

**Welches  
Rauchgasreinigungsverfahren ist das  
Richtige?  
Antworten auf sich ändernden  
Schadgaskonzentrationen**

**Dipl.-Ing. Rudi Karpf  
ete.a Ingenieurgesellschaft mbH, Lich**

4. Tagung  
Trockene Abgasreinigung:  
für Feuerungsanlagen und andere thermische oder chemische Prozesse  
Essen, 13. - 14. November 2008

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung**
- 2 Abscheidemechanismen**
  - 2.1 quasitrockene / trockene Verfahren**
  - 2.2 nasse Verfahren**
- 3 Vorstellung und Diskussion verschiedener Verfahrenskonzepte**
- 4 Optimierungspotentiale**
  - 4.1 Substitution der Sprühabsorption durch reine Verdampfungskühlung**
  - 4.2 PTU-Verfahren**
  - 4.3 gestufte Additivzugabe**
- 5 Zusammenfassung**
- 6 Literatur**

## 1 Einleitung

Im Zusammenhang der jüngsten Klimadiskussionen gewinnt Abfall als Brennstoff eine immer größere Bedeutung. Das führte dazu, dass insbesondere an Industriestandorten, die Abfall als Brennstoff einsetzen, die Energieversorgung noch vor bzw. gleichwertig gegenüber der Abfallentsorgung gestellt wird. Dadurch konnten immer häufiger fossile Primärenergieträger wie Erdgas, Heizöl oder Kohle durch den „Ersatzbrennstoff(EBS)“ Abfall bzw. Abfallfraktionen substituiert werden.

Die Ersatzbrennstoffe werden in hierfür gesonderten Aufbereitungsanlagen, in denen in der Regel auch die org. Fraktion abgetrennt wird, mit einer spezifizierten Zusammensetzung erzeugt. Im Vergleich zu dem durchschnittlichen Hausmüll liegen beim EBS z.T. höher konzentrierte Schadstofffraktionen wie z.B. im Chlorgehalt vor.

Diese erhöhten Schadstoffeinträge stellen aber auch größere Anforderungen an die Verbrennungssysteme sowie an die nachgeschalteten Rauchgasreinigungsanlagen. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit Rauchgasreinigungsverfahren zur Abscheidung von hohen Schadgasfrachten und soll Antworten zur grundsätzlichen Verfahrenswahl sowie Fragen zu Optimierungsmöglichkeiten bestehender Anlagen geben.

## 2 Abscheidemechanismen

Für die Abgas- bzw. Rauchgasreinigung hinter Müll- und EBS-Verbrennungsanlagen können nasse und quasitrockene/trockene Verfahren verwendet werden. Jedes der Verfahren hat seine Vor- und Nachteile und somit auch seine Berechtigung, je nach Standort und den spezifischen Rahmenbedingungen.

Die grundsätzlichen Merkmale von nassen und trockenen Verfahren sind in Tabelle 1 gegenübergestellt.

Anhand dieser Merkmale kann bereits eine Vorauswahl des am geeignetsten einzusetzenden Verfahrens getroffen werden.

Bei den folgenden Betrachtungen wird im Wesentlichen auf die Abscheidung der sauren Schadgasbestandteile eingegangen. Da die meisten Anlagen mit einem quasitrockenen bzw. trockenen Verfahren ausgerüstet sind, werden die Grundlagen der Schadgasabscheidung hierfür gegenüber den nassen Verfahren ausführlicher behandelt.

**Tabelle 1:** Merkmale von nassen und trockenen Rauchgasreinigungsverfahren [1]

<b>nasse Verfahren</b>	<b>trockene Verfahren</b>
geringer Sorbensverbrauch (Stöchiometrie 1), dadurch geringe Reststoffmenge	größerer Sorbensverbrauch (Stöchiometrie 1,6 bis >2), dadurch größere Reststoffmenge
teure Additive (z.B. NaOH)	günstige Additive (z.B. Ca(OH) <sub>2</sub> )
großes Abscheidevermögen für HCl und SO <sub>2</sub>	gutes Abscheidevermögen
selektive Abscheidung	keine selektive Abscheidung
mehrstufiges System	einstufiges System
aufwendige Abwasseraufbereitung /Entsorgung	einfache u. robuste Komponenten
benötigt in der Regel eine Staubvorabscheidung	benötigt keine Staubvorabscheidung
größere Staub/Aerosol – Emissionen	geringer Wartungsaufwand
PCDD/PCDF- Abscheidung in Verbindung mit Füllkörperwäscher und HOK-Dosierung	sehr gute Abscheidung für Schwermetalle und PCDD/PCDF an HOK
größerer Platzbedarf	kein Nasskamin notwendig, dadurch keine Wasserdampffahne

## 2.1 quasitrockene / trockene Verfahren

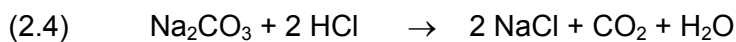
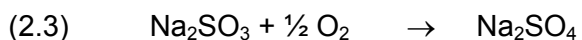
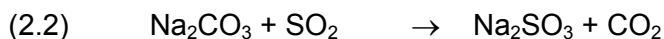
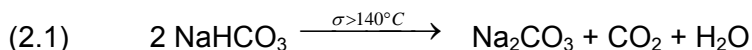
Trockensorptionsverfahren sind Abgasreinigungsverfahren, die weder Nasswäscher noch Elektrofilter(als Vorentstauber) benötigen. Die Staub- und Schadstoffabscheidung erfolgt simultan an einem Gewebefilter. Hierbei wird ein pulverförmiges Reagenz (Natriumhydrogencarbonat oder Kalkhydrat) in den Rauchgasstrom geblasen und danach an einem Gewebefilter (Schlauchfilter) abgeschieden. Durch chemische Reaktionen zwischen dem Reagenz und den gasförmigen Schadstoffen Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) werden diese Schadstoffe an dem Reagenz gebunden. Aus diesem Grund spricht man auch von Sorptionsverfahren oder *Chemisorption*.

Ein von der Rauchgasfeuchte unabhängiges trockenes Rauchgasreinigungsverfahren ist der Einsatz von Natriumhydrogencarbonat oder Natriumbicarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) als Additiv.

Natriumbicarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) zersetzt sich bei etwa >140°C im Rauchgas zu Natriumcarbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O). Dabei hinterlassen die gasförmigen Zersetzungsprodukte des Bicarbonats, die CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Moleküle, nach dem Übergang in die Gasphase Lücken bzw. Löcher im Reagenzpartikelkorn, sodass hierdurch Natriumcarbonat mit einer hohen spezifischen

Oberfläche entsteht. Das frisch erzeugte Natriumcarbonat ist daher reaktiver als das normale Kalkhydrat.

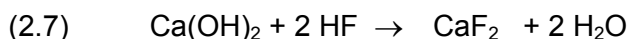
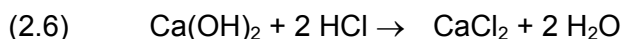
Die für die Abscheidung erforderlichen Additivmengen müssen nicht weit überstöchiometrisch dosiert werden, sodass oftmals eine 0,1 – 0,4fache stöchiometrische Zugabe genügt. Natriumhydrogencarbonat hat bezogen auf die Äquivalenz bei chemischen Reaktionen lediglich eine stöchiometrische Wertigkeit von 1 im Vergleich zu Kalkhydrat, das eine stöchiometrische Wertigkeit von 2 besitzt. D.h., für die Abscheidung von 1 Mol des zweiwertigen SO<sub>2</sub> sind 2 Mol NaHCO<sub>3</sub> jedoch nur 1 Mol Ca(OH)<sub>2</sub> erforderlich. Bei dem Natriumhydrogencarbonat wird daher der Vorteil der günstigeren Stöchiometrie durch den Nachteil bei der stöchiometrischen Wertigkeit ausgeglichen, sodass hier insgesamt keine Abnahme des Reagenzbedarfs vorliegt.



Durch die thermische Zersetzung des Natriumhydrogencarbonats entsteht das eigentliche Reagenz Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (siehe Reaktionsgleichung 2.1). Die gasförmigen Zersetzungsprodukte CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O werden hierbei an den Rauchgasstrom abgegeben, so dass die Reagenzmasse insgesamt abnimmt und sich die anfallende Reststoffmenge im Vergleich zu der Trockensorption mit Kalkhydrat verringert.

Die Anforderungen an den Prozess für eine effektive Schadgasabscheidung bestehen darin, dass über ein Aufmahlen des Natriumbicarbonats eine große Oberfläche und somit Stoffaustauschfläche geschaffen sowie eine Mindestverweilzeit von 2 Sekunden bei einer Temperatur >140°C sichergestellt werden muss.

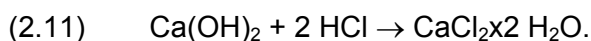
Bei der Verwendung von Kalkhydrat als Reagenz kommt es zu folgenden Reaktionen mit den o.g. gasförmigen Schadstoffen:





Untersuchungen und Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass bei einer Schadstoffabscheidung mit Kalkhydrat die Abscheideleistung unter bestimmten Bedingungen verbessert werden kann. Hierzu zählt vor allem die Erhöhung der relativen Rauchgasfeuchte  $\varphi$ .

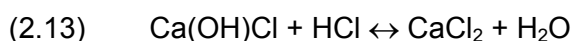
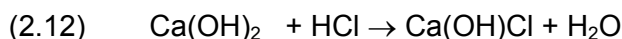
Der Chlorwasserstoff reagiert mit Calciumhydroxid zu Calciumchlorid, was in dem der konditionierten Trockensorption üblichen Temperaturbereichs von 130-150°C als Dihydrat vorliegt



Die HCl-Einbindung verläuft gegenüber der SO<sub>2</sub>-Einbindung energetisch bevorzugt, da die Aktivierungsenergie für die Reaktion im Niedertemperaturbereich gegenüber SO<sub>2</sub> niedriger ist.

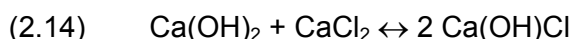
Generell spielt für die Abscheidung saurer Schadgase (HCl, SO<sub>2</sub>, HF), mit Ausnahme von SO<sub>3</sub>, die Lösungsgeschwindigkeit in wässrigem Medium eine entscheidende Rolle, auch bei trockener Additivzugabe. Denn der stets vorhandene Wasserdampf im Rauchgas bildet eine Hydrathülle um die Feststoffpartikel, wodurch die Reaktionskinetik gegenüber reiner Trockensorption außerordentlich begünstigt wird. Das bedeutet, dass Adsorptions- und Absorptionsvorgänge nebeneinander ablaufen. Dabei begünstigt die Hydrathülle den Stoffübergang Gas-/Partikeloberfläche und die Porendiffusion durch gewisse Löseffekte, die im molekularen Bereich schnelle Ionenreaktionen ermöglichen. Aus diesem Grund spielt insbesondere für hohe SO<sub>2</sub>-Abscheideleistungen das Vorhandensein von HCl, respektive CaCl<sub>2</sub>, eine große Rolle, da man zur Ausbildung der Hydrathülle sich die hygroskopischen Eigenschaften des Calciumchlorids zu Nutzen macht.

Des Weiteren wurde in [2] ermittelt, dass es eine Zwischenreaktion von bereits gebildeten Calciumchlorid mit Calciumhydroxid gemäß Gl. 2.12 und 2.13 gibt.



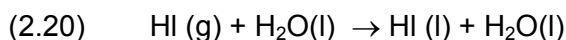
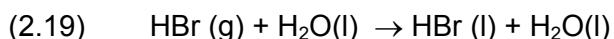
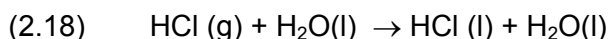
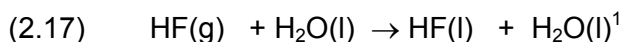
Bei der Trockensorption mit Kalkhydrat verbessert sich die Abscheidung von Schwefeldioxid bei gleichzeitiger Anwesenheit von Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid im Rauchgasstrom im Vergleich zu der separaten Abscheidung bei alleiniger Anwesenheit im Rauchgasstrom. Im Gegensatz dazu verschlechtert sich die Abscheidung von Chlorwasserstoff unter den gleichen Bedingungen.

Daraus kann man schließen, dass das Zwischenprodukt Calciumhydroxidchlorid aus der Reaktion von Kalkhydrat mit Chlorwasserstoff (siehe Gl.2.12) auch mit dem Schwefeldioxid reagiert. Die Reaktionsgeschwindigkeit bei dieser Reaktion muss demnach größer sein als bei der Reaktion des Kalkhydrates mit Schwefeldioxid (siehe Gl.2.8), was bei unveränderten Reaktionsbedingungen (Druck und Temperatur) nur mit einer höheren Reaktivität des Calciumhydroxidchlorides erklärt werden kann. Calciumhydroxidchlorid wird aber nicht nur bei der Reaktion von Chlorwasserstoff mit Kalkhydrat gebildet. Es entsteht auch im Reststoffprodukt aus dem Gewebefilter als Folge der Reaktion von überschüssigem Kalkhydrat mit Calciumchlorid.



## 2.2 nasse Verfahren

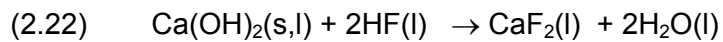
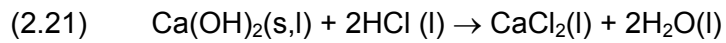
Die Halogenwasserstoffverbindungen HCl und HF (auch Bromwasserstoff HBr und Iodwasserstoff HI) lassen sich gut bis sehr gut in Wasser absorbieren, da bei den meist vorliegenden Abgaskonzentrationen ihr Gleichgewichtspartialdruck sehr niedrig ist und hierbei Säuren bilden. Diese bilden sich bei HCl, HBr und HI in Wasser sehr leicht und fast vollständig. Dagegen findet dieser Dissoziation genannte Vorgang bei HF in Wasser nur schwach statt, weswegen sich HF auch allein mit Wasser nicht so gut abscheiden lässt.



---

<sup>1</sup> (l) steht für liquid; (g) steht für gaseous; s steht für solid

Durch Zugabe von Kalkmilch reagiert ein Teil der absorbierten Säureionen mit dem Waschwasser zu Salzen. Gewöhnlich wird durch eine pH-Wertregelung Kalkmilch zudosiert, dass sich durch die verbleibenden Säuren ein pH-Wert von 0,8 bis 1,5 einstellt.



Die nassen Verfahren findet man häufig hinter Sondermüll- und Hausmüllverbrennungsanlagen. Die Rauchgasreinigungsanlage besteht dann in der Regel aus einem zweistufigen Wäscher wobei die zweite Stufe der SO<sub>2</sub>-Abscheidung dient.

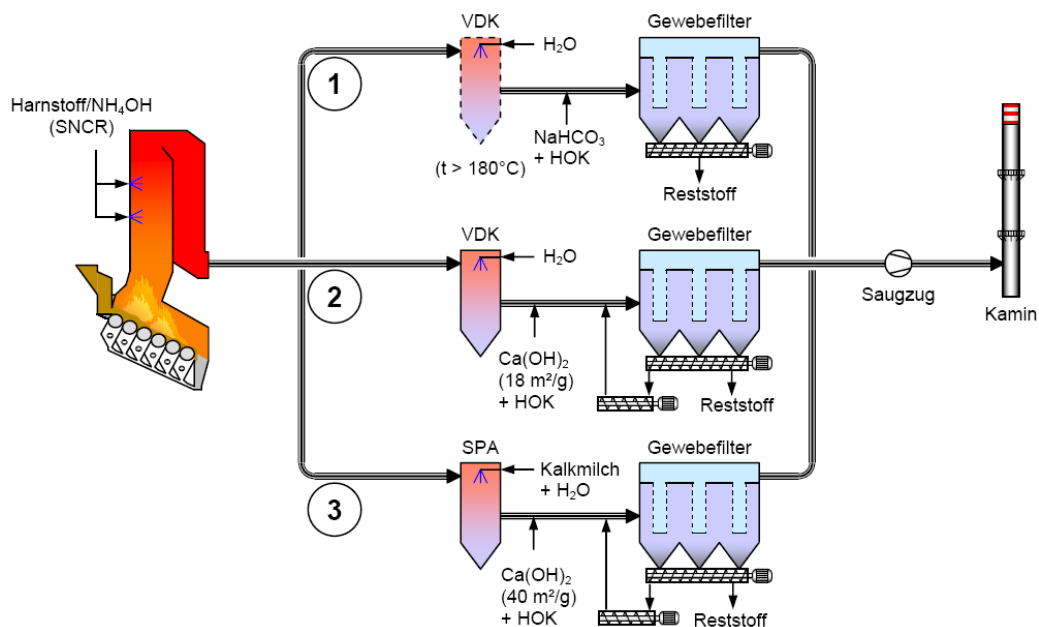


### 3 Vorstellung und Diskussion verschiedener Verfahrenskonzepte

Wie bereits in Kap. 2 beschrieben, haben alle Verfahren Vor- und Nachteile, die bei der Verfahrenswahl eine Berücksichtigung finden sollten.

Nasse Rauchgasreinigungsverfahren besitzen ein großes Abscheidopotential für die sauren Schadgasbestandteile bis hin zu den halogenierten Bromiden. Da die Anforderungen an die Rauchgasreinigung hinter Müll- EBS-Verbrennungsanlagen aber weitreichender sind, werden weitere Reinigungsstufen bzw. Komponenten benötigt. Das hat zur Folge, dass die nassen Systeme mehrstufig aufgebaut sind. Zu dem kommt hinzu, dass in Deutschland thermische Abfallbehandlungsanlagen abwasserfrei betrieben werden müssen, was bedeutet, dass die anfallenden Waschwässer aufbereitet bzw. eingedampft werden müssen.

Da diese mehrstufigen Systeme sehr energie- und kostenintensiv sind, haben sich in den vergangenen 10 Jahren trockene und konditionierte Trockensorptionsverfahren, meist als einstufige Systeme, durchgesetzt.



**Abb.1** trockene / konditionierte Trockensorptions Rauchgasreinigungsverfahren zur Einhaltung der 17. BImSchV (NO<sub>x</sub> = 200 mg/m<sup>3</sup>) und Rohgaskonzentrationen HCl ≤ 2500 mg/m<sup>3</sup> und SO<sub>2</sub> ≤ 2000 mg/m<sup>3</sup>

Das mit einstufigen konditionierten Trockensorptionsverfahren Rohgaskonzentrationen bis 2500 mg/m<sup>3</sup> HCl und 2000 mg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> die Emissionsgrenzwerte unter wirtschaftlichen Bedingungen eingehalten werden, zeigen folgende Beispiele.

EBS-Anlage Romonta

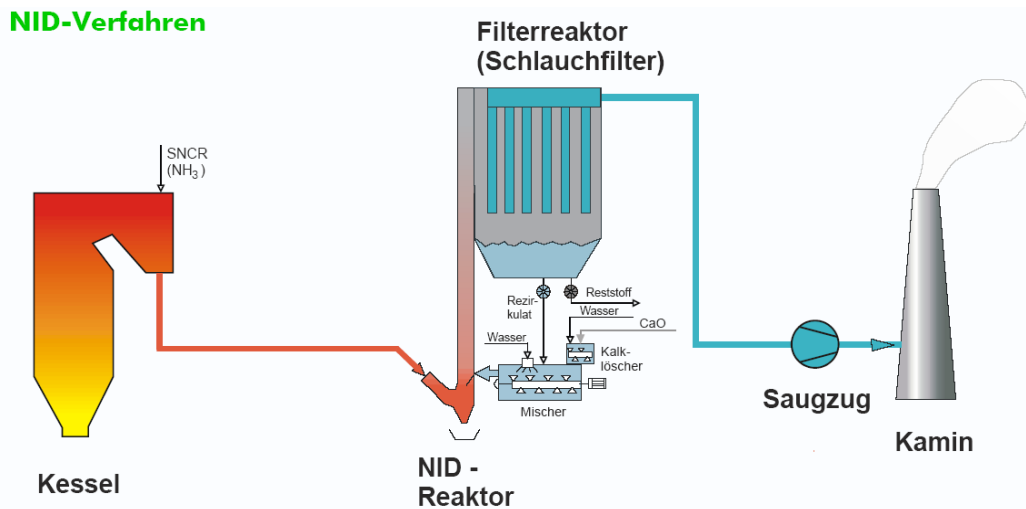


Abb.2 NID-Verfahren in der EBS-Anlage Romonta [Quelle: ALSTOM]

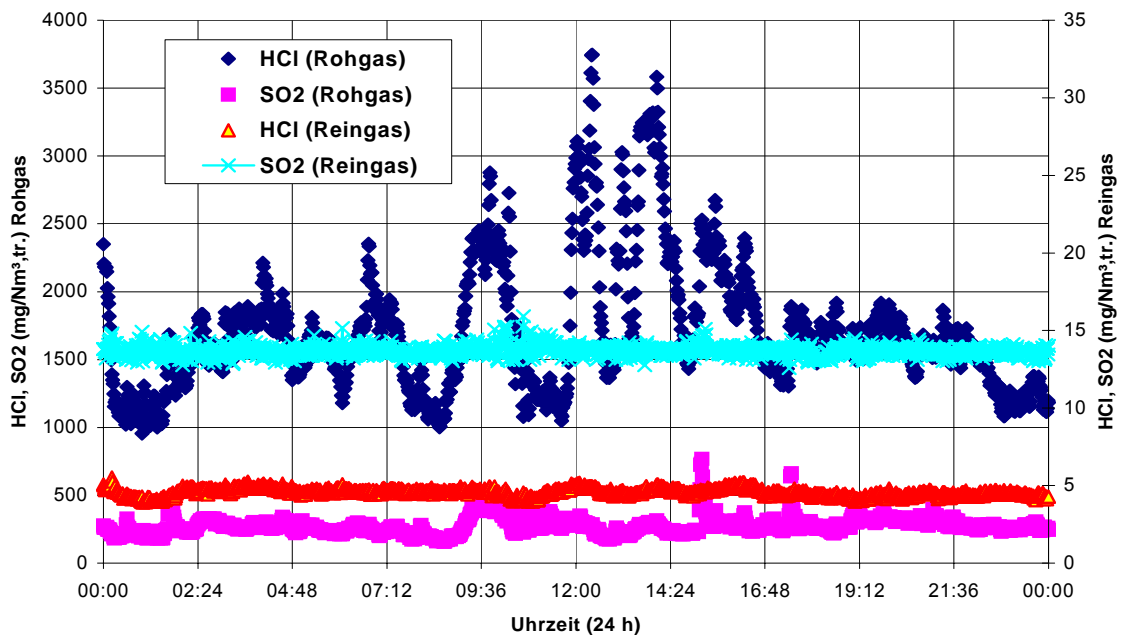


Abb.3 Roh- und Reingas (HCl, SO<sub>2</sub>) 24h-Aufzeichnung (Minutenmittelwerte) vom 20.04.07  
[Quelle: ALSTOM]

MHKW Ludwigshafen

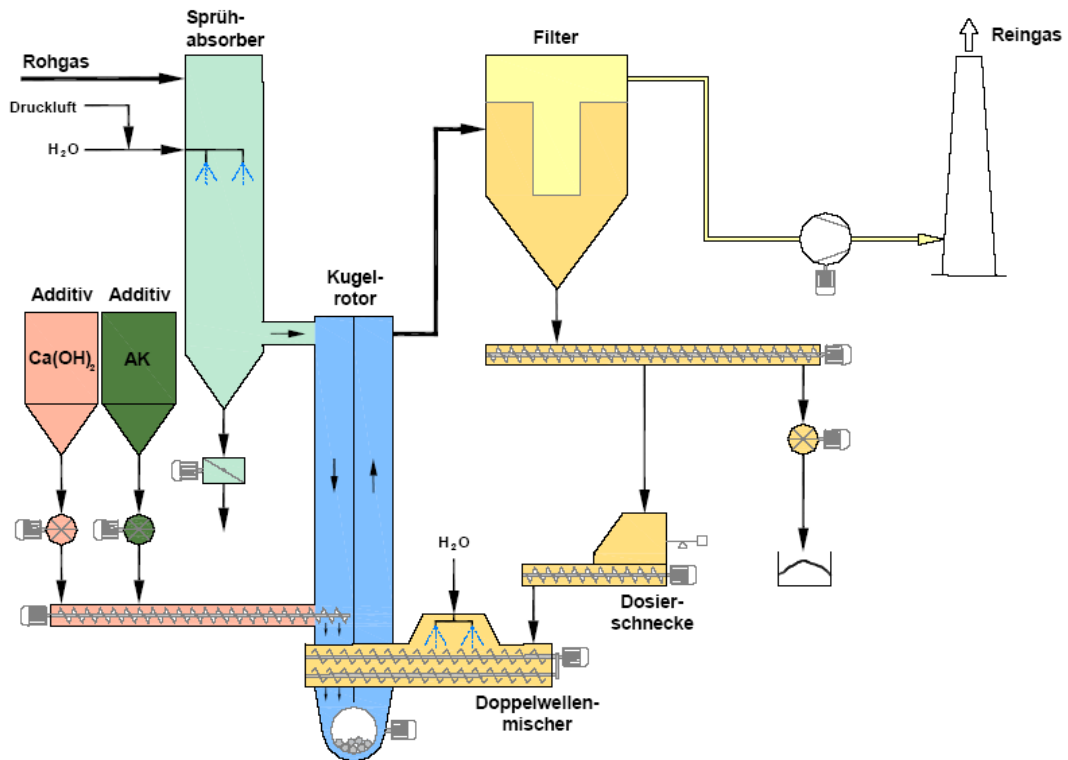


Abb.4 konditionierte Trockensorption im MHKW Ludwigshafen [4]

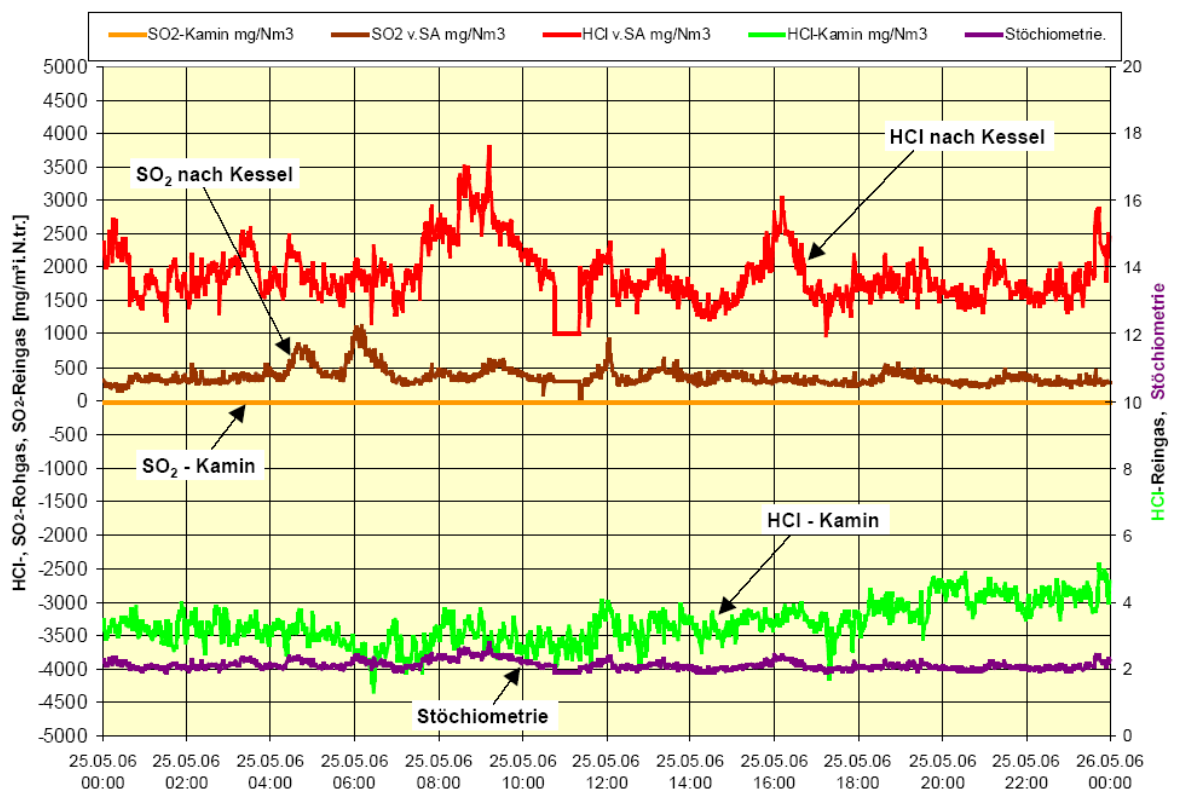
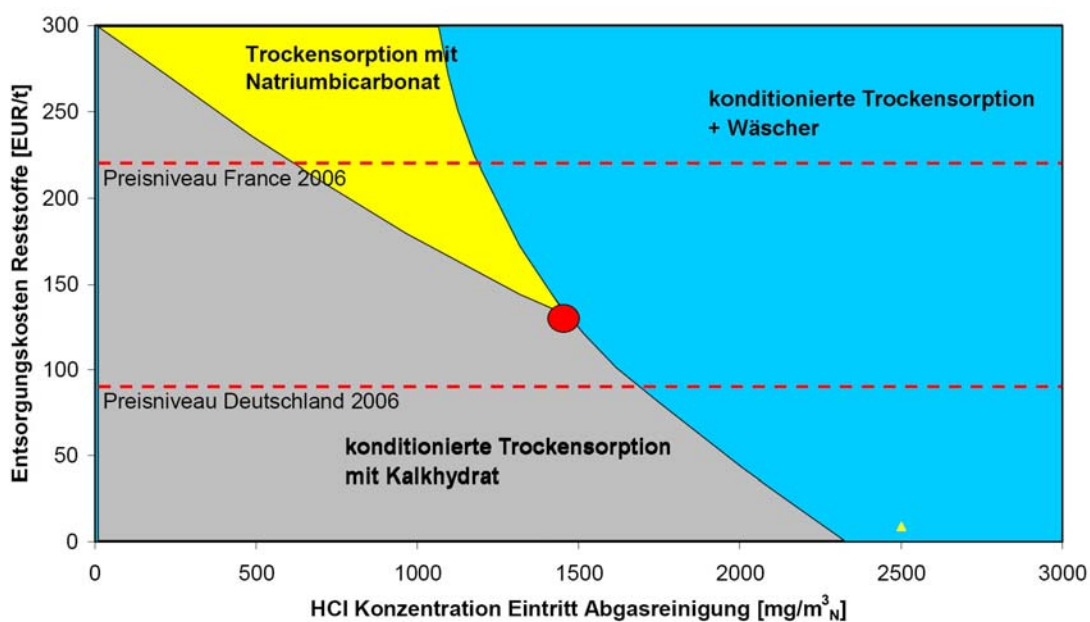


Abb.5 HCl/SO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Roh- und Reingas im Quenchbetrieb, MHKW Ludwigshafen

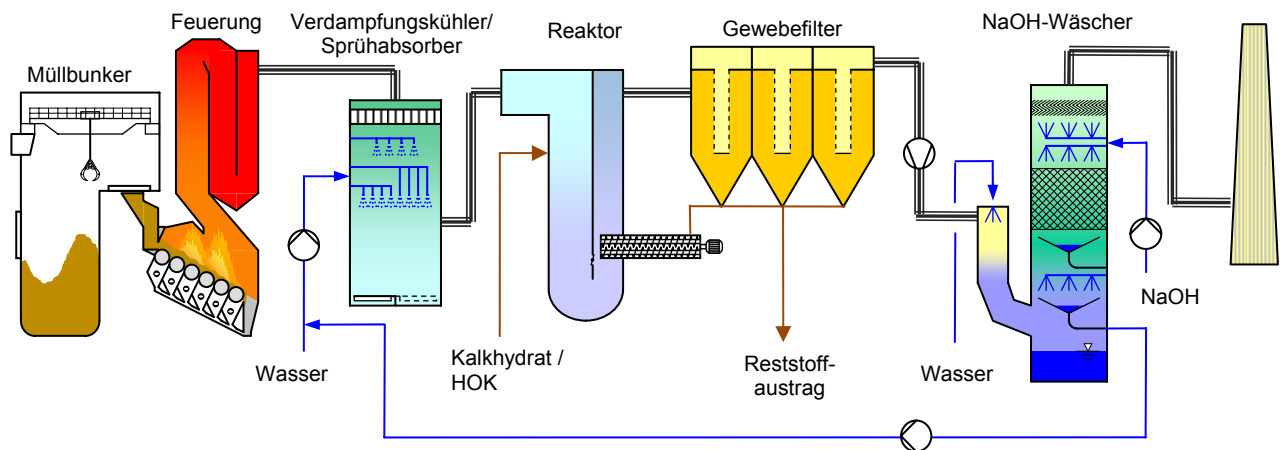
Selbst bei hohen HCl-Rohgaskonzentrationen stieg die HCl-Reingaskonzentration, wie in Abb.5 dargestellt, nicht über  $5 \text{ mg/m}^3$  i.N.tr. bei einer mittleren Stöchiometrie von  $SV=2$  an. Als Additiv wird ein Normalkalkhydrat mit einer spez. Oberfläche von  $18 \text{ m}^2/\text{g}$  eingesetzt.

Sollten sich die Input-Schadstoffkonzentrationen gegenüber den heute durchschnittlichen Konzentrationen  $1500 \text{ mg/m}^3$  HCl und  $600 \text{ mg/m}^3$   $\text{SO}_2$  hinter Müllverbrennungsanlagen deutlich erhöhen, werden die einstufigen Verfahren an ihre Leistungsgrenzen, sowohl technisch als auch wirtschaftlich, stoßen. In Abb. 6 wurde versucht, anhand der HCl Konzentration am Eintritt der Abgasreinigung und den dabei entstehenden Reststoffentsorgungskosten die Einsatzgrenzen von verschiedenen Verfahren, darzustellen.



**Abb.6** Einsatzgrenzen von verschiedenen Rauchgasreinigungsverfahren in Abhängigkeit der HCl-Eintrittskonzentration und den Reststoffentsorgungskosten (Quelle: vonRoll/Inova, verändert) [3]

Unter den betrachteten Randbedingungen, die in [3] beschrieben werden, ist mit zunehmender HCl-Konzentration am Eintritt von  $> 2500 \text{ mg/m}^3$  (als Dauerlast) die Kombination von einem trockenen und nassen Verfahren (Hybrid-System, Abb. 7) oder einem nassen Verfahren günstiger.

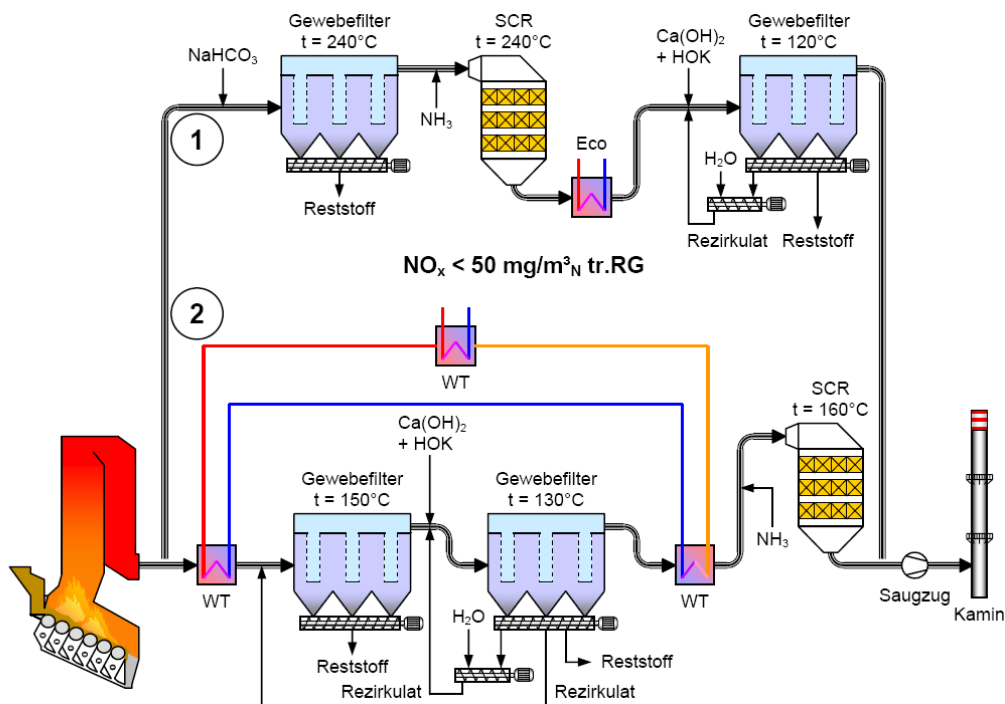


**Abb.7** zweistufiges Rauchgasreinigungsverfahren(Hybrid-System) konditionierte Trockensorption – NaOH-Wäscher

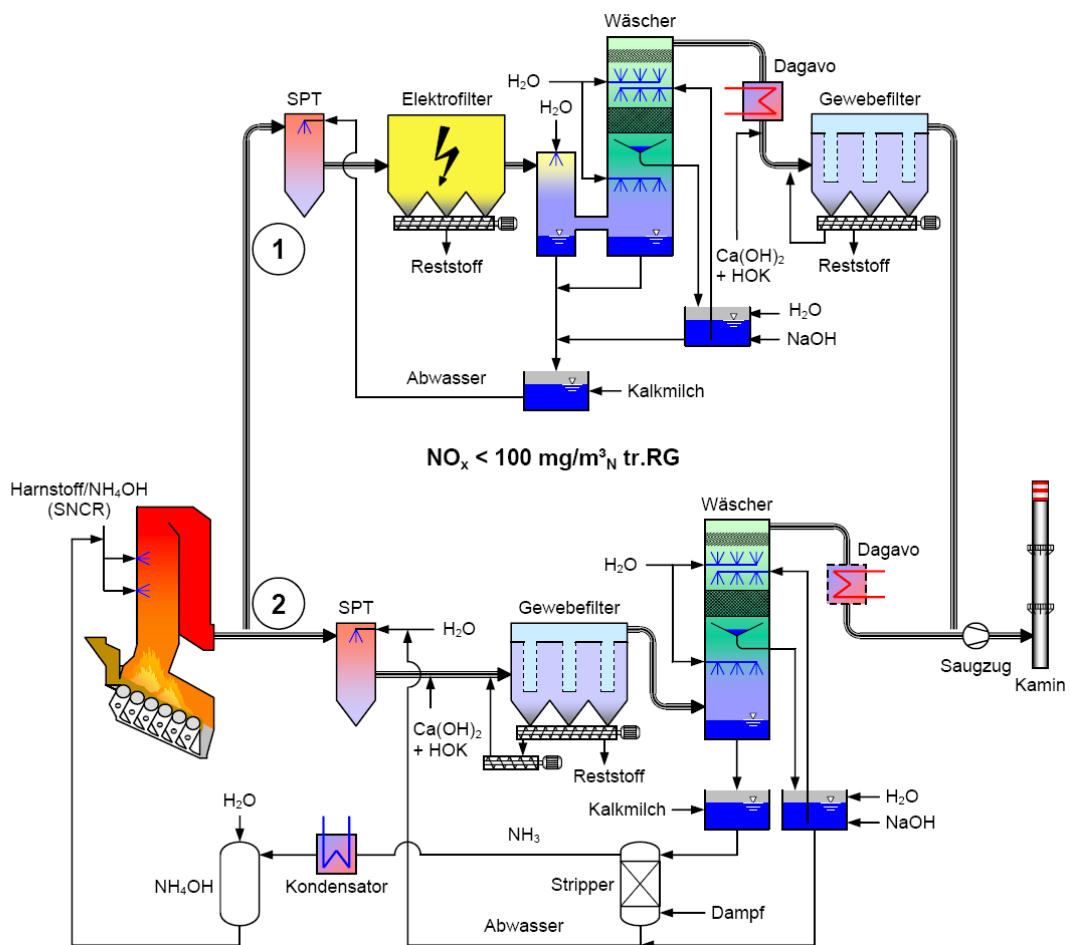
Die im Wäscher anfallenden Abwässer werden zur Rauchgaskonditionierung in dem nach Kessel installierten Verdampfungskühler verwendet (abwasserfrei).

Werden weitergehende Anforderungen an die zu erreichenden Emissionen gestellt, sind mehrstufige Systeme, wie in Abbildungen 8 und 9 dargestellt, notwendig.

Die Halbierung des HCl-Grenzwertes auf  $< 5 \text{ mg/m}^3$  bedeutet in jedem Fall ein mehrstufiges System im Gegensatz bei einer Halbierung der übrigen Grenzwerte, wo dies nicht zwingend notwendig ist.



**Abb.8** mehrstufige Rauchgasreinigungsverfahren zur Einhaltung der halben 17. BImSchV ( $\text{NO}_x < 50 \text{ mg/m}^3$ ) und Rohgaskonzentrationen  $\text{HCl} > 2500 \text{ mg/m}^3$  und  $\text{SO}_2 > 2000 \text{ mg/m}^3$



**Abb.9** mehrstufige Rauchgasreinigungsverfahren zur Einhaltung der halben 17. BImSchV ( $\text{NO}_x < 100 \text{ mg/m}^3$ ) und Rohgaskonzentrationen  $\text{HCl} \leq 2500 \text{ mg/m}^3$  und  $\text{SO}_2 \leq 2000 \text{ mg/m}^3$

Im Rahmen mehrerer Konzeptstudien wurden die in den Abbildungen 8 und 9 gezeigten Verfahren bewertet und gegenübergestellt. Unter den vorgegebenen Randbedingungen waren die Konzepte Abb.8, Variante 1 sowie Abb.9, Variante 2 die günstigsten. Besteht über die Anlageninfrastruktur die Möglichkeit die in Abb.8, Variante 1 ausgekoppelte Wärme durch den Eco nach Katalysator entsprechend zu nutzen, sind die Kostenvorteile eindeutig dieser Variante zuzuschreiben. Ist dies nicht der Fall und liegen zudem noch hohe Schadgasfrachten zugrunde, so besitzt das Verfahren Abb.9, Variante 2 die klaren Vorteile.

Aus diesem Grund kann man nicht generell auf ein Verfahren, welches am geeignetsten und günstigsten erscheint, zurückgreifen. Es muss von Fall zu Fall unter den vorherrschenden Randbedingungen immer wieder neu bewertet werden. Ein Standard – Rauchgasreinigungsverfahren gibt es nicht!

## 4 Optimierungspotentiale

Um die Abscheideleistung bestehender Abgasreinigungssysteme zu erhöhen, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Bei den kalkbasierenden Verfahren besteht das größte Optimierungspotential in der Erhöhung der relativen Rauchgasfeuchte.

Um die relative Rauchgasfeuchte zu erhöhen, gibt es mehrere Möglichkeiten:

- durch die Abkühlung des Rauchgases z.B. in einem Wärmetauscher
- durch die Eindüsung von flüssigem Wasser in den Rauchgasstrom und der damit verbundenen Verdampfungskühlung
- durch die Eindüsung von Wasserdampf

Grundsätzlich und ungeachtet der relativen Rauchgasfeuchte setzt eine optimierte Abscheidung eine gute Filteranströmung und der Aufbau eines ausreichenden „Filterkuchen“ sowie eine ausreichende Rezirkulation der Reaktionssalze voraus.

Welche Optimierungsmöglichkeit letztendlich die sinnvollste und günstigste ist, muss im Einzelfall bestimmt und bewertet werden.

### 4.1 Substitution der Sprühabsorption durch reine Verdampfungskühlung

Im MHKW Ludwigshafen wird seit März 2006 das benötigte Kalkhydrat nicht mehr in Form von Kalkmilch sondern trocken vor Gewebefilter eingedüst. Der Sprühabsorber wird nur mit Wasser zur Rauchgasabkühlung und –befeuchtung betrieben.

Diese Umstellung der Rauchgaskonditionierung bewirkte, dass der Calciumcarbonatanteil sich um ca. 1/5 verringerte und der freie Kalkanteil entsprechend gestiegen ist.

Eine qualitative Reaktivitätsbestimmung des Freikalkanteils im Reststoff bei unterschiedlichen Fahrweisen bestätigten die o.g. Zusammenhänge, dass die Oberfläche des über die Kalkmilch eingebrachten unreaktierten Kalkes wesentlich kleiner ist als die von frisch abgelöschtem Calciumhydroxid. Dies drückte sich folge dessen auch in einer besseren Stöchiometrie aus.

In einer generellen Gegenüberstellung der Sprühabsorption mit der konditionierten Trockensorption im Quenchbetrieb ergibt sich ein Betriebsmittelkostenunterschied von 240.000,- € pro Jahr zugunsten der Trockensorption, ohne Berücksichtigung der Wartungs- und Instandhaltungskosten.

Maßnahmen und Ergebnisse der Substitution der Sprühabsorption durch eine reine Verdampfungskühlung:

- Wegfall der aufwendigen Kalkmilchaufbereitung
- Absorber ist für eine reine Wasserverdampfung überdimensioniert
- zusätzliche Beheizung des unteren Absorberteils zur Vermeidung von Korrosion
- wirtschaftlicherer Betrieb bei verbesserten bis gleichen Abscheideleistungen

## 4.2 PTU-Verfahren

Zur Optimierung bestehender Anlagen, insbesondere in Prozessen, in denen die Rauchgasfeuchte zu niedrig ist, stellt das PTU-Verfahren (*partielle Taupunktunterschreitung*)[5] eine weitere und sinnvolle Möglichkeit dar. Das PTU-Verfahren ist dadurch charakterisiert, dass eine synchrone Eindüsung von Sattdampf und Reagenz in den Rauchgasstrom erfolgt und somit eine lokale Taupunktunterschreitung und Konditionierung in einem definierten Bereich (Mischzone) stattfindet.

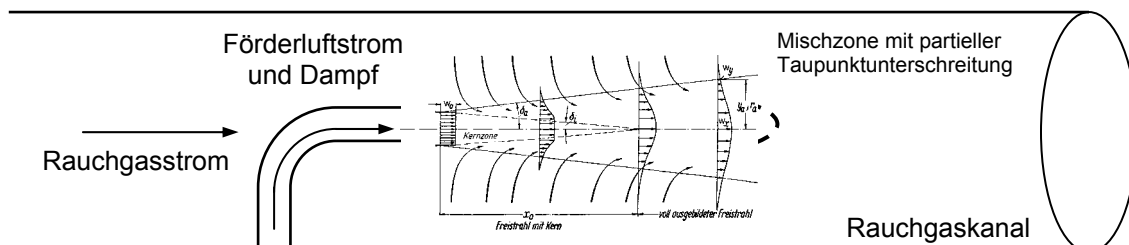


Abb.10 Das Verfahrensprinzip der partiellen Taupunktunterschreitung

Da in [6] ausführlich darüber berichtet wurde, wird auf weitere Einzelheiten an dieser Stelle verzichtet.

Das PTU-Verfahren wurde bereits erfolgreich in der Rauchgasreinigung hinter einer

- EBS-Anlage
- Hausmüllverbrennungsanlage
- Sondermüllverbrennungsanlage

eingesetzt.



### 4.3 Mehrstufige Additivzugabe

Grundsätzlich kann über eine mehrstufige Additivzugabe in einem vorhandenen System die Abscheideleistung erhöht werden. Dies kann z.B. eine zweistufige Kalkzugabe bei unterschiedlichen Temperaturen sein oder eine zusätzliche Dosierung von Natriumbicarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) zu einer bestehenden Kalkzugabe zur Beherrschung von Schadgasspitzen.

Ebenso besteht die Möglichkeit rohgasseitige Schadstoffspitzen, in der Anwendung des TAV-Verfahren durch Zugabe von Kalkstein in den Feuerraum, zu mindern. Untersuchungen an einer konditionierten Trockensorption in einem Müllheizkraftwerk haben gezeigt, dass durch eine geringe Inhibierung des Quenchwassers mit einem wasserlöslichen alkalischen Sorbens (z.B. Natronlauge)  $\text{HCl}/\text{SO}_2$ -Schadstoffspitzen effektiv gemindert werden konnten.

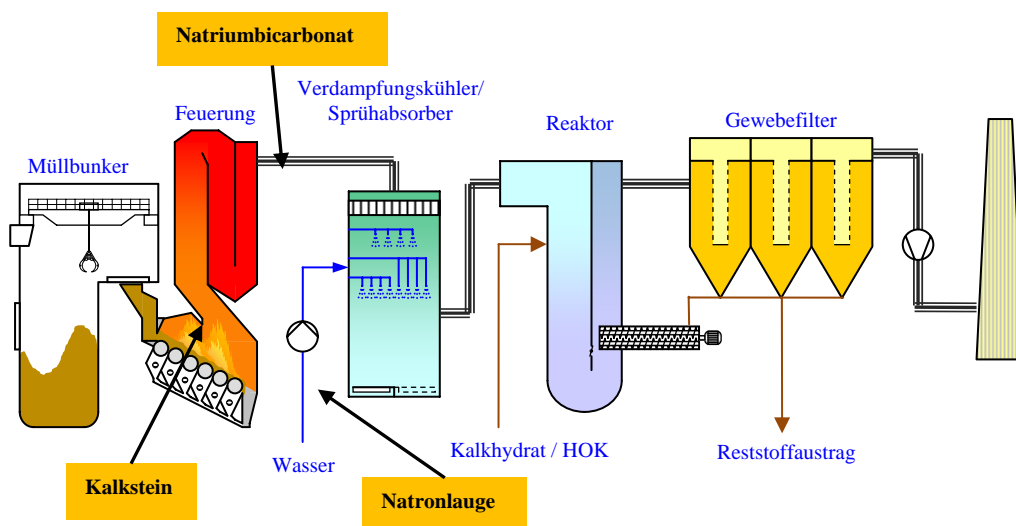


Abb.11 Möglichkeiten einer mehrstufigen Additivzugabe zur Reduzierung von Schadgasspitzen

## 5 Zusammenfassung

Über die Beschreibung der Grundlagen zur Abscheidung, insbesondere der sauren Schadgasbestandteile, wurde ein Verständnis der Zusammenhänge sowie der später aufgeführten Optimierungspotentiale geschaffen.

So ist für den Einsatz der konditionierten Trockensorption mit Kalk von größter Bedeutung, eine optimale Betriebstemperatur respektive relative Rauchgasfeuchte in Abhängigkeit der Rauchgaszusammensetzung sicherzustellen.

Anhand von verschiedenen Verfahrenskonzepten wurden die Leistungsfähigkeit sowie die Leistungsgrenzen verdeutlicht.

Werden weitergehende Anforderungen an die Reduzierung der Emissionen gestellt, bedeutet dies insbesondere für eine Halbierung des derzeitigen Grenzwerts von HCl auf  $< 5 \text{ mg/m}^3$  immer der Einsatz eines mehrstufigen Abgasreinigungssystems. Im Gegensatz hierzu ist eine Halbierung der übrigen Grenzwerte durchaus mit einem einstufigen Abgasreinigungsverfahren, bei bestimmten Rohgaskonzentrationen, machbar.

Für die Optimierung vorhandener Anlagen können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Sei es die Umstellung eines Sprühabsorptionsverfahrens auf eine reine Wasserkonditionierung und trockene Kalkzugabe oder eine zusätzliche gestufte Additivzugabe zur Reduzierung von Schadgasspitzen.

Des Weiteren bietet das beschriebene PTU-Verfahren eine einfache Möglichkeit bestehende Anlagen mit ungünstigen Prozessparametern (z.B. zu niedrige Rauchgasfeuchte) in ihrer Leistungsfähigkeit sowie Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

Welches Verfahren am geeignetsten und günstigsten ist, muss von Fall zu Fall unter den vorherrschenden Randbedingungen immer wieder neu bewertet werden. Ein Standard – Rauchgasreinigungsverfahren gibt es nicht!

## 6 Literatur

- [1] Karpf, Rudi: Vorlesungsskript Luftreinhaltung, FH Jena
  
- [2] K.M. Allal; D.-J. Dolignier; G. Martin: Reaction mechanism of calcium hydroxide with gaseous hydrogen chloride. Revue de L'Institut Français du Pétrole; Vol. 53, Nr.6, Nov.-Dec. 1998
  
- [3] Frey, Ruedi : Konzepte zur Abgasreinigung - Tiefe Emissionen trotz hohem Schadstoff – Input; 4. Potsdamer Fachtagung Optimierung in der thermischen Abfall- und Reststoffbe-handlung Perspektiven und Möglichkeiten, Potsdam, 22. - 23. Februar 2007
  
- [4] Margraf, Rüdiger: Heutige und zukünftige Konzepte für die Gasreinigung hinter Verbrennungsanlagen für Müll und EBS unter Verwendung von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  /  $\text{CaO}$  oder  $\text{NaHCO}_3$  als Additiv aus Sicht eines Anlagenbauers; 2. Tagung Trockene Abgasreinigung, HdT Essen, 16.-17.November 2006
  
- [5] Diplomarbeit Konditionierte Trockensorptionsverfahren, 12. Januar 2000, im Fach Abgasreinigung des Fachbereiches Energie- und Wärmetechnik an der Fachhochschule Gießen-Friedberg, Diplomand: Volker Dütge, Referent: Prof. Dr. Heinrich Mosch
  
- [6] Karpf, Rudi; Elfers, Matthias: Neues und innovatives Rauchgasreinigungs-  
verfahren; wlb Wasser, Luft, Boden - Zeitschrift für Umwelttechnik; Nr. 5, Mai 2006

### Anmerkung

Der vorliegende Beitrag basiert auf einem Vortrag, der bereits am 28. April 2008 beim VDI Seminar Technikforum "*Ersatzbrennstoffe für Industrieanlagen*" in Berlin sowohl am 17. Juni 2008 auf der VGB Konferenz „*Thermische Abfallverwertung 2008*“ in Stuttgart gehalten wurde.



Ingenieurgesellschaft für Energie- und Umweltengineering & Beratung mbH

Heinrich-Neeb-Straße 17

35423 Lich

☎ 06404-658164

☎ 06404-658165

✉ [info@ete-a.de](mailto:info@ete-a.de)

[www.ete-a.de](http://www.ete-a.de)