenaufheizung der Rauchgase verzichtet werden. Durch Zugabe von Ammoniak werden die Stickstoffoxide im Abgas zu Stickstoff und Wasser abgebaut. Die PCDD/PCDF werden simultan mit Sauerstoff zu Kohlendioxid, Wasser und Salzsäure umgesetzt.

Nach dem Katalysator und dem bereits beschriebenen Restwärmekessel schließt sich ein vierstufiger Füllkörperwäscher an.

- In der ersten Stufe wird das Rauchgas von rund 180 °C in einem Düsenquench auf Kühlgrenztemperatur (etwa 66 °C) abgekühlt. Die anschließende Füllkörperschüttung dient der HCl-Absorption und Reststaubabscheidung. Aus der ersten Stufe wird entsprechend dem HCl-Anfall Waschlösung ausgeschleust.
- Die zweite Stufe dient der HCl-Restabsorption.

- In der dritten, schwach alkalisch gefahrenen Stufe, erfolgt die  $\text{SO}_2$  - Absorption. Es bildet sich Natriumsulfit, das durch gelösten Rauchgassauerstoff praktisch vollständig zu Natriumsulfat oxidiert wird. In dieser Stufe werden auch gasförmige, elementare Halogene wie Chlor, Brom oder Jod abgeschieden. Die Waschlösung der dritten Stufe wird ausgeschleust.
- Die vierte Stufe wird mit Flusswasser gespeist. Die entstehende Waschlösung aus der Stufe 4 ist nur noch schwach salzbeladen und trägt praktisch nicht mehr zur Staubemission bei.

Die Rauchgasreinigung gewährleistet Reingaswerte, die deutlich unter den von der 17. BImSchV geforderten Anforderungen liegen. Die emissionsrelevanten Komponenten werden kontinuierlich im Kamin jeder Rauchgasreinigungsstraße gemessen und online im Prozessleitsystem angezeigt sowie im Emissionsrechner dokumentiert.

Durch Aufteilung der verfahrenstechnischen Aufgabenstellung „HCl-Abscheidung“ auf zwei Apparatestufen ergeben sich weitere Potenziale zur Abwasserminimierung. In der ersten Stufe erfolgt lediglich eine Grobreinigung, die HCl-Restabsorption findet erst in der zweiten sauren Stufe statt. Während Frischwasser in der zweiten Stufe nachgespeist wird, erfolgt die Ausschleusung des Abwassers aus der ersten Stufe. Hierdurch können höhere Schadstoffkonzentrationen in der ersten Stufe bei gleichzeitiger Minimierung der Abwassermengen realisiert werden.

Das **Abwasser** aus den Füllkörperwäschern wird der biologischen Abwasserbehandlung zugeführt. Das saure Abwasser aus den Wäschern mehrerer Verbrennungsstraßen wird vor der biologischen Behandlung in der zentralen Abwasservorbehandlungsanlage (siehe Abbildung 6) zur Senkung der Schwermetallkonzentration vorbehandelt. Dazu werden die Abwasserströme gemischt und wie folgt behandelt. Mit einer zweistufigen Zugabe von 10 %-iger Kalkmilch wird der pH-Wert des Abwassers zunächst in den Neutralbereich verschoben und danach in der zweiten Stufe alkalisch gestellt (pH-Wert 9 bis 10). Damit werden die relevanten Schwermetalle mit einer Fällungskristallisation bis zur Löslichkeitsgrenze als Hydroxid ausgefällt. Zur Animpfung der Fällungskristallisation wird bereits abgeschiedenes Fällprodukt rückgeführt (Rücklaufschlamm). Zur sicheren Einhaltung der Anforderungen werden in einer dritten Stufe durch Zugabe von TMT 15 die verbliebenen Schwermetallionen als sulfidische Verbindung ausgefällt.

Die feinteiligen Niederschläge der Kalkmilch- und TMT-Fällung werden in einer Flockung mit Flockungshilfsmitteln und Eisen-(III)Chlorid agglomeriert und im Eindicker sedimen-

tiert. Der entstehende Sedimentationsschlamm wird geteilt in den erwähnten Rücklaufschlamm und in den Teil, der über einen Zwischenpuffer (Schlammvorlage) in die Entwässerung gegeben wird. Hier wird dann in einer Filterpresse schwermetallhaltiger Filterkuchen erzeugt, der unter Beachtung der abfallrechtlichen Bestimmungen zu entsorgen ist. Das entstehende Filtrat wird an den Anfang der gesamten Behandlung zurückgeführt.

Der Klarwasserablauf aus dem Eindicker geht in die biologische Behandlung. Er ist mit Gips gesättigt und würde zu unerwünschten Kristallisationen und Anbackungen führen. Dies wird durch Zugabe eines Inkrustierungsverhinderers vermieden.

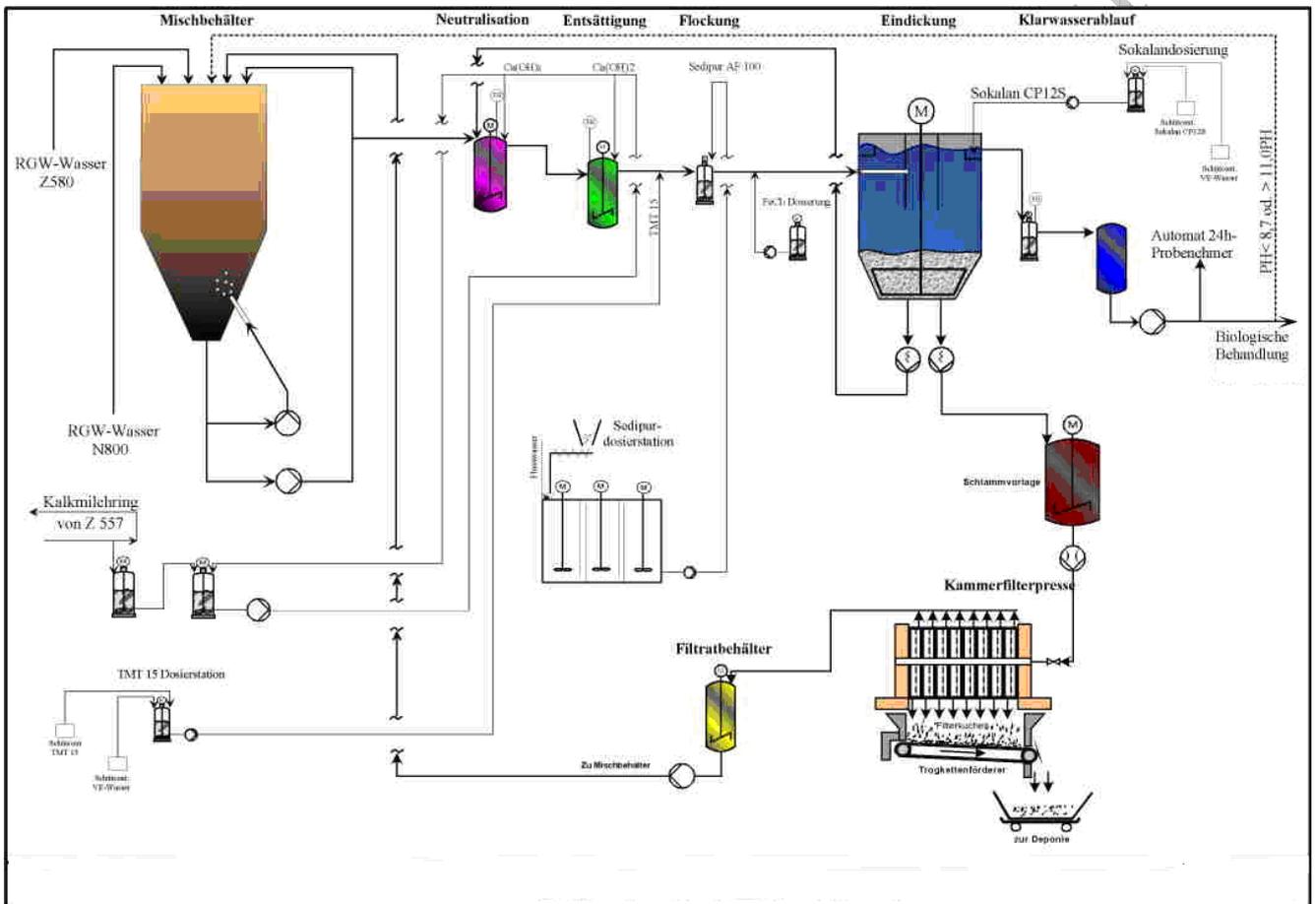


Abbildung 6: Zentrale Abwasservorbehandlungsanlage des Betriebes 1

## Betrieb 2:

### Anlage zur Klärschlammverbrennung

Bei der Klärschlammverbrennungsanlage auf dem Gelände einer Kläranlage handelt es sich um eine Wirbelschichtfeuerung mit einer Verbrennungsleistung von ca. 10.000 t/a Schlamm mit einem Trockengehalt von ca. 40 % TS.

Der mit ca. 3 – 5 % TS anfallende voreingedickte Überschussschlamm wird unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln in einer Zentrifuge auf einen TS-Gehalt von ca. 25 – 28 % TS gebracht. Die Arbeitstemperatur liegt bei ca. 55 °C.

Um eine effiziente Verbrennung des Klärschlammes zu erreichen, wird der zentrifugierte Schlamm in einem Scheibentrockner mit Dampf (108 °C) auf einen TS-Gehalt von ca. 42 % gebracht. Die kondensierten Brüden aus dem Scheibentrockner werden in einem Mischkondensator vor der Polymerzugabe dem Schlamm zugeführt, um damit eine bessere Flockung (bei 55 °C) zu erreichen. Das Zentrat wird zur Behandlung in die Kläranlage zurückgeführt.

Die Verbrennung des getrockneten Klärschlammes erfolgt bei ca. 850 °C in einer zirkulierenden Wirbelschicht mittels Sandbett. Durch die Verbrennungsmethodik steht der ca. 5 %ige organische Stickstoffanteil in jeder Oxidationsstufe zur Verfügung, so dass in einer „Autoreduktion“ elementarer Stickstoff ohne weitere Ammoniakzugabe gebildet wird. Die Verbrennungsgase werden mittels Abhitzekeessel zur Dampferzeugung genutzt. Ca. 60 % des Dampfes werden für die Schlamm-trocknung benötigt, die restlichen 40 % ausgekoppelt und mittels einer 2,5 MPa Kondensationsturbine zur Stromerzeugung genutzt. Die Abgase werden nach dem Elektrofilter in einer zweistufigen Rauchgaswäsche gereinigt. In der ersten, sauren Wäscherstufe (pH-Wert <1) werden insbesondere die sauren Gase ausgewaschen. Zur Quecksilberoxidation wird zusätzlich Natriumchlorit eingesetzt. In der zweiten Stufe wird Natronlauge (bis pH-Wert 7) zur Restabscheidung von Quecksilber und Schwefeldioxid zugegeben.

Zur Behandlung wird das aus den Waschstufen kommende verbrauchte Waschwasser zunächst in einem Pufferbecken zusammengeführt und zur Schwermetallfällung mit TMT 15 und Eisenchloridsulfat versetzt. Die Reaktionsmischung wird in ein Absetzbecken gegeben und der Klarüberlauf des Beckens über einen Kiesfilter in die Kläranlage geleitet. Der Schlamm aus dem Absetzbecken wird mittels Kammerfilterpresse entwässert. Das Filtrat aus der Kammerfilterpresse wird vor der TMT 15-Zudosierung dem Waschwasser wieder zugesetzt.

Der Abwasseranfall bei der nassen Abgasreinigung aus der Klärschlammverbrennung beträgt ca. 20 m<sup>3</sup> pro Tag.

### **Betrieb 3:**

#### **Hausmüllverbrennung nach dem Pyrolyseverfahren**

In der Restmüll-Pyrolyseanlage werden in zwei Drehöfen mit einem Durchsatz von je 3 t/h insgesamt 35 000 t/a Haus-, Gewerbe-, Sperrmüll und Klärschlamm entsorgt. Nach einer Vorbehandlung, welche eine Zerkleinerung und anschließende Vermischung der Abfälle beinhaltet, werden diese mittels Kran den Drehöfen zugeleitet. Die beiden Drehöfen werden indirekt mit ca. 1 200° C heißen Rauchgasen aus der Pyrolysegasverbrennung beheizt. Das erste Drittel des Drehofens dient als Trocknungszone. Erst nachfolgend steigt die Temperatur des Abfalls bis zur Endtemperatur (450 bis 470° C). In diesem Bereich finden die Entgasungs- und Zersetzungsprozesse des organischen Anteils des Abfallgemisches statt.

Die pyrolysierten Rückstände werden mittels Nassentschlacker ausgetragen. Über ein gemeinsames Transportband werden die von beiden Drehöfen ausgetragenen, etwa 30 – 50 % Feuchte enthaltenden Rückstände mit einer Temperatur von ca. 40 – 50 °C in entsprechende Container gefördert und deponiert. Das gebildete Pyrolysegas wird vorentstaubt, anschließend der Brennkammer zugeleitet und dort bei ca. 5 – 8 % Sauerstoffüberschuss und einer Temperatur von ca. 1 250 °C verbrannt. Die auf etwa 250 °C abgekühlten Abgase werden nach einer Konditionierung mit Luft in einem Gewebefilter restentstaubt. Vor dem Passieren des Gewebefilters werden dem Abgasstrom Natriumhydrogencarbonat und Aktivkohle zur weiteren Schadstoffreduzierung zugegeben. Bei diesem Verfahren fällt kein Abwasser aus der Rauchgaswäsche an.

### **Betrieb 4:**

#### **Hochtemperaturvergasung von Abfällen**

In Deutschland kommt die Hochtemperaturvergasung von Abfällen in einem Betrieb zur Entsorgung flüssiger Sonderabfälle und fester Abfallgemische zur Anwendung. Hierbei werden ein Flugstrom- und sechs Festbettreaktoren eingesetzt. Der Flugstromvergaser dient der Beseitigung der flüssigen Sonderabfälle. Diese werden über das Brennersystem in den Reaktor eingetragen und bei Temperaturen von 1600 – 1 800 °C in Synthesegas umgewandelt.

In den sechs Festbettreaktoren mit je 8 – 14 t/h Durchsatz werden hauptsächlich kompaktierte Altkunststoffe, getrocknete Klärschlämme und kontaminierte Böden behandelt. Hier-

bei werden die über die Eintragungsschleusen in die Reaktoren eingetragenen Abfälle bei ca. 800 – 1 300 °C und einem Druck von 2,5 MPa mit Hilfe von Dampf und Sauerstoff zu Synthesegas umgewandelt. Bei diesem Verfahren fällt kein Abwasser aus der Abgaswäsche an.

### Betrieb 5:

#### Hausmüllverbrennung mit trockener Abgasreinigung

Dem Abgasstrom wird ein trockenes Sorptionsmittel (z.B. Kalk) zugeführt. Das Reaktionsprodukt fällt ebenfalls in trockener Form an. Eine entsprechende Anlage zeigt Abbildung 7.

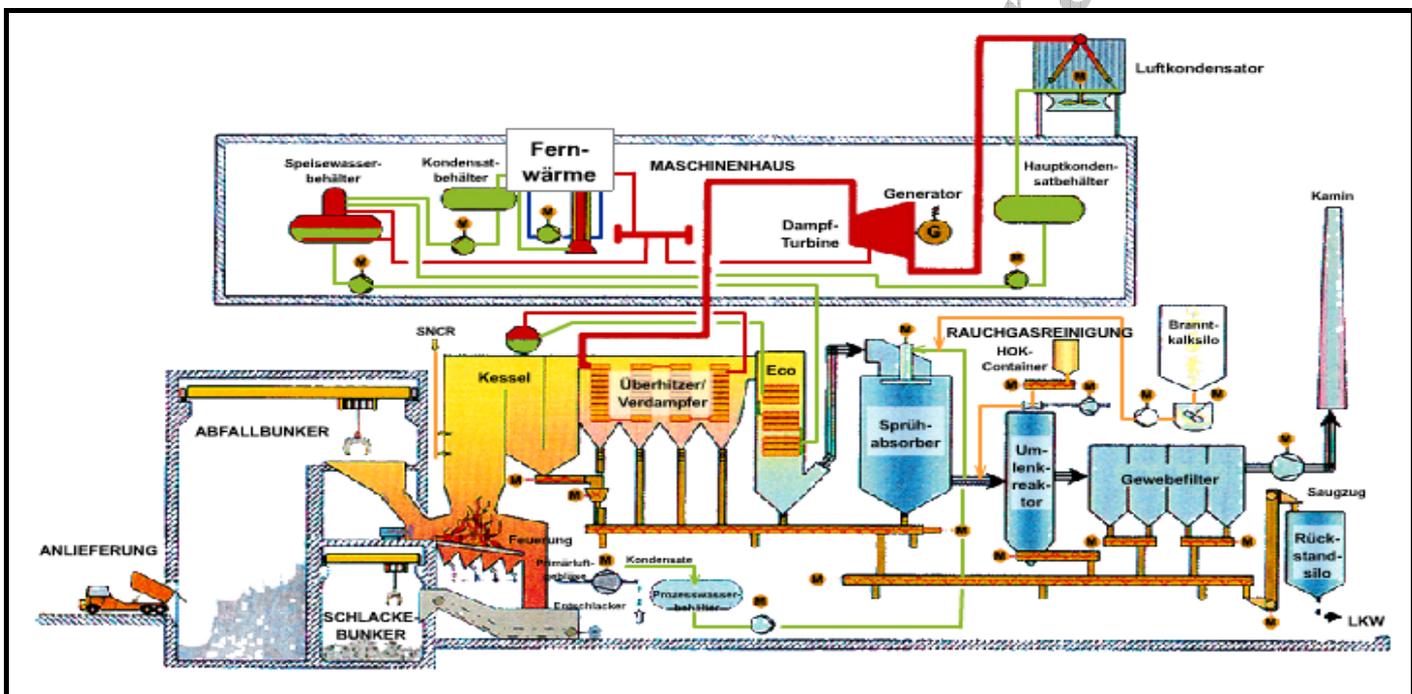


Abbildung 7.: Beispiel für eine trockene Abgasreinigung eines Müllheizkraftwerkes

### Betrieb 6:

#### Hausmüllverbrennung mit quasi-trockener Abgasreinigung

Dem Abgasstrom wird das Sorptionsmittel in Form einer Lösung (z.B. Kalkmilch) zugeführt. Die Lösung verdampft und die Reaktionsprodukte fallen trocken an. Die Abbildung 8 zeigt eine Hausmüllverbrennungsanlage mit einer Kombination aus einer quasitrockenen Abgasreinigungsstufe auf der Basis von Kalkmilch mit Sprühabsorber und einer trockenen

Abgasreinigungsstufe, bei der als Neutralisationsmittel trockenes Calciumhydroxid vor den Gewebefiltern eingedüst wird.

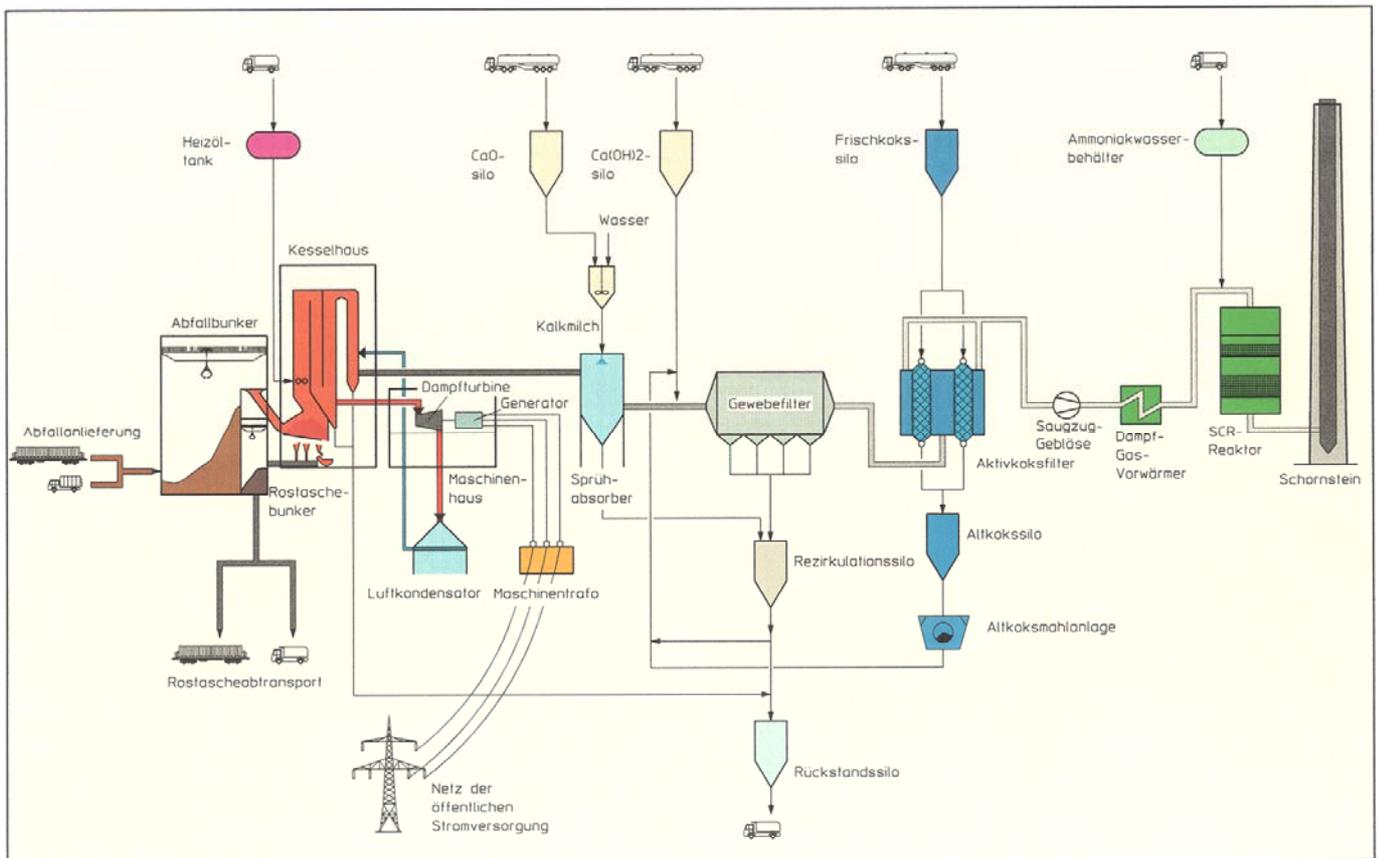


Abbildung 8: Funktionsprinzip der quasi-trockener Abgasreinigung

## Betrieb 7:

### Hausmüllverbrennung mit nasser Abgasreinigung

Die Waschlösung für den Abgasstrom enthält das Sorptionsmittel (z.B. Natronlauge). Das Reaktionsprodukt fällt in wässriger Form an. Die nasse Rauchgaswäsche wird in der nachfolgend beschriebenen Weise durchgeführt. Der vom Elektrofilter abgeleitete Abgasstrom mit einer Temperatur von ca. 220 °C wird durch einen nachgeschalteten Economizer auf eine Temperatur von 185 °C gebracht.

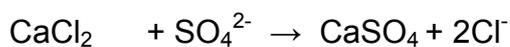
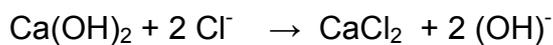
In einer dem Rauchgaswäscher vorgeschalteten Quenche wird das Rauchgas mit Waschflüssigkeit weiter abgekühlt und dabei der größte Teil der sauren Gase, insbesondere HCl und HF, ausgewaschen. Bei diesem Prozess stellt sich in der Waschflüssigkeit ein pH-Wert von <1 ein.

Das so vorgereinigte Abgas verlässt die Quenche mit ca. 65 °C und tritt in die SO<sub>2</sub> - Stufe des Rauchgaswäschers ein. Hier wird durch Zugabe von Natronlauge bei einem pH-Wert

von 6,5 insbesondere Schwefeldioxid ausgewaschen. In der nachgeschalteten Ringjetstufe (Venturidüsen) werden im Wesentlichen Feinstäube, Säureaerosole und die restlichen gasförmigen Schadstoffe (HCl, HF und SO<sub>2</sub>) abgeschieden.

Die in der Quenche verdunstete Wassermenge wird durch die Abschlammung der SO<sub>2</sub>-Stufe und der Ringjetstufe ersetzt. Gleichzeitig wird aus der Quenche kontinuierlich Waschwasser ausgeschleust und im Pufferbehälter vor der Abwasserbehandlungsanlage zwischengestapelt.

Aus dem Wäscherwasser wird unter Zugabe von Calciumhydroxid über die Reaktionsstufen:



Gips fällt, wobei die Calciumchloridzwischenstufe ausschlaggebend für die Qualität der Fällung ist. In der Gipsfällung wird eine grobkristalline Suspension ausgerührt, die auf einem Bandfilter abfiltriert wird. Der Gipskuchen geht in die Untertagedeponie. Der Klarlauf aus der Filtration wird auf einen pH –Wert von 10 eingestellt und das enthaltene Ammoniak in einer Dampfstrippanlage ausgetrieben. Die ammoniakhaltigen Brüden werden nach Kondensation zur Entstickung der Rauchgase wieder verwendet. Es werden ca. 50 % der notwendigen Ammoniakmenge zurückgewonnen. Das gestrippte Wasser wird mit TMT 15 behandelt. Die ausgefallenen Schwermetalle werden abfiltriert und das Klarwasser über eine dreistufige Eindampfanlage verdampft. Das ausgefallene Kochsalz wird in einer Zentrifuge abgetrennt und zusammen mit der restlichen Sole in eine Untertagedeponie verbracht. Die kondensierten Brüden aus der Eindampfanlage werden zur Nachspeisung des Ringjets in den Rauchgaswäscher zurückgeführt.

### **Betrieb 8:**

#### **Sonderabfallverbrennung mit nasser Abgasreinigung**

Abbildung 9 beschreibt die nasse Abgasreinigung einer Sonderabfallverbrennungsanlage. Zur Staubvorabscheidung wird den Nasswäschern ein Elektrofilter vorgeschaltet. Feinstäube, flüchtige Schwermetalle sowie Dioxine und Furane werden, nachdem zuvor ein Additiv (z.B. Sorbalit®) in den Abgasstrom eingedüst wurde, durch einen nachgeschalteten Gewebefilter erfasst.

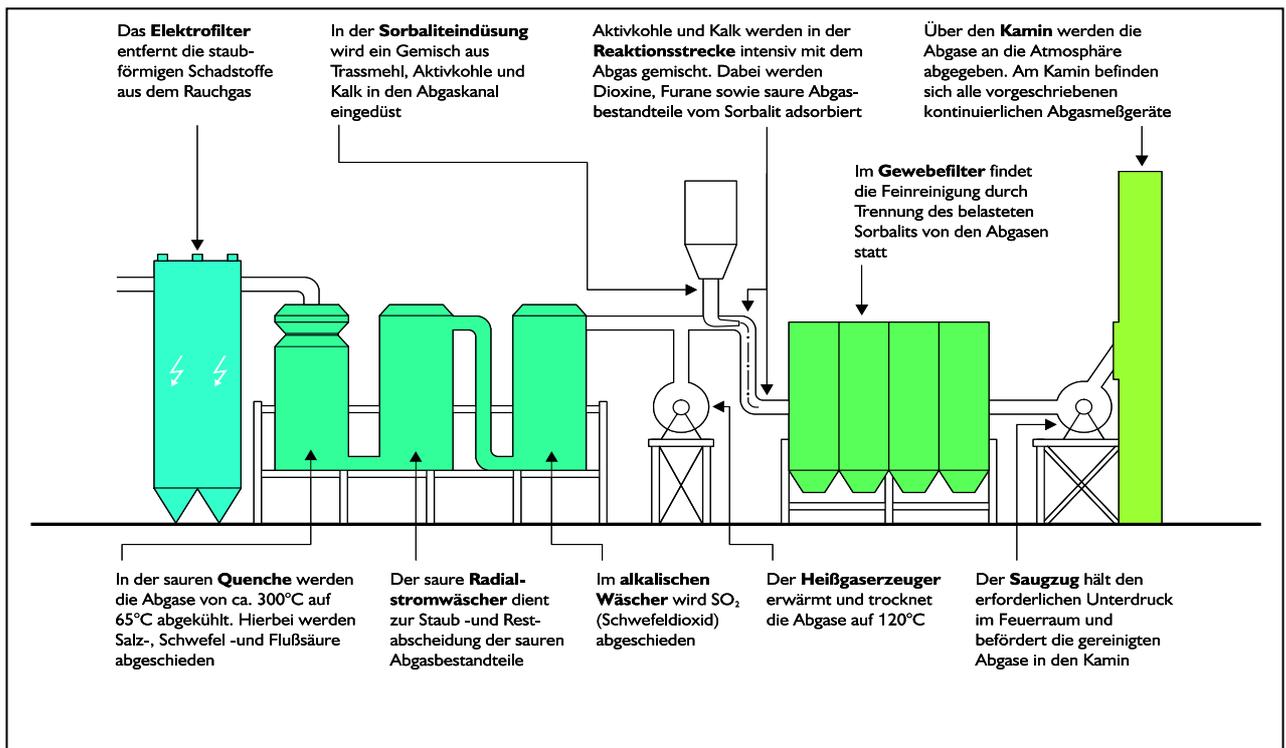


Abbildung. 9: Abgasreinigung einer Sonderabfallverbrennungsanlage

## Betrieb 9:

### Hausmüllverbrennung mit nasser Abgasreinigung und anschließender Abwasser-eindampfung

In dieser Anlage werden die angelieferten Siedlungsabfälle im Bunker mit einem Volumen von 5.300 m<sup>3</sup> durchmischt. Anschließend wird der homogenisierte Abfall dem Verbrennungsraum zugeleitet. Nach der Verbrennung des Siedlungsabfalls bei mehr als 850 °C erfolgt die Reinigung der Abgase in mehreren Schritten (Elektrofilter, 3-stufige Abgaswäsche, Entfernung von Dioxinen und Furanen). Die Energie der heißen Verbrennungsgase wird zur Dampferzeugung genutzt. Nach Umwandlung der Energie in Strom und Fernwärme wird diese in das öffentliche Netz eingespeist. Die anfallende Schlacke wird aufbereitet und wieder verwertet.

Die Anlage besteht aus 2 Linien mit einer Kapazität von 12 t /h Abfall. Bei Vollast werden ca. 3,5 m<sup>3</sup>/h Klarfiltrat aus der Abwasserbehandlung entnommen und der Eindampfanlage zugeführt. Dort wird diese Menge komplett verdampft, anschließend kondensiert und als Brüdenkondensat in den Prozess zurückgeführt. Dies entspricht einer rechnerischen Ver-

dampfungsleistung von ca. 146 l/t Abfall, wobei zu beachten ist, dass kein Dampf aus dem System abgeleitet wird, sondern der Dampf als Kondensat im Kreislauf gefahren wird.

*Nur für den Dienstgebrauch*