

Leistungsfähigkeit von Abgasreinigungsanlagen

Peter Quicker, Yves Noël, Robert Daschner, Martin Faulstich,
Ulf Raesfeld und Markus Gleis

1.	Staubabscheidung	486
2.	Abscheidung von Schwermetallen	488
3.	Abscheidung organischer Spurenstoffe.....	488
4.	Minderung von Stickoxidemissionen.....	489
5.	Abscheidung von sauren Schadgasen	490
6.	Effizienz der Abgasreinigung unterschiedlicher Anlagentypen	495
7.	Zusammenfassung	496
8.	Literatur	496

Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen dienen der Verwertung bzw. der Beseitigung eines breiten Spektrums an Abfällen, in denen oftmals eine Vielzahl umweltgefährdender Stoffe enthalten ist. Ein Teil dieser Stoffe verlässt den Konversionsprozess über das Abgas. Mit dem Ziel, die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen, insbesondere durch Luftverunreinigungen, zu schützen, unterliegen diese Anlagen der 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – der Verordnung über die Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen (17. BImSchV). Diese Verordnung stellt seit ihrem Inkrafttreten strenge Anforderungen an die Einhaltung von Grenzwerten für Luftschadstoffe, welche im Zuge mehrerer Novellierungen in den letzten Jahrzehnten stetig an den Stand der Technik angepasst worden sind.

Die mit der Anpassung verbundene Senkung der Emissionsgrenzwerte hat erhöhte Anforderungen an die Abgasreinigung hinsichtlich des Abscheidegrades und der Flexibilität gegen Schadstoffspitzen zur Folge. Aufgrund dessen wurden im Laufe der Zeit verschiedene alternative Abgasreinigungsverfahren für die jeweiligen Schadstoffe entwickelt und in den Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung umgesetzt. Die Anforderungen an die Abgasreinigung in Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen resultieren aus der Differenz zwischen den rohgasseitigen Schadstoffkonzentrationen und den reingasseitigen Grenzwerten der 17. BImSchV. Zur Veranschaulichung sind die Rohgaswerte von Abfallverbrennungsanlagen (MVA), Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAV) und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken (EBS-KW) sowie die entsprechenden Grenzwerte der 17. BImSchV in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Schadstoffkonzentrationen im Rohgas von Abfallverbrennungsanlagen (Tagesmittel) im Vergleich zu den Grenzwerten der 17. BImSchV

	Einheit	MVA	SAV	EBS-KW	17. BImSchV
Staub	mg/m ³	1.000 – 5.000	1.000 – 10.000	1.000 – 5.000	10
HCl	mg/m ³	800 – 3.000	3.000 – 10.000	1.000 – 4.000	10
HF	mg/m ³	5 – 30	50 – 550	10 – 120	1
Hg	mg/m ³	0,05 – 0,35	0,05 – 3	0,05 – 0,4	0,03
Schwefeloxid als SO ₂	mg/m ³	250 – 1.000	1.500 – 5.000	400 – 3.100	50
Stickoxid als NO ₂	mg/m ³	250 – 400	100 – 300	250 – 400	200

Quellen:

Verein Deutscher Ingenieure: Vorentwurf VDI 3460: Emissionsminderung – Thermische Abfallbehandlung. Düsseldorf, 2011

Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV)

In der Praxis werden die gesetzlichen Grenzwerte meist noch deutlich unterschritten. Dies setzt eine effektive Abgasreinigung voraus. Im vorliegenden Beitrag wird die Leistungsfähigkeit verbreiteter Abgasreinigungsverfahren für unterschiedliche Schadstoffgruppen diskutiert. Basis der Betrachtungen ist die Erhebung von Emissionsdaten an deutschen Abfallverbrennungsanlagen im Rahmen eines Projektes des Umweltforschungsplanes des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt wurde.

1. Staubabscheidung

Die Abscheidung partikelförmiger Emissionen aus dem Abgasstrom kann mithilfe von Gewebefiltern, Zyklonen, elektrostatischen Abscheidern und Nassabscheidern (Wäscher) erfolgen.

Die Leistungsfähigkeit eines Staubabscheiders lässt sich durch den Fraktionsabscheidegrad $\eta_{(xp)}$ beschreiben. Dieser gibt Auskunft über die Abscheidung des Staubes einer definierten Korngröße Δm_{ab} bezogen auf die Gesamtmasse dieser Fraktion im Abgasstrom Δm_{roh} [3]. Der Fraktionsabscheidegrad definiert sich daher wie folgt:

$$\eta_{(xp)} = \frac{\Delta m_{ab}}{\Delta m_{roh}}$$

Da die Leistungsfähigkeit eines Staubabscheiders entscheidend von der Korngröße des abzuschheidenden Staubes abhängt, erlaubt dieser Parameter eine wesentlich genauere Aussage über die Wirksamkeit eines Abscheiders als der Gesamtabseidegrad η_{ges} , welcher lediglich Auskunft über die abgeschiedene Staubmenge unabhängig von der Partikelgröße gibt. In Bild 1 sind die Einsatzbereiche verschiedener Entstaubungssysteme in Abhängigkeit von der Korngröße dargestellt.

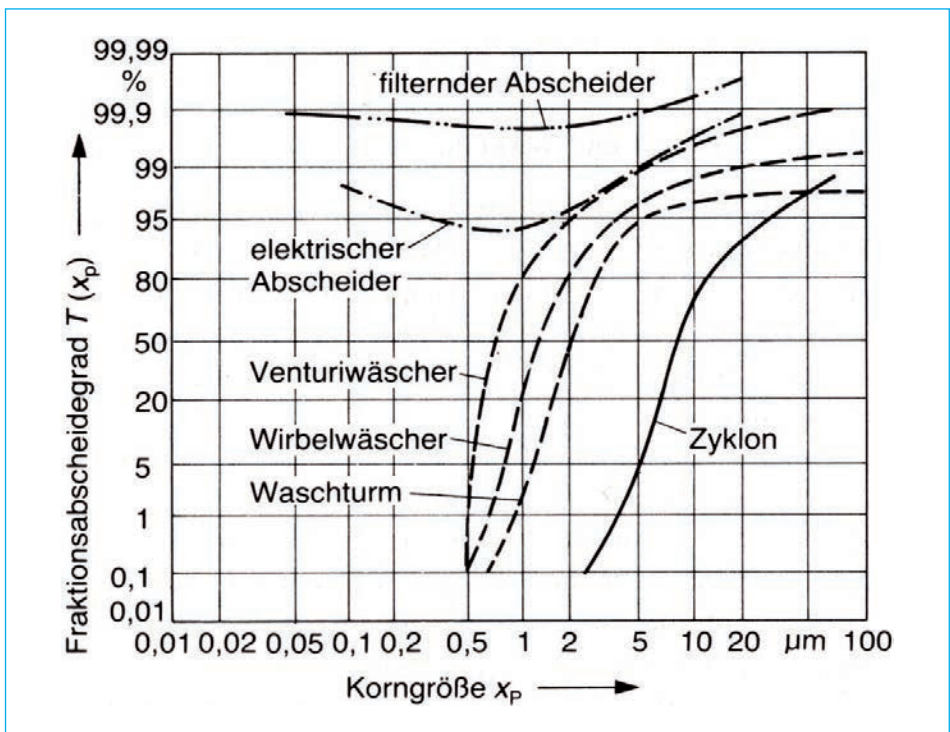


Bild 1: Einsatzbereiche verschiedener Entstaubungssysteme

Quelle: Fritz, W.; Kern, H.: Reinigung von Abgasen, 3. Auflage. Würzburg: Vogel Buchverlag, 1992

Die Staubabscheideleistung der betrachteten Anlagen ermöglicht ein sicheres Einhalten des von der 17. BImSchV vorgegebenen Grenzwertes von 10 mg/m³ (Bild 2).

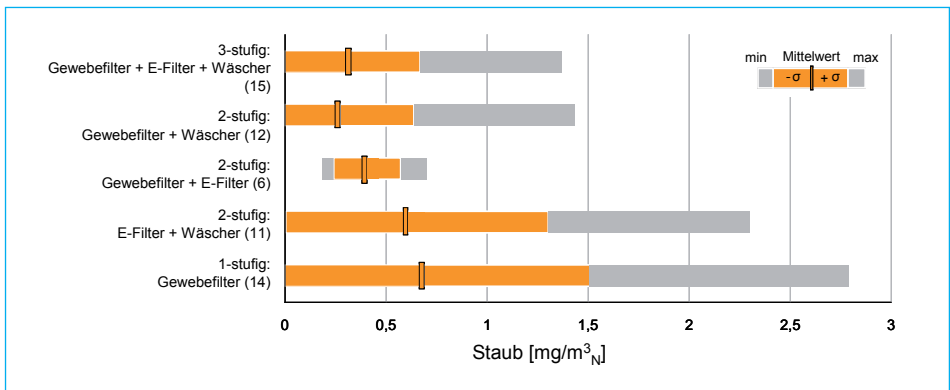


Bild 2: Vergleich verschiedener Verfahren zur Staubabscheidung

Quelle: Daschner, R; Faulstich, M.; Quicker, P.; Gleis, M.: Emissionen und Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung. In: Technische Sicherheit (2011), Nr. 1/2, Düsseldorf: Springer Verlag

Mit durchschnittlichen Staubkonzentrationen im Reingas von unter 1 mg/m^3 liegen die Emissionswerte weit unter der gesetzlichen Vorgabe. Es ist ersichtlich, dass nur bei rund einem Viertel der beteiligten 58 Anlagen ein einstufiges Verfahren (Gewebefilter) verwendet wird. In den meisten Fällen ist eine Kombination aus verschiedenen Abscheideverfahren im Einsatz. Aufgrund der insgesamt sehr niedrigen Emissionswerte ist eine vergleichende Diskussion der unterschiedlichen Technologien hinsichtlich der Abscheideleistung nicht sinnvoll [1].

2. Abscheidung von Schwermetallen

Zur Abreinigung von Schwermetallen aus dem Abgas von Abfallverbrennungsanlagen eignen sich Elektro- und Gewebefilter sowie Abgaswäscher. Mit der filternden Abscheidung können die Emissionen schwer flüchtiger Metalle gemindert werden. Diese werden in der Entstaubung gemeinsam mit den Staubpartikeln abgeschieden. Leichter flüchtige Schwermetalle, wie insbesondere Quecksilber, lassen sich durch adsorptive Verfahren unter Einsatz von Aktivkohlen (wie zum Beispiel Herdofenkoks (HOK), Aktivkohle) oder mit Nasswäschern aus dem Abgasstrom entfernen. Da Quecksilber nach der Verbrennung sowohl elementar als auch oxidiert vorliegen kann, sollte dies bei der Verfahrensauswahl berücksichtigt werden: Im Gegensatz zu elementarem Quecksilber ist Quecksilber in oxidiert Form wasserlöslich und in Wäschern abscheidbar. Zur Abscheidung von elementarem Quecksilber sind oben genannte Aktivkohlen geeignet [3].

Die Abreinigung von Schwermetallen bei der Abgasbehandlung von Siedlungsabfallverbrennungsanlagen erfolgt durch Adsorptionsstufen bzw. HOK-Festbett-schüttungen oder durch die Kombination dieser Verfahrensstufen mit Wäschern. Auch mit den einstufigen Anlagen lassen sich gute Reinigungsleistungen, mit Emissionswerten erheblich unter den Grenzwerten, erzielen. Signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Verfahrensvarianten können, wie im Fall der Staubabscheidung, nicht festgestellt werden [1].

3. Abscheidung organischer Spurenstoffe

Bei Einhaltung der vom Gesetzgeber im Bereich der thermischen Abfallbehandlung vorgeschriebenen Mindestabgastemperatur von $850 \text{ }^\circ\text{C}$, kombiniert mit einer Mindestverweilzeit des Abgases in diesem Temperaturfenster von 2 s, erfolgt eine Zerstörung von organischen Spurenstoffen (Biphenyle, Dioxine, Furane). Im Zuge der nachgeschalteten, sukzessiven Abkühlung des Abgases in den Kesselzügen findet unter gewissen Bedingungen die so genannte de-novo Synthese, eine Neubildung von polychlorierten Dibenzodioxinen und Furanen (PCDD/F), statt.

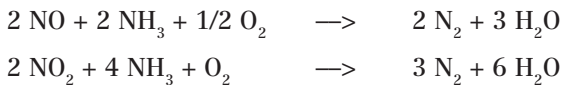
Die Elimination dieser Schadstoffgruppe erfolgt üblicherweise gemeinsam mit der Abscheidung anderer Schadstoffe aus dem Abgas. Die Staubabscheidung bietet die Möglichkeit, die partikelgebundenen PCDD/F aus dem Abgasstrom zu entfernen. Mit der Einbringung von Aktivkohle in den Abgasstrom werden Dioxine/Furane an der Oberfläche der Kohle adsorbiert und anschließend ebenfalls mittels Gewebe- bzw. Elektrofiltern abgeschieden. Weitere Möglichkeiten der Abscheidung organischer Spurenstoffe bieten die bereits genannten HOK-Festbett-schüttungen und Nasswäscher.

Im Gegensatz zu abscheidenden Verfahren findet in katalytischen Prozessen, welche zur Entstickung des Abgases eingesetzt werden, gleichzeitig eine Zerstörung organischer Spurenstoffe statt.

Bei allen Verfahren zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus dem Abgas lassen sich Abscheide- bzw. Eliminationsleistungen von über 99 % erzielen. Da Anlagen zur Behandlung von Abfällen häufig sowohl mit einer Entstaubung, einer Wäsche und einer katalytischen Entstickung ausgestattet sind, kann die Abreinigung dieser Schadstoffgruppe als sehr effektiv angesehen werden.

4. Minderung von Stickoxidemissionen

Zur Minderung des Stickoxidgehaltes im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen erfolgt eine Reduktion von NO und NO₂ zu elementarem Stickstoff. Als Reduktionsmittel wird dem Abgas Ammoniak (NH₃) bzw. Harnstoff ((NH₂)₂CO) zugegeben. Letzterer wandelt sich in einer Zwischenreaktion in Ammoniak um. Die Reaktion von Stickoxiden mit Ammoniak läuft nach den folgenden Bruttogleichungen ab:



Die in der Praxis der thermischen Abfallbehandlung angewandten Verfahren zur Stickstoffminderung sind die selektive nicht katalytische Reduktion (SNCR) und die selektive katalytische Reduktion (SCR). Beiden Verfahren liegen die gleichen chemischen Reaktionen zugrunde. Die Verfahren sind durch die unterschiedlichen Temperaturfenster, in denen sie ablaufen, charakterisiert. Da die NO_x-Minderung nach dem SNCR-Verfahren direkt im Feuerraum, das heißt bei hohen Temperaturen stattfindet, ist die Anwesenheit eines Katalysators für die Entstickungsreaktion nicht nötig. Im Gegensatz dazu sind SCR-Verfahren in die Abgasreinigung eingegliedert. Je nachdem, ob die Entstickung am Anfang, in der Mitte oder am Ende des Abgasreinigungsprozesses stattfindet, unterscheidet man zwischen High-Dust, Low-Dust und Tail-End Anwendungen. In diesen Bereichen ist die Abgastemperatur so niedrig, dass für die Reduktion der Stickoxide der Einsatz eines Katalysators notwendig ist.

Ein Vergleich der Wirkung von Maßnahmen zur Minderung von Stickoxiden in bestehenden Abfallverbrennungsanlagen (Bild 3) zeigt, dass Anlagen mit katalytischen Entstickungsverfahren im Mittel deutlich niedrigere Emissionswerte aufweisen. Zwar gelingt den Betreibern aller betrachteten Anlagen die Einhaltung des Stickoxidgrenzwertes (Tagesmittelwert nach 17. BImSchV) von 200 mg/m³, jedoch wird bei einzelnen Anlagen dieser Wert zu mehr als 90 % ausgeschöpft [1].

Die höhere Reinigungsleistung katalytischer Verfahren wird jedoch in der Regel mit höherem Energieverbrauch erkauft. Ein Praxisbeispiel zur Umstellung der Abgasreinigung einer MVA von SCR- auf SNCR-Technologie zeigte unter sicherer Einhaltung der Emissionsgrenzwerte eine Absenkung des Energieverbrauchs für die NO_x-Reduktion um etwa 95 % [3].

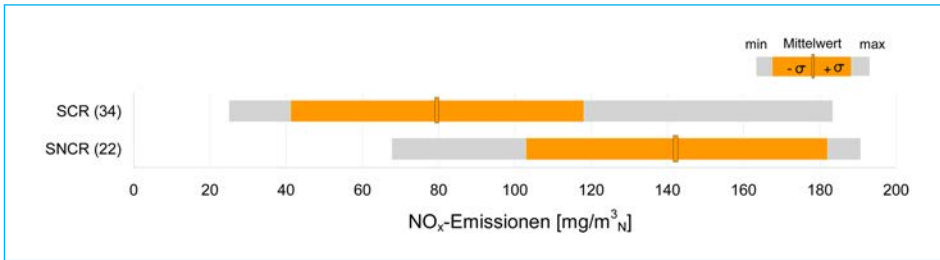


Bild 3: NO_x-Reingasemissionen nach der katalytischen und nichtkatalytischen Entstickung

Quelle: Daschner, R; Faulstich, M.; Quicker, P.; Gleis, M.: Emissionen und Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung. In: Technische Sicherheit (2011), Nr. 1/2, Düsseldorf: Springer Verlag

5. Abscheidung von sauren Schadgasen

Die Abscheidung von Halogenwasserstoffen (HCl, HF) und Schwefeloxiden aus dem Abgas erfolgt durch adsorptive und absorptive Verfahren. Die Prozesse zur Abscheidung saurer Schadgase lassen sich in trockene, konditioniert trockene und nasse Prozesse unterteilen, die wiederum weiter untergliedert werden können. Da insbesondere bezüglich der konditioniert trockenen Abgasreinigung häufig unterschiedliche oder sogar widersprüchliche Bezeichnungen verwendet werden, ist in Bild 4 eine Einteilung der gebräuchlichen Methoden zur Abscheidung saurer Schadgase wiedergegeben.

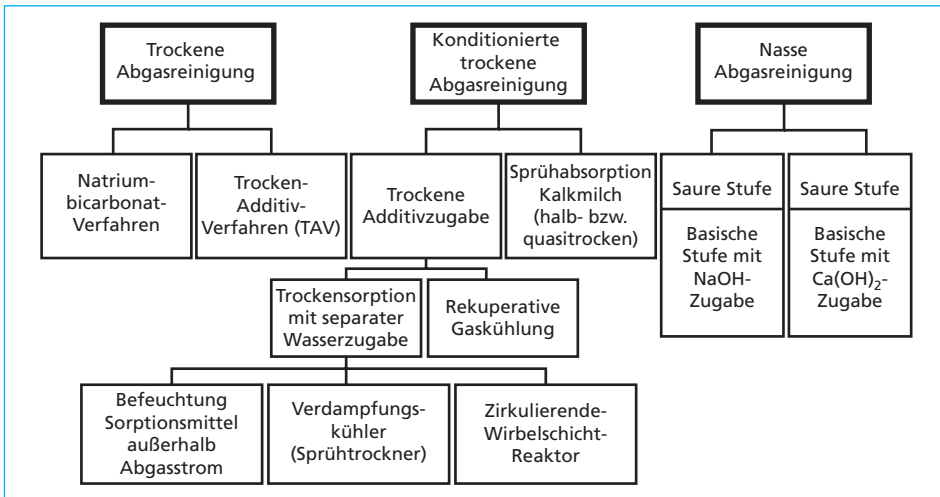


Bild 4: Einteilung der Verfahren zur Abscheidung saurer Schadgase

Trockene Abgasreinigung

Bei der trockenen Abgasreinigung nach dem Kessel kommt als Sorptionsmittel Natriumhydrogencarbonat zum Einsatz. Das Sorptionsmittel wird frisch aufgemahlen

in den Abgasstrom eingeblasen und reagiert dort mit den Schadgasen. In einem nachgeschalteten Staubabscheider erfolgt die Feststoffabtrennung.

Das Trocken-Additiv-Verfahren, bei dem Kalkstein direkt in den Feuerraum eingebracht wird, zählt ebenfalls zu den trockenen Abgasreinigungsverfahren. Es ist insbesondere für den Einsatz in Wirbelschichtfeuerungen geeignet. Infolge der hohen Temperaturen reagiert der Kalkstein zu Branntkalk (CaO) welcher die Sauerstoffkomponenten bindet [3].

Konditionierte trockene Abgasreinigung

Die Reinigung des Abgases mittels konditionierter trockener Verfahren ist eine zweite Basisvariante, Sauerstoffe abzuscheiden. Konditioniert trockene Verfahren gliedern sich in zwei Verfahrensgruppen, die konditionierte Trockensorption mit trockener Additivzugabe sowie die Sprühabsorption. Bei der Sprühabsorption wird das Sorptionsmittel $\text{Ca}(\text{OH})_2$ als Kalkmilch in den Abgasstrom zugegeben. Bei der trockenen Additivzugabe erfolgt die Einstellung der zur Abscheidung der sauren Gase notwendigen Feuchte entweder durch separate Wasserzugabe in den Abgasstrom oder durch Befeuchtung des Sorptionsmittels. Durch den Einsatz eines Verdampfungskühlers kann die relative Feuchte des Abgases durch Temperaturabsenkung erhöht werden.

Nasse Abgasreinigung

Die dritte Option zur Abscheidung saurer Abgaskomponenten ist die nasse Abgasreinigung. Dieses Verfahren besteht in der Regel aus einem sauren Nasswäscher zur Halogen- und SO_3 -Abscheidung, welcher als Füllkörperwäscher oder Venturiwäscher ausgeführt ist. Darüber hinaus ermöglicht dieser Wäscher, wie in Kapitel 2 erwähnt, die Abscheidung oxidierten Quecksilbers. Auf diese Stufe folgt ein zweiter, neutraler bis tendenziell alkalischer Nasswäscher zur Abscheidung von Schwefeldioxid, beispielsweise in Form einer Füllkörperkolonne. Um den idealen pH-Wert der jeweiligen Wäscherstufe aufrecht zu erhalten, kommen je nach Waschflüssigkeit natrium- oder calciumbasierte Neutralisationsmittel zum Einsatz. Zur Gewährleistung der Wäscherleistung sind ein sukzessiver Abzug und eine Reinigung des Waschwassers nötig. Zur Vermeidung von Abwässern bietet es sich an, das gereinigte Prozesswasser in einem Sprühtrockner im Abgasstrom zu verdampfen.

Bei der Abgasbehandlung in Abfallverbrennungsanlagen werden die geschilderten Verfahren zur Sauerstoffabscheidung entweder einzeln oder in unterschiedlichen Kombinationen angewendet.

Wie aus Bild 5 hervorgeht, sind die Abgasreinigungsverfahren, die über Wäscher verfügen, den konditioniert trockenen Verfahren bezüglich der Abscheidung von Chlorwasserstoff klar überlegen. Obwohl auch letztere Verfahren den HCl -Grenzwert von 10 mg/m^3 (Tagesmittelwert nach 17. BImSchV) zuverlässig einhalten, übersteigen die gemittelten Emissionswerte jene der nassen Verfahren teils um ein Vielfaches. Darüber hinaus tritt eine große Streuung auf. Hinsichtlich der nassen Reinigung ist weiterhin festzuhalten, dass die Kombination von Wäschern mit

weiteren Verfahrensstufen keine erhöhte Reinigungsleistung zur Folge hat. Die Trockensorption mittels Natriumbicarbonat zeigt ebenfalls sehr gute Leistungen bei der Abscheidung von sauren Schadgasen. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass lediglich Daten aus zwei Anlagen zur Verfügung standen.

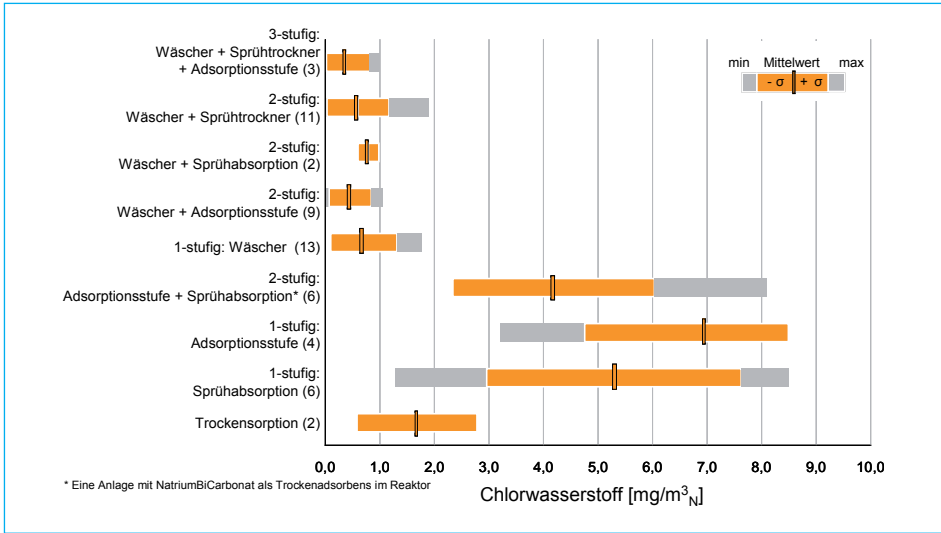


Bild 5: Vergleich der HCl-Abscheideleistung verschiedener Verfahren

Quelle: Daschner, R; Faulstich, M.; Quicker, P.; Gleis, M.: Emissionen und Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung. In: Technische Sicherheit (2011), Nr. 1/2, Düsseldorf: Springer Verlag

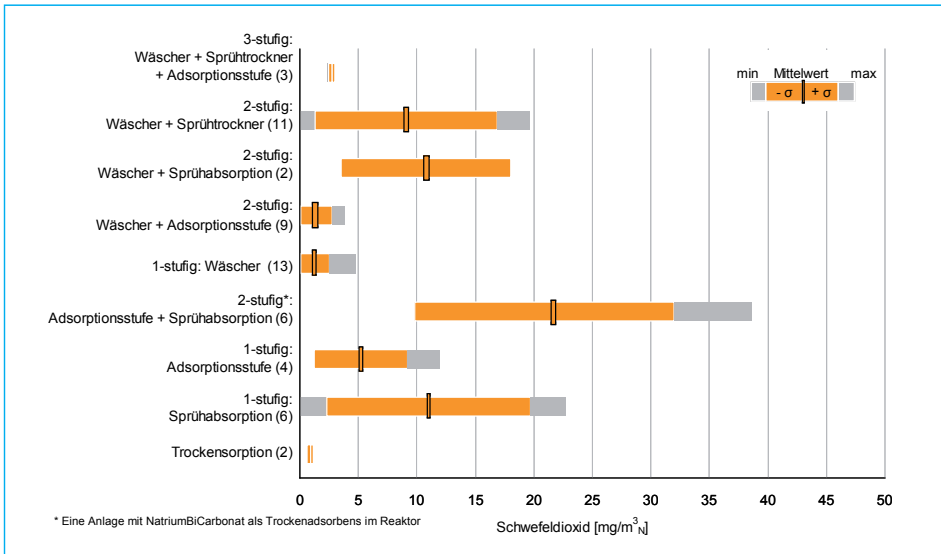


Bild 6: Vergleich der SO₂-Abscheideleistung verschiedener Verfahren

Quelle: Daschner, R; Faulstich, M.; Quicker, P.; Gleis, M.: Emissionen und Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung. In: Technische Sicherheit (2011), Nr. 1/2, Düsseldorf: Springer Verlag

Hinsichtlich der Abscheidung von Fluorwasserstoff zeigen dieselben Verfahren durchweg gute Ergebnisse mit geringer Streuung. Sowohl trockene, konditionierte trockene als auch nasse Verfahren nutzen den HF-Grenzwert von 1 mg/m^3 (Tagesmittelwert nach 17. BImSchV) zu nicht mehr als 20 % aus, sodass eine nähere Diskussion der Effizienz der einzelnen Verfahrenskonzepte als nicht sinnvoll erscheint [1].

Die Abscheidungsleistung hinsichtlich Schwefeloxiden ist in Bild 6 dargestellt. Alle Anlagen halten den SO_2 -Grenzwert von 50 mg/m^3 (Tagesmittelwert nach 17. BImSchV) sicher ein, im Mittel wird er von keinem Verfahren zu mehr als 50 % ausgeschöpft. Die besten Abscheideleistungen zeigen hier die Trockensorption, einstufige Waschverfahren sowie Wäscher in Kombination mit einer konditioniert trockenen Abgasreinigungsstufe. Verfahrenskombinationen unter Verwendung von Sprühabsorbbern schneiden deutlich schlechter ab. Interessant ist, dass die Kombinationen aus Sprühabsorption und konditionierter Trockensorption höhere Emissionswerte aufweisen als die einstufige Sprühabsorption.

6. Effizienz der Abgasreinigung unterschiedlicher Anlagentypen

Für die Leistungsfähigkeit von Abgasreinigungsanlagen ist neben dem gewählten Minderungsverfahren vor allem die Beschaffenheit des behandelten Abfalls von großer Bedeutung. Je nach Abfallart treten zum Teil deutlich unterschiedliche Schadgaskonzentrationen im Rohgas auf. In Bild 7 sind die Emissionswerte für HCl, SO_x und NO_x von verschiedenen Anlagentypen zur thermischen Abfallbehandlung einander gegenübergestellt.

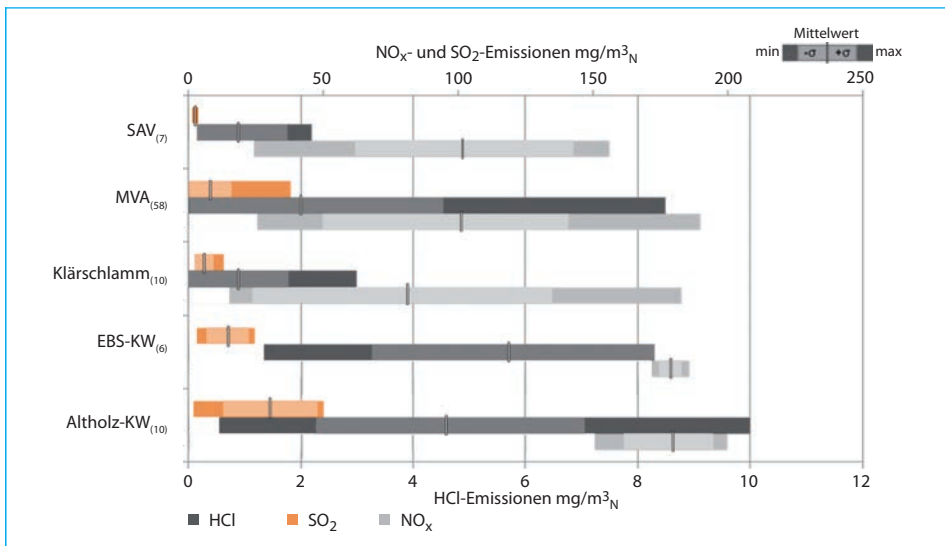


Bild 7: Emissionswerte unterschiedlicher Anlagentypen

Quelle: Daschner, R; Faulstich, M.; Quicker, P; Gleis, M.: Emissionen und Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung. In: Technische Sicherheit (2011), Nr. 1/2, Düsseldorf: Springer Verlag

Das Diagramm zeigt, dass die Emissionswerte je nach Anlagentyp divergieren. Dies liegt einerseits sicherlich an der Zusammensetzung des in die Anlage eingebrachten Einsatzstoffs. Bei EBS-Kraftwerken sind beispielsweise hohe Chlorwasserstoffgehalte im Rohgas üblich. Auf der anderen Seite soll an dieser Stelle aber nicht unerwähnt bleiben, dass auch wirtschaftliche Überlegungen Einfluss auf die Höhe der Emissionswerte haben können. Die durchweg höheren Emissionswerte der EBS- und Altholzkraftwerke legen diese Vermutung zumindest nahe.

7. Zusammenfassung

Es lässt sich feststellen, dass die Abgasreinigungsverfahren aller 58 betrachteten Siedlungsabfallverbrennungsanlagen die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach 17. BImSchV zuverlässig ermöglichen. In der Regel werden diese Grenzwerte signifikant unterschritten.

Die verwendeten Abgasreinigungsverfahren und -verfahrenskombinationen zeigen jedoch unterschiedliche Leistungsfähigkeiten. Dies wird bei Betrachtung der Emissionswerte für Schwefeloxide, Chlorwasserstoff und Stickoxide deutlich. Hinsichtlich der Abscheidung von sauren Schadgasen lässt sich festhalten, dass Waschverfahren und die Trockensorption unter Einsatz von Natriumhydrogencarbonat zu den niedrigsten Emissionswerten führen.

Der Vergleich der verschiedenen Anlagentypen zur thermischen Abfallbehandlung zeigt, dass der Betrieb von Siedlungsabfall-, Sonderabfall- und Klärschlammverbrennungsanlagen mit einem niedrigeren spezifischen Schadstoffausstoß verbunden ist als dies bei EBS- und Altholzkraftwerken der Fall ist. Als Grund hierfür kommen neben der Einsatzstoffzusammensetzung auch wirtschaftliche Erwägungen in Frage.

8. Literatur

- [1] Daschner, R; Faulstich, M.; Quicker, P.; Gleis, M.: Emissionen und Abgasreinigungsverfahren bei der Abfallverbrennung. In: Technische Sicherheit (2011), Nr. 1/2, Düsseldorf: Springer Verlag
- [2] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV)
- [3] Verein Deutscher Ingenieure: Vorentwurf VDI 3460: Emissionsminderung – Thermische Abfallbehandlung. Düsseldorf, 2011
- [4] Fritz, W.; Kern, H.: Reinigung von Abgasen, 3. Auflage. Würzburg: Vogel Buchverlag, 1992

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 8

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-60-3

ISBN 978-3-935317-60-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

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

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

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

Dipl.-Ing. Ernst Thomé, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc. und Dr.-Ing. Stephanie Thiel

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Dipl.-Kffr. Elke Czaplewski, Petra Dittmann,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

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

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

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