

VapoLAB – Die Evolution in der Abgasreinigung Grundlagen – Konzepte – Ausführung

Christian Fuchs und Frank Tabaries

1.	Das Nasswaschverfahren – GraniLAB.....	558
2.	Das Quasitrockenverfahren – SemiSecoLAB	559
3.	Das Trockenverfahren – SecoLAB	560
4.	Die Rezirkulation bei Trocken- und Quasitrockenverfahren.....	560
5.	Der ActiLAB-Reaktor.....	561
6.	Das VapoLAB-Verfahren	563
7.	Ergebnisse der ersten Betriebsreihe	565
8.	Zusammenfassende Bewertung	567

Abgasreinigung für die bei der energetischen Verwertung von Hausmüll und Ersatzbrennstoffen entstehenden Abgase ist eine anspruchsvolle Aufgabe: Die sichere Entsorgung von Reststoffen und den darin enthaltenen Schadstoffen bei Einhaltung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte ist vordringlich. Für die Betreiber dieser Verwertungsanlagen kommen allerdings noch weitere Forderungen hinzu. So ist der sichere und zuverlässige Dauerbetrieb der Anlagen ebenso wie der wirtschaftliche Umgang mit Betriebsstoffen und die maximierte Energiegewinnung eine Forderung. Aus dieser komplexen Aufgabenstellung heraus erklären sich die Entwicklungen der letzten Jahre für die verschiedensten Abgasreinigungsverfahren und Betriebsstoffe.

Im Folgenden sollen die heute verfügbaren Verfahren kurz vorgestellt und die Entwicklung von VapoLAB erläutert werden. Hiermit werden die oben genannten Forderungen an eine Abgasreinigungsanlage optimal erfüllt.



Bild 1:

Zweistufige Filtration mit Bikarbonat und Kalkhydrat sowie Energienutzung

1. Das Nasswaschverfahren – GraniLAB

Je nach Abscheideaufgabe besteht das Nasswaschverfahren aus einer oder mehreren Washstufen zur Abscheidung der im Abgas enthaltenen Sauerstoffe. Üblicherweise wird eine erste saure Wäscherstufe zur bevorzugten Abscheidung stark saurer Gase wie SO_3 , HF und HCl mit einer zweiten neutralen Stufe zur Abscheidung von SO_2 kombiniert.

Das Nasswaschverfahren bietet die wirtschaftlichste Betriebsweise mit einer Stöchiometrie von etwa 1,0 und kann darüber hinaus je nach Auslegung Reingaskwerte bis zur Nachweisgrenze erreichen. Diese Verfahrenstechnik war mit Einführung der neuen 17. BImSchV im Jahre 1995 Stand der Technik und wurde in den Anlagen, die zu diesem Zeitpunkt geplant und gebaut wurden, bevorzugt eingesetzt.

Zu einer Abgasreinigungsanlage nach dem Nasswaschverfahren gehören allerdings auch periphere Anlagen, die den Betrieb der Nasswäsche erst ermöglichen. Dies sind Staubvorabscheider wie Elektrofilter, Eindampfanlagen für die Abschlammung aus den Wäschern wie Sprühtrockner mit Gewebefilter, Tropfenabscheider sowie erforderlichenfalls eine Wiederaufheizung für die Abgase, falls keine Abgasfahne gewünscht ist.

Weitere Nebenanlagen sind die Betriebsmittellager für z.B. Natronlauge NaOH oder Kalk CaO und Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mit Silos und Löschanlage für Branntkalk.

Mit diesen Nebenanlagen reduziert sich der wirtschaftliche Vorteil der Nasswaschverfahren durch hohe Investitionskosten, aufwendige und personalintensive Wartungsarbeiten und eingeschränkte Energienutzungsmöglichkeiten.

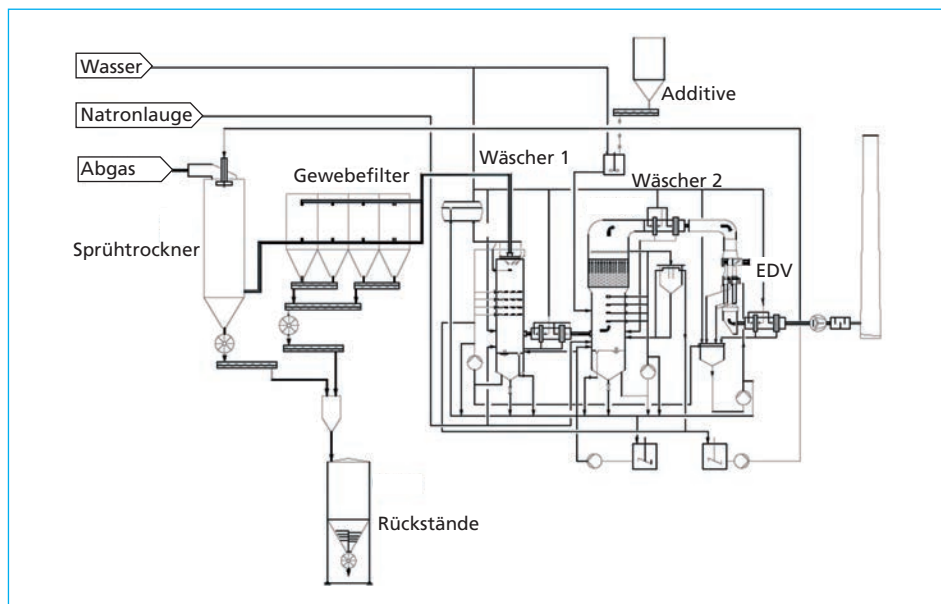


Bild 2: Zweistufiges Nasswaschverfahren mit Sprühtrockner und Gewebefilter

2. Das Quasitrockenverfahren – SemiSecoLAB

Das Quasitrockenverfahren ist das im ersten Jahrzehnt des neuen Jahrtausend am häufigsten eingesetzte Abgasreinigungsverfahren, da hier eine hervorragende Abscheideleistung insbesondere für HCl bei wirtschaftlichem Betriebsmittelverbrauch und reduzierten Investitionskosten geboten wird.

Das eingesetzte Sorptionsmittel ist in der Regel Branntkalk, der in der Anlage gelöscht und dem Abgasreinigungsprozess zur Verfügung gestellt wird. Der Verfahrensweg besteht aus dem Sprühabsorber und der Eindüsung von fein zerstäubter Kalkmilch mit nachgeschaltetem Umlenkflugstromreaktor und Gewebefilter. Die eigentliche Verfahrensstrecke ist im Vergleich zur Nasswäsche mit Sprühtrockner, Gewebefilter und meist zwei Wäschern deutlich kürzer und es sind außer für die Bereitstellung von Betriebsmitteln keine weiteren Nebenanlagen erforderlich.

Auch beim Quasitrockenverfahren wird die erste Komponente, der Sprühabsorber überwiegend zur Abscheidung von stark sauren Gasen wie SO_3 , HF und HCl eingesetzt. Die zweite Stufe zur Abscheidung von SO_2 bildet der Umlenkflugstromreaktor, in den zusätzlich zu den aus dem Sprühabsorber eingetragenen und noch nicht reagierten Sorptionsmittel Kalkhydrat aufgegeben wird. Dies ist auch die Reaktionsstufe, wo das aus dem Gewebefilter ausgetragene, aber noch nicht verbrauchte Sorptionsmittel zur weitergehenden Reaktion in den Verfahrensweg zurückgebracht wird.

Die Leistungsfähigkeit des Quasitrockenverfahrens ist außergewöhnlich gut, da die im Sprühabsorber zerstäubte Kalkmilch verdampft und aufgrund der hohen Partikeloberfläche extrem reaktiv ist. Durch weitergehende Verdampfung bei der Trocknung der entstehenden Partikel werden hier Kornstrukturen aufgebrochen und zusätzliche reaktive Oberflächen für die Reaktion bereitgestellt. Charakteristische Stöchiometrien liegen je nach Rohgaskonzentrationen um 2,0.

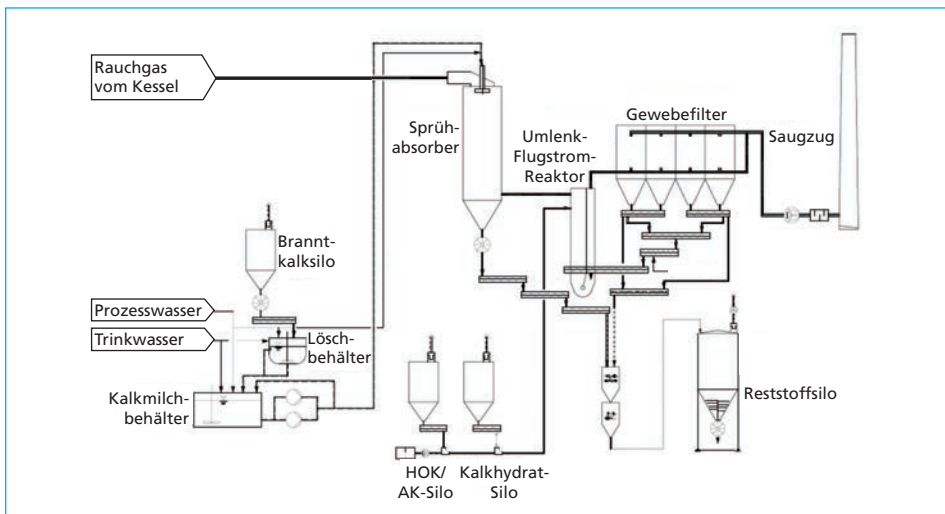


Bild 3: Quasitrockenverfahren mit Sprühabsorber, Umlenkreaktor und Gewebefilter

3. Das Trockenverfahren – SecoLAB

Das Trockensorptionsverfahren mit Kalkhydrat als Sorptionsmittel ist das im Vergleich einfachste Verfahren. Typischerweise wird es bei kleineren Anlagen und niedrigen Abscheideleistungen eingesetzt. Besonders attraktiv sind die günstigen Investitionskosten und die durch eine reduzierte Verfahrensstrecke minimalen Wartungsaufwendungen. Im Bereich Hausmüll- oder Ersatzbrennstoffverwertung hat sich das Verfahren jedoch nicht durchsetzen können, wohl aber bei Altholzverwertungsanlagen oder in speziellen Aufgabenstellungen der Industrie. Die Verfahrensstrecke besteht aus einem Trockensorptionsreaktor mit Gewebefilter, optional bei hohen Kesselaustrittstemperaturen einem Verdampfungskühler oder auch einer Rezirkulation. Erreichbare Stöchiometrien liegen zwischen 2,0 und 3,0.

Auf die Trockensorption mit Natriumhydrogenkarbonat zur Abscheidung der sauren Schadstoffe soll hier nicht näher eingegangen werden. Dieses Verfahren bietet außergewöhnliche Leistungsfähigkeit in der Abscheidung bei einem günstigen Investitionsaufwand. Nachteilig sind hier die hohen Betriebsmittelkosten.

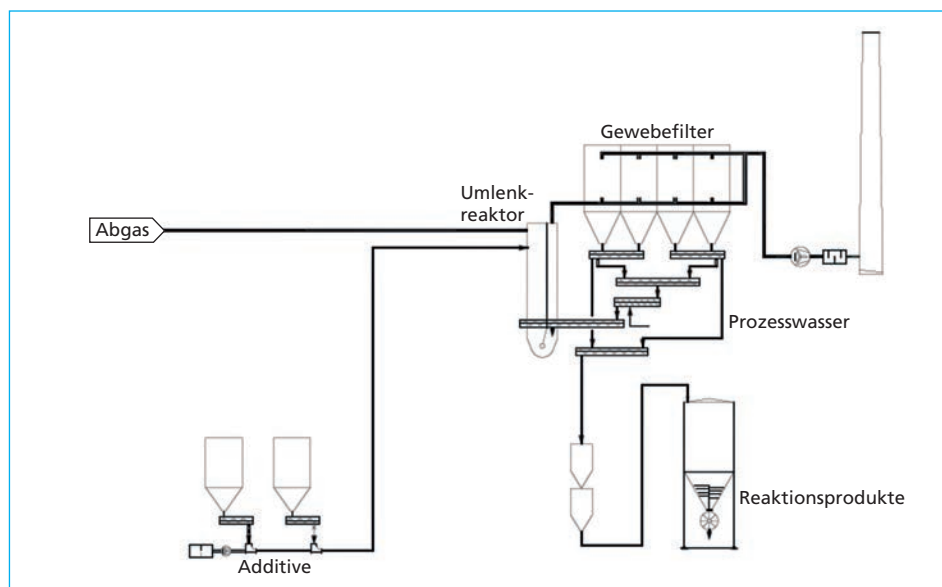


Bild 4: Trockenverfahren mit Umlenkreaktor und Gewebefilter

4. Die Rezirkulation bei Trocken- und Quasitrockenverfahren

Die Einführung der Rezirkulation von im Gewebefilter anfallenden Abgasreinigungsrückständen hat bei den Trocken- und Quasitrockenverfahren eine wesentliche Steigerung von Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bewirkt. Ohne wesentlichen Einfluss auf die Gesamtinvestition der Abgasreinigungsanlage

bewirkt die Rückführung von unverbrauchtem Sorptionsmittel in den Prozess eine Stabilisierung des Verfahrens gegen Schadstoffspitzen, da größere Mengen an Sorptionsmittel im Umlauf sind und zur Abscheidung zur Verfügung stehen. Darüber hinaus kann die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einer Anlage ohne Rezirkulation deutlich gesteigert werden. Die Erfahrung der letzten Jahre hat gezeigt, dass die Zusammensetzung des Brennstoffes insbesondere bei EBS inhomogener wird und zusätzlich die Schadgaskonzentrationen teilweise deutlich steigen können. Diesen hohen Anforderungen an eine Abgasreinigung kann man nur gerecht werden, wenn bei Trocken- oder Quasitrockenverfahren generell eine Rezirkulation vorgesehen wird.

Die Leistungsfähigkeit der Rezirkulation lässt sich noch weiter steigern, indem der rezirkulierte Abgasreinigungsreststoff mit Wasser angefeuchtet wird. Durch die Reaktion mit Sauergasen bilden sich um die Partikel mit einem Kern aus Calciumhydroxid dichte Hüllen aus Reaktionsalzen, die ein Durchreagieren des zur Verfügung stehenden Calciumhydroxids verhindern. Die Zugabe von Wasser im Rezirkulationsmischer bewirkt eine Öffnung der Granulathüllen, so dass eine weitergehende Umsetzung des Reaktionsmittels stattfinden kann.

Die Ausführung der Rezirkulation ist auf den Bildern 3 und 4 bereits dargestellt. Überwiegend handelt es sich um Förderaggregate wie Rohrschnecken und einen 2-Wellen-Mischer, wie in den Bildern 5 und 6 dargestellt.

Alternativ kann der Prozess der Aktivierung des Abgasreinigungsreststoffs auch durch Reifung – d.h. über die Zeit – erzielt werden. Beispiele für diese Ausführung der Aktivierung von Abgasreinigungsreststoff wurden überwiegend in Frankreich und England realisiert.

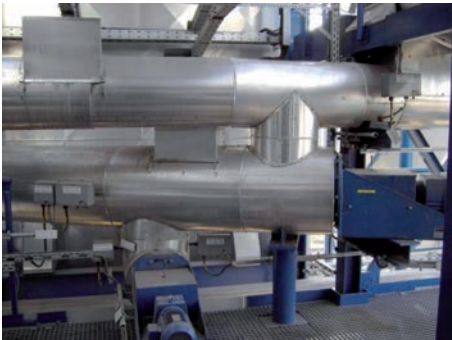


Bild 5: Trockene Rezirkulation von Abgasreinigungsreststoff



Bild 6: Anfeuchtemischer zur Rezirkulation

5. Der ActiLAB-Reaktor

Eine innovative Weiterentwicklung der Rezirkulation mit Anfeuchtung durch Wasser, das über Einstoffdüsen in einem Zweiwellenmischer in das Rezirkulat eingebracht wird, ist die Aktivierung mit Dampf.

Triebfeder für die Entwicklung war die Problematik, Stoffe mit zwei verschiedenen Aggregatzuständen, fest und pulverförmig mit flüssig zu vermischen, ohne dass sich nachteilige Folgen für das Produkthandling einstellen. Bei einer inhomogenen Mischung von Wasser mit Reststoff können sich unter Umständen Zonen unterschiedlicher Flüssigkeitskonzentrationen bilden, die dann zu pastösen und später harten Belägen werden.

Wird das für die chemische Umsetzung im Partikel benötigte Wasser hingegen dampfförmig zugegeben, und wird durch Temperaturführung Kondensation verhindert, so steht ebenfalls ausreichend Wasser für die Reaktion zur Verfügung, aber nicht flüssig, sondern gasförmig. Ein Gemisch Gas/Pulver bildet keine pastösen Massen, also sind keine Probleme mit Anbackungen zu erwarten.

Zusätzlich zu dem Vorteil, der für das Handling der rezirkulierten Reststoffe zu erwarten ist, bietet die Verwendung von Dampf zur Befeuchtung den Vorteil der thermischen Aktivierung. Durch die Einwirkung von Niederdruckdampf mit 130°C oder mehr wird ein höherer Prozentsatz an unverbrauchtem Calcium als Hydroxychlorid aus dem rezirkulierten Reststoff wieder der Reaktion mit Sauer gasen zur Verfügung gestellt.

Der Dampf wird dabei im Mischbereich des Reaktors aufgegeben um in besonders intensiven Kontakt mit dem rezirkulierten Abgasreinigungsreststoff zu kommen. Ein Blick von oben in den Reaktor zeigt die beiden Wellen und am Boden die Aufgabestelle.



Bild 7:

Draufsicht: ActiLAB-Reaktor mit Dampfzuleitung

Besondere Anforderungen an den Dampf werden dabei nicht gestellt. Es kann durchaus auch Abdampf einer Turbine sein. Die Dampfmenge die für die Aktivierung des Abgasreinigungsreststoffes benötigt wird ist bei einer MVA, die jährlich etwa 150.000 Tonnen Hausmüll oder Ersatzbrennstoff verwertet, minimal, sollte aber die Druckstufe zwischen 3 und 5 bar haben.

Die Verweilzeit der Abgasreinigungsreststoffe in dem Rezirkulationsmischer beträgt nur wenige Minuten um eine weitestgehende Aktivierung zu erzielen.



Bild 8:

Längssicht: ActiLAB-Reaktor mit Dampfzufuhr

Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wurde in einer realen Anlage in Deutschland, die im Jahr etwa 210.000 Tonnen Ersatzbrennstoffe verwertet, nachgewiesen. Dabei wurde im Regelbetrieb eine Stöchiometrie von etwa 1,5 erreicht.

6. Das VapoLAB-Verfahren

Natürlich sind die Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens und die Reduzierung der Investitionskosten sowie des Wartungsaufwandes ein großer Erfolg in der Weiterentwicklung bestehender Abgasreinigungsverfahren. In der heutigen Zeit ist aber Energieeinsparung ein weiteres, hochaktuelles Thema. Bei Kesselaustrittstemperaturen von über 140 °C wird bei kalkbasierenden Trocken- und Quasitrockenverfahren immer durch das Eindüsen von Kalkmilch zur Vorabscheidung, durch einfaches quenchen mit Wasser oder auch durch die Anfeuchtung bei der Rezirkulation Energie vernichtet, um die Abgastemperatur auf die optimale Reaktionstemperatur von 140 °C für Kalkhydrat bei gleichzeitiger Minimierung der Kondensationsgefahr von Calciumchlorid einzustellen.

Die *Evolution der Abgasreinigung* muss nicht nur optimale Ausnutzung des Sorptionsmittels bieten, sie muss auch energetisch optimiert sein, d.h. sie darf keine Energie vernichten.

Das patentierte VapoLAB-Verfahren bietet dies. Das Verfahren besteht aus einer Trockensorption mit Umlenflugstromreaktor und Gewebefilter sowie der Rezirkulation mit Befeuchtung durch Dampf. Beim energetisch optimierten VapoLAB wird der Dampf mittels eines in der Abgasreinigungsanlage integrierten Dampferzeugers erzeugt. Bei höherer Austrittstemperatur des Abgases wird

zusätzlich Dampf erzeugt, der anderweitig genutzt werden kann, z.B. zur Kondensatvorwärmung oder zur Einspeisung in ein Fernwärmenetz.

Allerdings ist auch die Einstellung der optimalen Reaktionstemperatur durch einen Verdampfungskühler möglich.

Der ActiLAB-Reaktor wird beim energetisch optimierten VapoLAB-Verfahren mit in der Abgasreinigungsanlage selbst erzeugtem Dampf betrieben, es ist jedoch auch möglich Dampf von einer Niederdruckschiene zu entnehmen und zu verwenden.

In Bild 9 ist eine weitere Option von VapoLAB dargestellt, mit der die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage gesteigert werden kann: Mit dem selbst erzeugten Dampf kann die Löschung von Kalk zu Kalkhydrat einfacher und wirtschaftlicher ausgeführt werden als mit Nasslöschung zu Kalkmilch oder mit Trockenlöschung zu Kalkhydrat. Auch hier gilt wie bei der Aktivierung von Rezirkulat: Dampf ist Wassergas und bildet keine pastösen Ablagerungen wie dies bei der Zumischung von Wasser zur pulverigen Feststoffen geschehen kann.

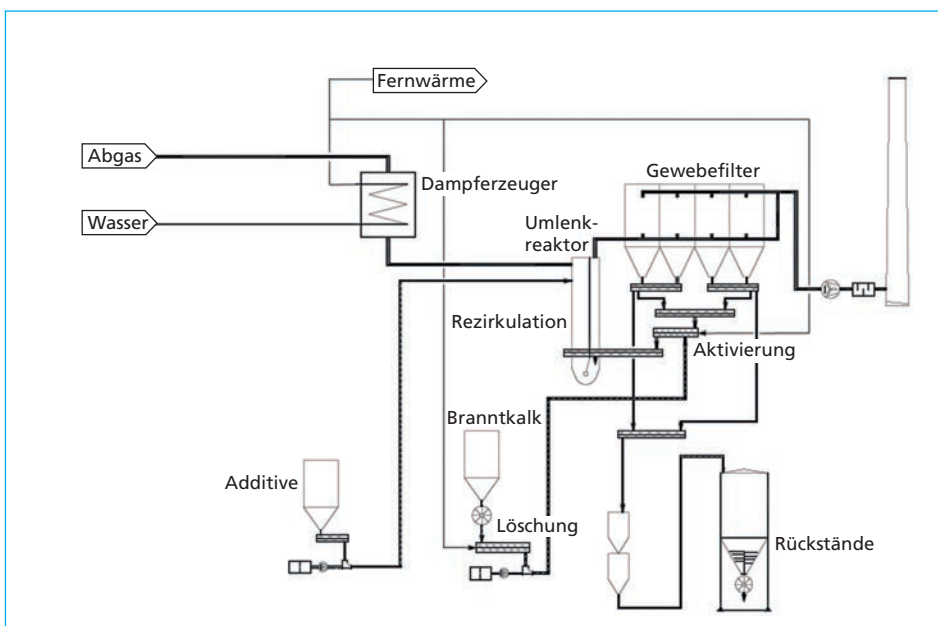


Bild 9: VapoLAB mit Dampferzeugung in der Abgasreinigungsanlage

Das VapoLAB-Verfahren bietet sich bei Neuplanungen von Hausmüll- oder Ersatzbrennstoffverwertungsanlagen an, wenn die Anforderungen an Emissionen im Rahmen der europäischen Gesetzgebung liegen. Ebenso attraktiv ist diese Verfahrenstechnik jedoch insbesondere auch für Nachrüstungen im Bestand, wenn aufgrund von anstehenden Reparaturen ohnehin Investitionen anstehen um, den weiteren Betrieb zu sichern.

Damit sind die Trockenverfahren nicht nur vom Investitionsvolumen attraktiv geworden, sondern auch von

- der Leistungsfähigkeit in Bezug auf Abscheideleistung,
- der Wirtschaftlichkeit beim Umgang mit Betriebsmitteln (mindestens 10 % wirtschaftlicher bei gleichen Investitionskosten!),
- der benötigten reduzierten Grundfläche,
- der energetischen Nutzung und Bereitstellung von Energie,
- dem reduzierten Wartungsaufwand.

7. Ergebnisse der ersten Betriebsreihe

Die ersten Versuche wurden in einer unserer Abgasreinigungsanlagen in Deutschland gefahren.

Die Abgasreinigung ist nach dem Quasitrockenverfahren konzipiert und verfügt über einen zusätzlichen Umlenkflugstromreaktor mit Rezirkulation und Anfeuchtung. Bei Regelbetrieb mit Ersatzbrennstoffen wird die 17. BImSchV sicher eingehalten und deutlich unterschritten.

Der Versuch war in drei Teile gegliedert, um den Einfluss der jeweiligen Art der Rezirkulation darzustellen. Für alle Versuche wurde der vorgeschaltete Sprühabsorber lediglich als Quench betrieben, d.h. es wurde nur Wasser versprüht, um die Temperatur auf 140 °C einzustellen.

Die erste Kampagne wurde mit trockener Rezirkulation gefahren. Damit wurden die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten, jedoch stieg der Verbrauch an Sorptionsmittel signifikant an. Die Stöchiometrie stieg auf Werte von etwa 2,5.

Die zweite Kampagne war die eigentliche Regelbetriebsweise mit Rezirkulation und Anfeuchtung mit Wasser. Hier pendelte sich die Stöchiometrie, so wie in der bisherigen Betriebszeit auf einen Wert von etwa 2,0 ein.



Bild 10:
Externer Dampferzeuger

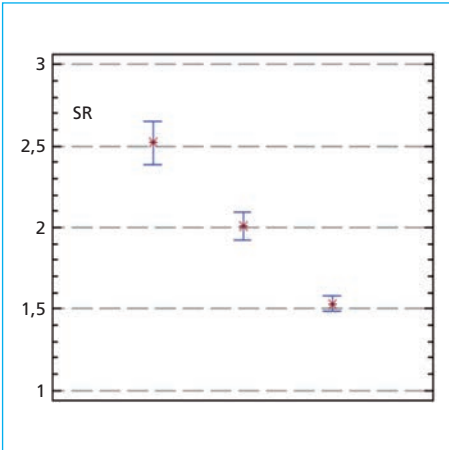


Bild 11: Erreichte Stöchiometrien mit trockener und feuchter Rezirkulation sowie ActiLAB

Die dritte Kampagne wurde mit Bedampfung statt mit Wasseraufgabe ausgeführt. Für den Versuch wurde eigens ein Dampferzeuger mit eigener Brennstoffversorgung organisiert.

Als ActiLAB-Mischer wurde der bestehende Feuchtemischer modifiziert und mit einer Dampfzange ausgerüstet. Für diese Betriebsweise konnte eine Stöchiometrie von 1,5 erreicht werden.

In Bild 11 kann man erkennen, dass die Bandbreite der Schwankungen der Stöchiometrie deutlich abgenommen hat. Das Verfahren ist also gegenüber Schwankungen im Schadgaseintritt wesentlich stabiler als die bisher bekannten Trockensorptionsverfahren.

Dabei wurden je Kampagne mehrere Proben des Reststoffes analysiert um ein repräsentatives Bild der Leistungsfähigkeit des Verfahrens zu erhalten. Rohgase ändern insbesondere bei Ersatzbrennstoffen je nach aktuell aufgegebener Charge sehr schnell die Schadgaszusammensetzung und -konzentration. Ein schmales Band an Stöchiometriewerten weist eine Stabilität des Verfahrens gegenüber diesen üblichen Schwankungen nach. Im Vergleich zu den bisher verbreiteten Verfahren ist dies eine deutliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit.

Weiterhin war erkennbar, dass die Anlage etwa 10 bis 15 Stunden benötigt hat, um von Betriebszustand *Rezirkulation feucht* in den Zustand ActiLAB zu fahren.

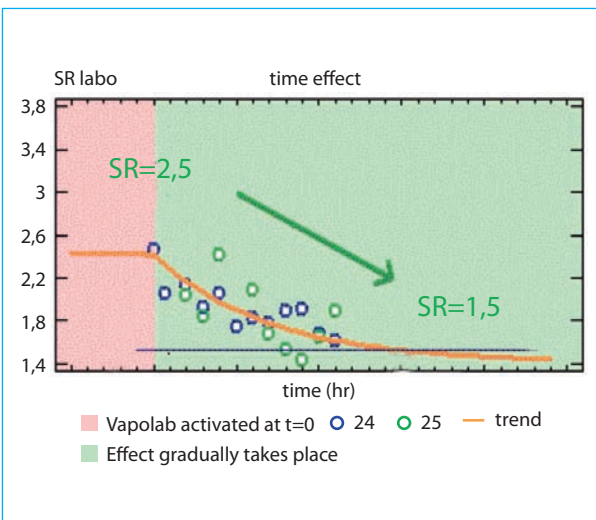


Bild 12:

Erreichte Stöchiometrien nach zehn Stunden

8. Zusammenfassende Bewertung

ActiLAB und das energetisch optimierte VapoLAB sind geeignet, die Anforderungen der Abgasreinigung aus der Verbrennung von Hausmüll und Ersatzbrennstoffen zu erfüllen. Bei niedrigen Investitionskosten und Platzbedarf bieten sie sichere Einhaltung der Gewährleistungswerte und optimierten Verbrauch von Sorptionsmitteln, geringere Wartungskosten als bisherige Anlagen und zusätzliche Energieauskopplung.

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.