

# Modernisierung von Nasswäschern

Thomas Albrecht

1.	Wärmeauskopplung vor dem Nasswäscher .....	728
1.1.	Abgas-Wasser-Wärmetauscher vor der Quench.....	728
1.2.	Vor- und Nachteile der Wärmeauskopplung.....	729
2.	Wärmeauskopplung aus der Füllkörper-Stufe (Kondensationswärme) .....	730
2.1.	Wasser-Wasser-Wärmetauscher im Füllkörper-Kreislauf .....	731
2.2.	Auskopplung auf höherem Temperaturniveau durch Einsatz einer Wärmepumpe .....	731
2.3.	Rinnenverteiler .....	731
3.	Oxidationsluft in der neutralen Wäscherstufe .....	732
3.1.	Reaktionen für die SO <sub>2</sub> -Abscheidung .....	732
3.2.	Auswirkungen bei ungenügender Oxidation .....	733
3.3.	System zur Förderung der Oxidation (Oxiluft-System) .....	733
3.4.	Vorteile des Oxiluft-Systems.....	734
4.	Optimierung der Ringjet-Stufe (Venturi-Wäscher) .....	734
4.1.	Einsatz von neuen Ringjet-Düsen .....	735
4.2.	Ausführung der Ringjet-Pumpen mit Frequenzumformern .....	735
4.3.	Ringleitung in der Wasserzufuhr .....	736
5.	Neutralisierung der Füllkörper- und/oder der Ringjet-Stufe .....	737
6.	Diverse kleinere Änderungen an bestehenden Nasswäschern .....	737
7.	Nachrüstung einer Abgasbehandlung mit einem <i>Polizeiwäscher</i> .....	738
7.1.	Aufbau des Nasswäschers.....	738
7.2.	Betrieb ohne Abwasserbehandlung .....	739
8.	Zusammenfassung .....	739

Bei der Abgasbehandlung hinter Abfallbehandlungsanlagen kommen unterschiedliche Verfahren zur Anwendung. Während heute bevorzugt quasi-trockene oder trockene Verfahren mit Kalkhydrat oder Natriumhydrogencarbonat als Absorptionsmittel eingesetzt werden, wurden in den vergangenen Jahrzehnten auch öfters Nasswäscher für die Abgasbehandlung verwendet. Insbesondere in der Schweiz und in Skandinavien sind viele Anlagen mit einem Nasswäscher ausgerüstet. Aber auch in Deutschland sind mehrere Anlagen in Betrieb, welche einen Nasswäscher als Bestandteil der Abgasbehandlung aufweisen.

Mit der Veröffentlichung der BVT-Schlussfolgerungen (beste verfügbare Technik) für die Abfallbehandlung werden die Anforderungen an den Betrieb von neu genehmigten Abfallbehandlungsanlagen verschärft. Je nach Anforderungen kann deshalb der Einsatz eines Nasswäschers eine sinnvolle Variante darstellen, entweder als Bestandteil einer komplett nassen Abgasbehandlung oder als Ergänzung zu einem quasi-trockenen oder trockenen Verfahren. Andererseits müssen auch bestehende Anlagen nach Ablauf einer Übergangsfrist tiefere Schadstoffemissionen erreichen. Eine Ertüchtigung oder Modernisierung von bestehenden Nasswäschern kann deshalb sinnvoll sein, um weiterhin einen sicheren Betrieb mit Einhaltung der erhöhten Anforderungen zu gewährleisten.

Hitachi Zosen Inova AG hat in den letzten Jahren mehrere Nasswäscher im Rahmen von Umbauprojekten optimiert oder mit zusätzlichen Prozessschritten ausgerüstet. Die nachfolgenden Kapitel zeigen einige dieser Maßnahmen auf. Bevorzugterweise wurden dabei Nasswäscher modernisiert, welche für die ursprüngliche Ausführung der Abgasbehandlung ausgelegt und geliefert wurden (Eigenkonstruktionen). Umbaumaßnahmen bei Fremdsystemen sind zwar ebenfalls möglich, benötigen aber detaillierte Vorabklärungen.

## 1. Wärmeauskopplung vor dem Nasswäscher

Die Abgase weisen beim Eintritt in den Nasswäscher typischerweise eine Temperatur von mehr als 160 °C auf. In der ersten Stufe des Nasswäschers, dem sog. Quench, werden die Abgase dann bis zur Sättigungstemperatur (etwa 55 bis 60 °C) abgekühlt, d.h. die im Abgas enthaltene Energie bleibt größtenteils ungenutzt. Durch die Installation eines Wärmetauschers vor der Quench kann die im Abgas enthaltene Wärmemenge ausgekoppelt und einem sekundären Prozess zugeführt werden. Typische Anwendungen sind die Wärmeübertragung an ein Fernwärmesystem oder die Kondensat-Vorwärmung.

### 1.1. Abgas-Wasser-Wärmetauscher vor der Quench

Der Abgas-Wasser-Wärmetauscher wird als Rohrbündelwärmetauscher mit fluchtend angeordneten Rohren ausgeführt und meist direkt vor der Quench angeordnet. Dies erlaubt einerseits eine platzsparende Anordnung. Andererseits kann dadurch der Wärmetauscher auch mit einem nassen Reinigungssystem ausgerüstet werden, weil das Spülwasser direkt in den integrierten Vorlagebehälter (Sumpf) der Quench-Stufe fließen kann.

Aufgrund der vorherrschenden aggressiven Bedingungen im Rohgas muss der Wärmetauscher korrosionsgeschützt sein. Die Rohre werden aus C-Stahl gefertigt und für den Korrosionsschutz emailliert und mit einer Schutzfolie aus PFA überzogen. Zusätzlich ist das Gehäuse auf der Innenseite komplett mit einer Schutzfolie aus PFA ausgekleidet.



Bild 1:

Korrosionsgeschützter Abgas-Wasser-Wärmetauscher mit emaillierten Rohren aus C-Stahl, welche mit einer PFA-Schutzfolie überzogen sind; das Bild zeigt den Wärmetauscher von oben mit aktivem Reinigungssystem

## 1.2. Vor- und Nachteile der Wärmeauskopplung

Die Vorteile der beschriebenen Wärmeauskopplung sind, dass

- zusätzliche Energie generiert werden kann (z.B. Einspeisung der Energie in ein Fernwärmenetz) oder dass der Bedarf von eingesetzten Wärmeträgern reduziert werden kann (z.B. reduzierter Dampf-Verbrauch in Dampf-Wärmetauschern für die Vorwärmung von Sekundärmedien),
- der Verbrauch von enthärtetem Wasser für die Nachspeisung des Wäschers reduziert werden kann (Reduzierung der Betriebskosten),
- die Sättigungstemperatur sinkt und im Wäscher etwas tiefere Temperatur-Niveaus erreicht werden (Absenkung um etwa 5 °C), wodurch sich die chemischen Gleichgewichte verschieben und tendenziell eine bessere Absorption von Schadstoffen (z.B. HCl und SO<sub>2</sub>) erreicht wird und
- dass der Feuchte-Gehalt im Abgas reduziert wird, wodurch die Kondensationstendenz der Abgasfahne beim Austritt aus dem Kamin abgeschwächt wird.

Durch die Wärmeauskopplung vor der Quench resultieren aber auch negative Auswirkungen für die Abgasbehandlung. Insbesondere muss berücksichtigt werden, dass

- die Abgasmenge zwar reduziert wird (um etwa 5 %), der Saugzug-Ventilator in der Regel aber trotzdem bei einer leicht erhöhten Leistung betrieben werden muss (erhöhte Betriebskosten) aufgrund des zusätzlichen Druckverlustes des Wärmetauschers,

- eine allfällig nachfolgende Füllkörper-Stufe bei einem leicht tieferen Temperatur-Niveau betrieben wird (aufgrund der Reduzierung der Sättigungstemperatur und der damit verbundenen Absenkung der Temperaturen im Wäscher und in den Kreisläufen), wodurch weniger Energie zur Verfügung steht für eine allfällige Wärmeauskopplung aus der Füllkörper-Stufe und
- der Wärmetauscher normalerweise mit einer Nassabreinigung installiert wird, um eine Verschmutzung der Wärmetauscher-Rohre zu verhindern. Dadurch wird einerseits zusätzliches Betriebswasser für die Abreinigung benötigt (Erhöhung der Betriebskosten) und andererseits können weitere Anpassungen in der Füllstands-Regelung des Quench-Sumpfes notwendig sein (Verhindern eines Überlaufens des Sumpfes während dem Reinigungsvorgang).

Bei der Planung einer möglichen Nachrüstung der beschriebenen Wärmeauskopplung müssen die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. In der Regel erfolgt dies im Rahmen einer Vorstudie, in welcher das optimale Konzept festgelegt und eine detaillierte Investitionsrechnung als Entscheidungsgrundlage erstellt wird.

## 2. Wärmeauskopplung aus der Füllkörper-Stufe (Kondensationswärme)

In einer Füllkörper-Stufe strömt das Abgas von oben nach unten durch eine Füllkörperschicht. Diese besteht aus einer losen Schüttung von Hochleistungsfüllkörpern, welche auf einem Gitterrost aufliegt. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche der Füllkörper werden die Abgase intensiv gewaschen und eine sehr gute Absorption von Schadstoffen erreicht.

Durch zusätzliche Kühlung der Abgase in der Füllkörper-Stufe fällt Kondensat an. In der Füllkörperschicht wird die dabei frei gewordene Kondensationswärme auf das Kreislaufwasser übertragen und kann mit Hilfe eines Wärmetauschers auf ein Sekundärmedium übertragen werden. Die aus dem Kreislauf entnommene Wärme kann schließlich für externe Verbraucher eingesetzt werden.

Durch den geringen Eingriff in das bestehende Wäschersystem lässt sich eine Wärmeauskopplung aus der Füllkörperstufe bei bestehenden Anlagen relativ leicht nachrüsten. Die Schwierigkeit liegt meist darin, passende Verbraucher für die verfügbare Wärme zu finden. Typische Abnehmer sind

- das Fernwärme-System (direkte Auskopplung, Vorwärmung des Rücklaufs, Auskopplung via Wärmepumpe usw.),
- das Kondensat-System zur Vorwärmung des Kondensats vor der Rückführung in den Speisewasser-Behälter oder
- Gewächshäuser in unmittelbarer Nähe der Anlage.

Aufgrund der Nutzung der Kondensationswärme steht selbst bei kleinen Abgasvolumenströmen ein verhältnismäßig großes Potential zur Wärmeauskopplung zur Verfügung. Bei einem Abgasvolumenstrom von 100.000 Nm<sup>3</sup>/h können beispielsweise etwa 5 MW übertragen werden bei einer Abkühlung der Abgase von 60 auf 40 °C.

## 2.1. Wasser-Wasser-Wärmetauscher im Füllkörper-Kreislauf

Für die Wärmeauskopplung wird im bestehenden Füllkörper-Kreislauf ein zusätzlicher Wärmetauscher eingebaut, welcher direkt vom Kreislaufwasser durchströmt wird. Der Wärmetauscher wird meist als Platten-Wärmetauscher ausgeführt und überträgt Wärme an einen sekundären Kreislauf oder direkt an den entsprechenden Verbraucher.

Das abgekühlte Wäscherwasser wird nach dem Durchströmen des Wärmetauschers wieder in die Füllkörper-Stufe eingedüst, wo es wiederum die freiwerdende Kondensationswärme aufnehmen kann.

Die Materialwahl des Wärmetauschers erfolgt nach den Eigenschaften des Kreislaufwassers. Zur Vermeidung von Korrosionsschäden werden die Platten bevorzugt aus Edelstahl oder aus Titan gefertigt.

## 2.2. Auskopplung auf höherem Temperaturniveau durch Einsatz einer Wärmepumpe

Das Temperaturniveau im Kreislauf der Füllkörper-Stufe liegt nur bei etwa 60 °C. Oftmals fehlt es an Abnehmern, welche Energie auf diesem tiefen Temperaturniveau benötigen. Um dennoch die Kondensationswärme in der Füllkörperstufe zu nutzen, kann in solchen Fällen eine Wärmepumpe eingesetzt werden, um das Temperaturniveau entsprechend zu erhöhen. Aufgrund der hohen Investitionskosten einer Wärmepumpe muss diese Variante aber vorgängig im Detail untersucht und die Wirtschaftlichkeit mit einer entsprechenden Investitionsrechnung nachgewiesen werden.

## 2.3. Rinnenverteiler

An der bestehenden Füllkörper-Stufe im Nasswäscher sind grundsätzlich keine Änderungen notwendig für eine Wärmeauskopplung. Falls die Füllkörper jedoch durch Düsen mit Wasser beaufschlagt werden, ist der Einbau eines Rinnenverteilers sinnvoll. Dieser verteilt das Wasser aufgrund seiner spezifischen Form noch vor den Füllkörpern über den gesamten Wäscher-Durchmesser. Dadurch wird eine optimale Wasserverteilung in der darunter liegenden Füllkörper-Schicht erreicht und der Wärmeaustausch verbessert.

Durch den Einbau des Rinnenverteilers kann zudem die Fördermenge der Füllkörper-Pumpen bei gleichbleibender Pumpenleistung erhöht werden. Der Grund liegt darin, dass die eingesetzten Füllkörperdüsen üblicherweise einen Vordruck von etwa 1,5 bar benötigen. Bei einem Rinnenverteiler liegt dieser Druck wesentlich tiefer, weil das Wasser prinzipiell nur bis zum Verteiler gefördert werden muss. Der Einbau des Rinnenverteilers reduziert somit den Druckverlust im gesamten Kreislauf, wodurch sich die höhere Förderleistung der Pumpen ergibt.

Als weiterer positiver Nebeneffekt steht durch die bessere Wasserverteilung auch mehr Austauschfläche für die Abscheidereaktionen zur Verfügung und die Emissionswerte können teilweise noch leicht verbessert werden.

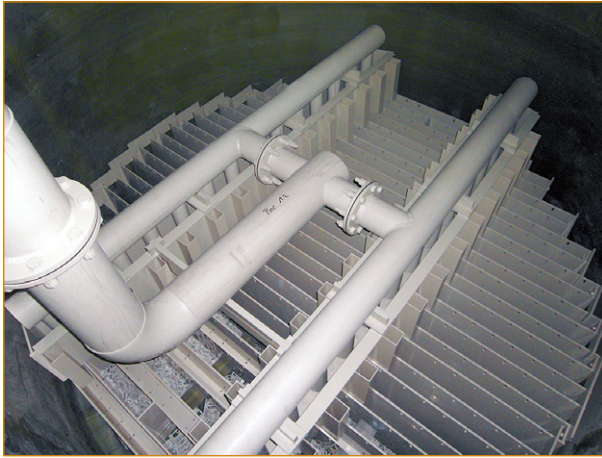


Bild 2:

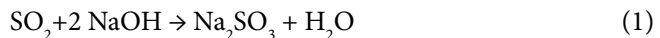
Rinnenverteiler oberhalb einer Füllkörper-Schicht zur gleichmäßigen Beaufschlagung der Füllkörper mit Wasser

### 3. Oxidationsluft in der neutralen Wäscherstufe

Die Abscheidung von Schwefeldioxid findet im Nasswäscher hauptsächlich in der neutralisierten Wäscherstufe statt, wobei meist Natronlauge als Neutralisationsmittel zugegeben wird. Neben dem Neutralisationsmittel muss genügend Sauerstoff zur Verfügung stehen, um eine effiziente Abscheidung zu erreichen.

#### 3.1. Reaktionen für die SO<sub>2</sub>-Abscheidung

Die Abscheidung (Chemisorption) von Schwefeldioxid verläuft in 2 Schritten. In einem ersten Schritt findet die Absorption von Schwefeldioxid statt. Das im Abgas enthaltene Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) reagiert mit der Natronlauge (NaOH) entweder zu Natriumsulfit (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) gemäß Reaktion (1) oder zu Natriumhydrogensulfit (NaHSO<sub>3</sub>) nach Reaktion (2):



Diese beiden Reaktionen sind abhängig vom pH-Wert der Waschflüssigkeit, d.h. dass

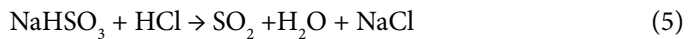
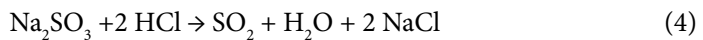
- die beiden Reaktionen besser verlaufen, je alkalischer die Flüssigkeit ist,
- der pH-Wert maßgebend ist, ob eher Reaktion (1) oder (2) abläuft,
- unterhalb eines pH-Wertes von etwa 4,5 die Reaktionsgeschwindigkeit üblicherweise ungenügend und eine ausreichende Abscheidung von SO<sub>2</sub> ist nicht mehr möglich ist und
- im sauren Bereich unter pH 4 das gebildete Sulfit instabil ist und wieder in SO<sub>2</sub> und Wasser zerfällt.

In einem zweiten Schritt findet dann die Oxidation des gebildeten Sulfit statt. Diese Reaktion (3) ist notwendig, damit der abgeschiedene Schwefel in der Abschlammung in der gewünschten Form, d.h. als Sulfat, vorliegt:

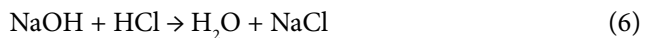


### 3.2. Auswirkungen bei ungenügender Oxidation

Allgemein ist die Oxidationsreaktion (3) weniger schnell als die Absorptionsreaktionen (1) und (2). Dies führt dazu, dass immer eine mehr oder weniger hohe Restkonzentrationen an Sulfit in der Waschflüssigkeit der neutralen Stufe zu finden ist. Oft wird das Wasser aus dieser neutralen Stufe dann periodisch in die darunterliegende, saure Waschstufe abgeschlämmt. Bei der Abschlammung der Waschflüssigkeit von der neutralen Stufe in die saure Waschstufe findet eine Sulfitersetzung mit dem noch nicht oxidierten Sulfit statt:



Das entstehende  $\text{SO}_2$  gelangt wieder in die neutralisierte Stufe und reagiert nochmals mit Natronlauge, d.h. die Nettoreaktion aus den Reaktionen (1) und (4), bzw. aus (2) und (5) ergibt eine Neutralisation von HCl mit NaOH und somit letztendlich einen höheren Natronlauge-Verbrauch:



Zudem resultiert im Moment der Abschlammung des sulfithaltigen Wassers in die saure Wäscherstufe ein vorerst *interner*  $\text{SO}_2$ -Peak vor der neutralisierten Wäscherstufe. Dieser kann einen kurzzeitigen Einbruch des pH-Wertes in der neutralisierten Stufe bewirken und auf die Reingasseite durchschlagen (Emissions-Peak).

### 3.3. System zur Förderung der Oxidation (Oxiluft-System)

Um die in Reaktion (3) beschriebene Oxidation zu fördern und somit das Auftreten der beschriebenen  $\text{SO}_2$ -Spitzen zu verhindern sowie den Natronlauge-Verbrauch zu reduzieren, kann Luft in den Sumpf der neutralen Wäscherstufe eingedüst werden. Die Luft muss möglichst gleichmäßig verteilt und die Größe der entstehenden Luftblasen so gewählt werden, dass eine hohe Sauerstoffausnutzung möglich ist. Um diesen Kriterien gerecht zu werden, wird ein System mit Belüftermembranen eingesetzt. Dieses besteht aus einer Ringleitung, welche mit mehreren Düsen ausgerüstet ist, um die Fläche im Sumpf möglichst gut abzudecken. Die Anordnung der Düsen wird jeweils spezifisch für den Wäscher festgelegt und vor allem vom Durchmesser des Wäschers und der Anordnung der Kaminrohre beeinflusst. Aufgrund der einfachen Ausführung des Systems lässt sich dieses problemlos in bestehende Wäscher einbauen.

Die Düsen bestehen aus einem Stützrohr, welches von einer Belüftermembran überzogen ist. Die Membran ist für den Einsatz in hochkonzentrierten und aggressiven Medien geeignet und zeichnet sich durch eine geringe Neigung zur Belagsbildung aus.

Neben der Ringleitung und den Belüftermembranen werden für die Umsetzung der Eindüsung ein neues Gebläse sowie die verbindenden Rohrleitungen und Armaturen benötigt.

### 3.4. Vorteile des Oxiluft-Systems

Betriebserfahrungen zeigen, dass die Nachrüstung eines Oxiluft-Systems empfehlenswert ist für Nasswäscher, bei welchen das Wäscherwasser aus der neutralen Stufe in die saure Waschstufe abgeschlämmt wird, weil

- bei hohen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen im Abgas vor dem Wäscher ( $c_{\text{Rohgas}} > 300 \text{ mg/Nm}^3$ ) die Höhe der  $\text{SO}_2$ -Spitzen im Reingas, die beim Abschlammern in die nächsttiefere Stufe auftreten können, deutlich reduziert werden und
- bei regelmäßigem und anhaltendem Auftreten von hohen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen im Abgas vor dem Wäscher ( $c_{\text{Rohgas}} > 300 \text{ mg/Nm}^3$ ) eine Reduzierung des Natronlaugen-Verbrauchs von bis zu 20 Prozent erreicht werden kann.

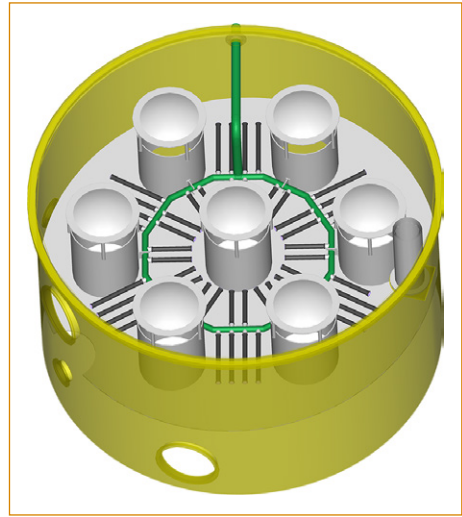


Bild 3: Mögliche Anordnung von Oxiluft-Düsen im Sumpf einer neutralen Wäscherstufe mit sieben Kaminrohren

## 4. Optimierung der Ringjet-Stufe (Venturi-Wäscher)

Für die Abscheidung von Feinstäuben, Schwermetallen und Aerosolen kann im Nasswäscher eine Ringjet-Stufe eingesetzt werden. Diese besteht aus einer Vielzahl von Düsen, welche den Abgasstrom in kleinere Teilströme zu je etwa  $2.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  aufteilen. Durch die Eindüsung von Washwasser werden die Abgase beim Durchströmen der Ringjets intensiv gewaschen. Dabei werden nach dem Venturiprinzip beschleunigte Aerosole und Partikel von den Wassertropfen des Kreislaufwassers absorbiert und im Inneren der Ringjets in die flüssige Phase überführt. Restanteile an  $\text{HCl}$  und  $\text{HF}$ , sowie feinste Stäube werden hierbei abgeschieden. Wird die Ringjet-Stufe neutral betrieben, kann auch  $\text{SO}_2$  abgeschieden werden.

Damit sich bei den Ringjet-Düsen ein für die Abscheidung ausreichender Wasserfilm bildet, müssen die Düsen mit einer minimalen Menge an Wasser durchströmt werden. Die Wassermenge wird dabei so geregelt, dass sich über die Ringjet-Stufe ein vorgegebener Druckverlust einstellt. Viele der bestehenden Nasswäscher werden mit einem Druckverlust von 25 bis 35 mbar betrieben. Diese Einstellwerte resultieren in einer sehr effizienten Abscheideleistung, führen jedoch auch zu einem entsprechend hohen Energiebedarf des Saugzventilators.



Um den Leistungsbedarf einer Ringjet-Stufe zu reduzieren, sind verschiedene Maßnahmen möglich. Diese kommen einerseits bei neu konstruierten Nasswäschern zum Einsatz, können aber auch bei bestehenden Nasswäschern umgesetzt werden.

#### 4.1. Einsatz von neuen Ringjet-Düsen



Bild 4: Neue Ringjet-Düse für den Einsatz in der Ringjet-Stufe (Venturi-Wäscher)

Während die Ausführung der Ringjet-Düsen über Jahrzehnte hinweg unverändert blieb, ist mittlerweile eine leicht modifizierte Ausführung verfügbar. Die modifizierte Düse unterscheidet sich zwar nur geringfügig von der ursprünglichen Ausführung, erlaubt aber einen Betrieb mit leicht reduziertem Druckverlust bei gleichbleibender Abscheideleistung. Erste Betriebserfahrungen zeigen, dass die neuen Ringjet-Düsen einen Betrieb der Ringjet-Stufe mit einem Druckverlust von 20 mbar bei ausreichend hoher Abscheideleistung erlauben.

Im Vergleich zu den ursprünglichen Ringjet-Düsen zeichnen sich die neuen Düsen durch ihre etwas höhere Bauform aus. Der Durchmesser der neuen Düsen blieb identisch, damit im Waschturm bestehende Düsen auch ohne Umbaumaßnahmen mit den neuen Düsen ersetzt werden können.

#### 4.2. Ausführung der Ringjet-Pumpen mit Frequenzumformern

In einer Ringjet-Stufe wird das Wasser in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Es wird über eine von zwei redundant ausgeführten Pumpen zu den Ringjet-Düsen gepumpt, nach den Ringjet-Düsen wieder gesammelt und schließlich in den Vorlagebehälter geführt, welcher meist im Waschturm integriert ist (Wäscher-Sumpf). Periodisch wird Wasser aus der Ringjet-Stufe abgeschlämmt und mit Frischwasser ersetzt, um ein Aufkonzentrieren von Partikeln und Schadstoffen zu vermeiden.

Bei den Ringjet-Kreisläufen von vielen bestehenden Wäschern werden die Pumpen mit konstanter Drehzahl betrieben und die Wassermenge in den Düsen wird über eine Regelklappe so eingestellt, dass ein vorgegebener Druckverlust erreicht wird. Große Wassermengen werden bei den Ringjet-Düsen aber nur im Teillast-Betrieb benötigt und im Normalbetrieb wird der Druckverlust bereits bei deutlich tieferem

Durchfluss erreicht. Um diese reduzierte Wassermenge im nominalen Betriebspunkt zu erreichen, wird ein hoher Druckverlust über die Regelklappe benötigt und der Energiebedarf der Ringjet-Stufe ist somit übermäßig hoch.

Um die Betriebskosten zu senken, kann die Regelung des Volumenstroms optimiert werden. Anstatt mit einer Regelklappe kann der Volumenstrom über die Drehzahl der Pumpen geregelt werden, indem die Motoren mit einer Frequenzumformer-Steuerung ausgerüstet werden. Durch die anschließende Demontage der Regelklappe nimmt der Differenzdruck im Ringjet-Kreislauf ab und die notwendige Förderhöhe verringert sich entsprechend. Durch Reduzierung der Pumpen-Drehzahl wird schließlich die Kennlinie nach unten verschoben, bis der jeweilige Betriebspunkt erreicht ist.

Für diesen Frequenzumformer-Betrieb kann die Änderung der relevanten Parameter (Volumenstrom  $Q$ , Förderhöhe  $H$  und Leistung  $P$ ) in Abhängigkeit der Drehzahl ( $n$ ) mit den folgenden Affinitätsgesetzen abgeschätzt werden:

$$Q_2 = (n_2/n_1) \times Q_1 \quad (7)$$

$$H_2 = (n_2/n_1)^2 \times H_1 \quad (8)$$

$$P_2 = (n_2/n_1)^3 \times P_1 \quad (9)$$

Der Förderstrom  $Q$  hängt demnach linear, die Förderhöhe  $H$  quadratisch und der Leistungsbedarf  $P$  kubisch von der Drehzahl  $n$  ab. Dadurch ist eine besonders energiesparende Regelung durch Drehzahlvariation möglich.

Eine Änderung des Regelkonzeptes von der Regelklappe zu einer Drehzahlregelung ist möglich unter Beibehaltung der bestehenden Pumpen des Ringjet-Kreislaufs. Je nach Ausführung müssen jedoch die Antriebsmotoren und auch das Versorgungskabel ersetzt werden, damit Frequenzumformer in die Antriebskette integriert werden können.

### 4.3. Ringleitung in der Wasserzufuhr

Sämtliche Ringjet-Düsen müssen mit einer minimalen Menge an Wasser beaufschlagt werden, um eine ausreichende Abscheidung zu gewährleisten. Ist die Wasserverteilung zu den Düsen nicht optimal, werden bestimmte Düsen mit einer übermäßig hohen Menge an Wasser versorgt, damit auch bei den schlecht angeströmten Düsen die minimale Wassermenge erreicht wird. Dadurch erhöht sich der minimal mögliche Differenzdruck über die gesamte Ringjet-Stufe.

Bei bestehenden Nasswäschern erfolgt die Versorgung der Ringjet-Düsen typischerweise über zwei Verteilerrohre. Dadurch werden die Düsen, welche am Anfang und am Ende der Verteilerrohre angeschlossen sind, mit weniger Wasser versorgt als die übrigen Düsen. Um eine optimalere Verteilung zu erreichen, sollten die Düsen bevorzugt mit einer Ringleitung gespiesen werden. Dadurch werden sie gleichmäßiger mit Wasser versorgt und die minimal erlaubte Wassermenge der Ringjet-Stufe kann reduziert werden. Dadurch verringert sich insbesondere im Überlastbereich der Differenzdruck über die Ringjet-Stufe.

## 5. Neutralisierung der Füllkörper- und/oder der Ringjet-Stufe

Eine Vielzahl von Nasswäschern ist sowohl mit einer Füllkörper- als auch mit einer nachfolgenden Ringjet-Stufe (Venturi-Stufe) ausgerüstet. Für die Abscheidung von Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) muss zumindest eine dieser beiden Stufen neutralisiert werden, wobei üblicherweise Natronlauge eingesetzt wird. Bei Rohgaswerten bis etwa  $300 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_2$  kann eine genügend gute Abscheidung in der neutralisierten Ringjet-Stufe erreicht werden, d.h. Reingaswerte unterhalb von  $15 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_2$  sind realistisch. Bei höheren Frachten ist aber die Neutralisation in der Füllkörperstufe besser geeignet, weil sie eine gesteigerte Abscheidung von  $\text{SO}_2$  erlaubt. Jedoch ergibt sich daraus auch ein Mehrverbrauch an Natronlauge aufgrund der Restabscheidung von Salzsäure (HCl).

Um die  $\text{SO}_2$ -Emissionswerte und gleichzeitig den Natronlauge-Verbrauch zu optimieren, kann eine erweiterte Schaltung bzgl. der Neutralisierung eingesetzt werden. Der Nasswäscher wird dabei so ausgerüstet, dass beide Stufen mit einem eigenen Regelkreis und einer eigenen Dosierstrecke ausgestattet sind, d.h. es kann in beiden Stufen Natronlauge zugegeben werden. Beide Stufen sind dann auch entsprechend mit einer pH-Messung ausgerüstet, damit über die Zugabe von Natronlauge sowohl in der Füllkörper- als auch in der Ringjet-Stufe ein definierter pH-Sollwert eingestellt werden kann.

Diese Erweiterung ist besonders bei Anlagen sinnvoll, welche hohe  $\text{SO}_2$ -Frachten vor dem Wäscher verzeichnen. Im Normalfall erfolgt die Neutralisierung dann in der Ringjet-Stufe, um den Verbrauch an Natronlauge zu minimieren. Die Füllkörper-Stufe soll währenddessen sauer betrieben werden, d.h. ohne Zugabe von Natronlauge. Wenn der  $\text{SO}_2$ -Gehalt vor dem Wäscher aber während einer definierten Zeit einen bestimmten Grenzwert überschreitet (Signal einer Rohgas-Messung für  $\text{SO}_2$ ), soll auch die Füllkörper-Stufe mit Natronlauge neutralisiert werden. So können die definierten Emissionsgrenzwerte auch bei hohen Rohgasfrachten sicher eingehalten werden.

Üblicherweise ist die Ringjet-Stufe in Abgasrichtung nach der Füllkörper-Stufe angeordnet. Vor der Füllkörper-Stufe befindet sich meist eine sauer betriebene Stufe (z.B. ein Quench). Um eine Neutralisierung der Füllkörper-Stufe zu ermöglichen, erfordert diese Konfiguration, dass die Füllkörper-Stufe und die vorgeschaltete sauer betriebene Stufe durch einen Tropfenfänger voneinander getrennt sind. Fehlt die Rückhaltung der Tropfen, gelangt ein großer Anteil an Salzsäure in die Füllkörper-Stufe und wird durch die Natronlauge (NaOH) neutralisiert. Daraus resultiert ein beachtlicher Mehrverbrauch des Betriebsmittels NaOH.

## 6. Diverse kleinere Änderungen an bestehenden Nasswäschern

Auch kleinere Teilsysteme können optimiert werden, um einen stabileren oder effizienteren Betrieb des bestehenden Nasswäschers zu ermöglichen. Erfahrungen aus durchgeführten Umbau-Projekten zeigen, dass solche Punkte üblicherweise mittels einer Studie/Bestandsaufnahme identifiziert und in Abstimmung mit dem Betreiber mit relativ geringem Aufwand realisiert werden können.

Dies beinhaltet beispielsweise

- die Optimierung der Systeme zur Spülung der Tropfenabscheider (z.B. nur manuelle Aktivierung der obersten Tropfenabscheider am Austritt des Nasswäschers),
- eine neue Regelung für die Abschlammung in die Abwasserbehandlung,
- eine zuverlässigere Regelung des pH-Wertes in einer neutralisierten Wäscherstufe,
- eine druckstoßfreie Umschaltung von redundanten Wäscher-Pumpen oder
- die Realisierung einer automatischen Pumpen-Umschaltung von redundanten Pumpen, welche bislang nur mit manuellen Eingriffen möglich war.

## 7. Nachrüstung einer Abgasbehandlung mit einem *Polizeiwäscher*

Mit der Veröffentlichung der BVT-Schlussfolgerungen für die Abfallbehandlung werden nicht nur die Anforderungen an den Betrieb von neu genehmigten Abfallbehandlungsanlagen verschärft, sondern nach Ablauf einer Übergangsfrist auch höhere Anforderungen an den Betrieb von bestehenden Anlagen gestellt. Die Nachrüstung eines einfachen Wäschersystems zu einem quasi-trockenen oder trockenen Verfahren kann deshalb eine sinnvolle Maßnahme sein, um die sicherere Einhaltung von tieferen Emissionsgrenzwerten zu gewährleisten. Das zusätzliche Nasswäscher-System dient dabei bewusst nicht zur Hauptabscheidung der Schadstoffe, sondern soll nur eine Restabscheidung und das Eliminieren von Spitzenwerten übernehmen. Die Funktion des Wäschers wird deshalb oftmals als *Polizeiwäscher* bezeichnet.

### 7.1. Aufbau des Nasswäschers

Der nachgeschaltete Nasswäscher kann als zweistufige Gleichstrom-Absorptionskolonne charakterisiert werden mit

- einer Quench als Waschstufe 1 und
- einer sauren Füllkörper-Schicht als Waschstufe 2.

Der Quench ist direkt oberhalb der Füllkörper-Stufe angeordnet. Die Abgase treten von oben in den Waschturm ein, werden in der Quench-Stufe mit Wasser gesättigt und durchströmen schließlich die Füllkörper-Schicht, wo eine Restabscheidung der Schadstoffe erfolgt.

Die beiden Waschstufen, d.h. die Quench- und saure Füllkörper-Stufe, werden von einem gemeinsamen Kreislauf mit Wasser versorgt. Die beiden Waschstufen werden dabei unabhängig vom jeweiligen Lastfall mit einer gleichmäßigen Waschwassermenge bedüst. Die Umwälzung erfolgt über eine von zwei redundant ausgeführten Kreislaufpumpen. Das Waschwasser von beiden Stufen sammelt sich schließlich im Boden des Wäschers, d.h. im gemeinsamen Sumpf. Von dort aus wird das Kreislaufwasser abgezogen und mit einer Pumpe wieder zu den Quench-Düsen, sowie zur Bedüstung der Füllkörper-Schicht befördert.

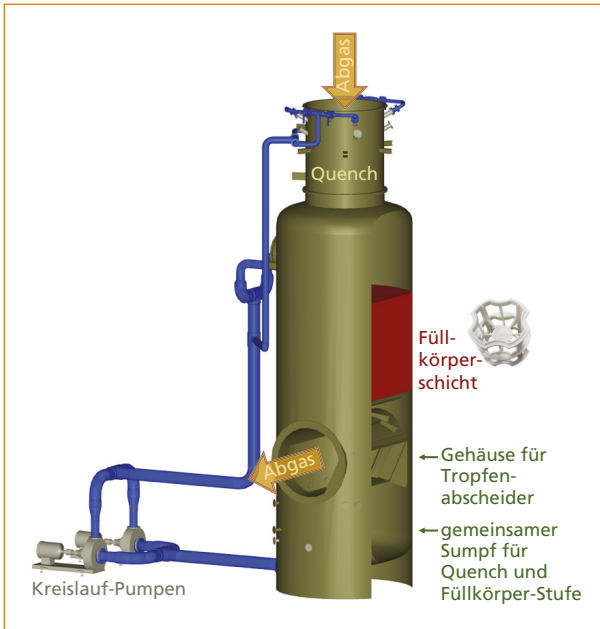


Bild 5:

Schematische Darstellung einer zweistufigen Gleichstrom-Absorptionskolonne mit einer Quench- und einer Füllkörperstufe, welche als *Polizeiwäscher* einer quasi-trockenen oder trockenen Abgasbehandlung nachgeschaltet werden kann

## 7.2. Betrieb ohne Abwasserbehandlung

Um eine zu hohe Schadstoffkonzentration im Sumpf zu vermeiden, erfolgt periodisch eine Ausschleusung von Waschwasser aus dem Kreislauf. Da im Nasswäscher nur eine Restabscheidung von Schadstoffen erfolgt, ist die Abwassermenge relativ gering. Die Nachrüstung einer kompletten Abwasserbehandlungsanlage (ABA) ist daher nicht notwendig, sondern das Abwasser wird bevorzugt einem anderen Prozess der Anlage wieder zugeführt.

Bei einer quasi-trockenen Abgasbehandlung kann das Abwasser beispielsweise wieder in den Reaktor eingedüst werden. Die Menge an Prozesswasser, welche dem Reaktor zugeführt wird, reduziert sich dann im entsprechenden Maß.

Bei einer trockenen Abgasbehandlung besteht die Möglichkeit, das Abwasser in der Feuerung zu verdampfen. Dazu kann das Abwasser im ersten Kesselzug direkt in den Feuerraum eingedüst werden. Die Eindüstung erfolgt dabei bevorzugt über Wasserdüsen, welche innerhalb von Sekundärluftdüsen angeordnet sind. Das Wasser erreicht so eine optimale Verteilung im Feuerraum.

## 8. Zusammenfassung

Obschon die Installation von Nasswäschern für die Abgasbehandlung in neu entwickelten Abfallbehandlungsanlagen in den letzten Jahren rückläufig war, ist bei einer Vielzahl von bestehenden Anlagen noch ein Nasswäscher im Einsatz.

Durch verschiedene Maßnahmen kann der Betrieb und/oder die Abscheideleistung dieser Nasswäscher optimiert werden. Wie im vorliegenden Bericht aufgezeigt, sind mögliche Optimierungsmaßnahmen

- die Nachrüstung eines Abgas-Wasser-Wärmetauschers zur Wärmeauskopplung vor der Quench,
- eine Wärmeauskopplung aus der Füllkörper-Stufe durch Nutzung der Kondensationswärme,
- eine Zugabe von Oxidationsluft in der neutralen Stufe zur Reduzierung von  $\text{SO}_2$ -Spitzen und für einen reduzierten Verbrauch an Natronlauge,
- der Einsatz von neuen Ringjet-Düsen zur Reduzierung des Druckverlustes über die Ringjet-Stufe,
- eine Ausführung der Ringjet-Pumpen mit Frequenzumformern (Drehzahlregelung) zur Optimierung des Stromverbrauchs oder
- die gleichzeitige Neutralisierung der Füllkörper- und der Ringjet-Stufe zur Optimierung des Natronlauge-Verbrauchs und zur Minderung von Spitzen bei den  $\text{SO}_2$ -Emissionswerten.

Neben der Optimierung von bestehenden Nasswäschern kann auch die Ergänzung einer quasi-trockenen oder trockenen Abgasbehandlung mit einem einfach aufgebauten zweistufigen Gleichstromwäscher sinnvoll sein für die sichere Einhaltung von tiefen Emissionsgrenzwerten.

## Ansprechpartner



**Thomas Albrecht**  
Hitachi Zosen Inova AG  
Senior Engineer  
Flue Gas Treatment (FGT)  
Hardturmstrasse 127  
8005 Zürich, Schweiz  
+41 44 277 13 34  
Thomas.Albrecht@hz-inova.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Alexander Gosten (Hrsg.):

**Energie aus Abfall, Band 17**

ISBN 978-3-944310-50-3 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2020

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Claudia Naumann-Deppe,  
Sarah Pietsch, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel, Roland Richter,  
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien 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 Funk-sendung, 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.