

Quenchen heißer Gase in der Rauchgasreinigung und Nebelbildung

Lehrerinformation

1. Hintergrund

Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Öl) entstehen Rauchgase, die u.a. den Schadstoff Schwefeldioxid enthalten. Schwefeldioxid wird in der Regel in Nasswäschern abgeschieden und zu verkäuflichem Gips umgesetzt. In einem Nasswäscher wird ein Gas mit einer zirkulierenden Waschflüssigkeit in intensiven Kontakt gebracht, wobei die Schadstoffe in die flüssige Phase übergehen und dort gegebenenfalls mit geeigneten Reaktionspartnern chemisch reagieren. Man bezeichnet den Übergang eines Stoffes von einer Gasphase in eine Flüssigkeit als Absorption. Ein Nasswäscher ist somit ein Absorber.

In Kraftwerken werden die Rauchgase nach ihrer energetischen Nutzung im Kraftwerksprozess mit einer Temperatur zwischen 150°C und 200°C in den Wäscher geleitet.

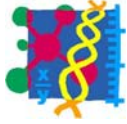
Eine direkte Kühlung des heißen Gasstroms oder der zirkulierenden Waschflüssigkeit ist dabei nicht erforderlich, da simultan zu den Absorptionsvorgängen der Schadstoffe ein Teil des Wassers aus der Waschflüssigkeit verdunstet. Der **Phasenübergang** des Wassers bewirkt somit eine Kühlung des Absorbers.

Ähnliches gilt für Anlagen zur Gasreinigung, die Abfall- oder Sonderabfallverbrennungsanlagen nachgeschaltet sind. Insbesondere bei den letztgenannten Sonderabfallverbrennungsanlagen verzichtet man sehr oft auf eine energetische Nutzung der heißen Rauchgase und leitet diese mit Temperaturen um 1000°C in einen Wäscher, um u.a. den für eine Dioxinbildung kritischen Temperaturbereich möglichst schnell zu durchfahren. Durch nahezu spontan aus der Waschflüssigkeit verdunstendes Wasser wird die Temperatur des heißen Gases sehr schnell abgesenkt. Eine direkte Kühlung des Gas-Flüssigkeits-Kontaktapparates ist auch in diesem Extremfall nicht erforderlich.

Man bezeichnet in der Technik die schnelle Abkühlung heißer Gase durch Verdunstungskühlung als Quenchen und den dafür erforderlichen Gas-Flüssigkeits-Kontaktapparat als Quenche.

2. Demonstrationsanlage am ITTK

Am ITTK ist eine Rauchgasreinigungsanlage im Technikumsmaßstab aufgebaut. Sie dient zur Untersuchung von Phänomenen der Aerosolbildung (Nebelbildung), insbesondere in Quenchen. Bei der Aerosolbildung handelt es sich um einen sog. **spontanen Phasenübergang**, der in Gasreinigungsanlagen unerwünscht ist, weil dabei sehr feine Tröpfchen (Durchmesser 0.5 - 2 Mikrometer) entstehen, die oft Schadstoffe (HCl, HBr, HNO₃, H₂SO₄) in hohen Konzentrationen enthalten können und sehr schwer aus den Gasströmen abzuscheiden sind. Voraussetzung für einen spontanen Phasenübergang ist eine Übersättigung der Gasphase, die sich beispielsweise bei Kühl- bzw. Kondensationsvorgängen unter hohen Temperaturdifferenzen einstellen kann. In Gasreinigungsprozessen baut sich dann diese meist geringe Übersättigung unmittelbar nach ihrer Entstehung dadurch ab, dass auf kleinsten Partikeln (Nanopartikel), die stets in einem Rauchgas vorhanden sind, Wasserdampf zusammen mit eventuell



vorhandenen sauren Schadstoffen auskondensiert und somit eine fein disperse flüssige Phase, also Nebel bildet. Die kleinen Partikel wirken somit als Kondensationskeime und sind vergleichbar mit den Kristallisationskeimen in dem Versuch mit dem Wärmekissen. Im Gegensatz zur Gasreinigung, wo Nebelbildung problematisch sein kann, nutzt man in der Nanotechnik spontane Phasenübergänge aus, um gezielt Nanopartikel zu erzeugen (siehe Lehrmodul „Titandioxid-Nanopartikel“). Hierzu werden aber in sehr schnellen Abkühlprozessen extrem hohe Übersättigungen erzeugt. Unter diesen Bedingungen sind dann keine Fremdpartikel als Kondensationskeime mehr erforderlich.

Abb.1 zeigt ein Schema der Versuchsanlage.

In einem Gasbrenner wird ein 200°C heißes Rauchgas erzeugt (Volumenstrom: ca. 250 m³/h), mit Schadstoffen sowie gegebenenfalls Feinstpartikel (Kondensationskeime) beladen und anschließend in die Quenche geleitet. Dort und in der nachgeschalteten Stufe findet die Schadstoffabscheidung und unter bestimmten Prozessbedingungen auch eine Nebelbildung statt.

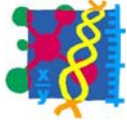
In der Anlage werden Füllkörperkolonnen als Gas-Flüssigkeits-Kontaktapparate verwendet. Die Waschflüssigkeit wird mit Hilfe von Pumpen zirkuliert und mittels Düsen auf die Füllkörper verteilt, wo sich eine entsprechend große Kontaktfläche zwischen Gas und Flüssigkeit herausbildet. Ein spezieller Nebelabscheider gewährleistet als letzte Prozessstufe, dass keine nennenswerten Emissionen in die Umwelt gelangen.

Da in der Anlage stark korrosive Gase behandelt werden, ist diese im Bereich der produktberührten Teile in Kunststoff (PP) bzw. Glas ausgeführt. Der Quenchkopf bildet allerdings eine Ausnahme. Dort wird ein säure- und hitzebeständiger Werkstoff (Hastelloy C) verwendet. Wie in entsprechenden industriellen Anlagen ist die Quenche durch regelungstechnische Maßnahmen gegen Überhitzung mehrfach abgesichert.

Fällt beispielsweise die Umwälzpumpe und damit die Kühlung aus, wird sofort der Brenner ausgeschaltet und der Quenchkopf mit Notwasser versorgt. Andernfalls würden die Apparate aus Kunststoff beschädigt werden, da diese im Dauerbetrieb maximal eine Temperatur von 60°C aushalten können.

Mit einem laseroptischen Partikelmessgerät kann man die Größe und die Konzentration der entstandenen Nebeltröpfchen bestimmen. Dieses beruht auf dem physikalischen Prinzip der Abschwächung von monochromatischem Licht durch ein Kollektiv von Partikeln. Die Abschwächung (Extinktion) wird mit einer speziellen Software über die Mie-Theorie ausgewertet und ermöglicht dann die Bestimmung der charakteristischen Aerosolparameter.

Das Gerät kann Tropfen bzw. Partikeln im Durchmesserbereich 0.2 bis 3 Mikrometer erfassen.



Quenchen heißer Gase in der Rauchgasreinigung und Nebelbildung

Lehrerinformation

3. Demonstrationsversuch

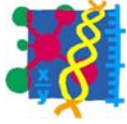
Im Rahmen der Lehrerfortbildung führt das Betriebspersonal des Instituts (ITTK) einen Demonstrationsversuch zum Thema **Quenchen** und **Nebelbildung** (Wassernebel) durch.

Die Anlage wird zunächst vor Ort erklärt und es wird erläutert, wo welche Messwerte abgelesen werden können.

Danach sollen folgende Beobachtungen durchgeführt und interpretiert werden:

a) Quenchen

1. Beobachten Sie die Temperaturen des Gases vor und nach der Quenche sowie die der zirkulierenden Waschflüssigkeit in der Quenche.
2. Interpretieren Sie die Beobachtungen insbesondere im Hinblick auf die Flüssigkeitstemperatur und erklären Sie die während des Quenchens ablaufenden Vorgänge qualitativ.
3. Warum bezeichnet man die Flüssigkeitstemperatur als adiabate Beharrungstemperatur?
4. Schätzen Sie die Menge des Wassers ab, das pro h in der Quenche verdunstet (verdampft).
(Spez. Wärmekapazität des Gases: 1 kJ/(kg K), Gasdichte: 1 kg/m³, Verdampfungsenthalpie des Wassers: 2256 kJ/kg).
5. Wie groß wäre die Wassermenge, die pro h in einer Rauchgasentschwefelungsanlage verdunstet, wenn man ungefähr gleiche Rohgastemperaturen wie in der Versuchsanlage annimmt und der Rauchgasvolumenstrom ca. 1.6 Mio. m³/h beträgt (Kraftwerksblock 550 MW_{el} der EnBW in Karlsruhe)?



b) Spontaner Phasenübergang und Nebelbildung

Dem Rauchgas werden nun Fremdkeime (Partikel) zugegeben, indem ein Feststoffbrenner (Grillkohle) zugeschaltet wird.

1. Beobachten Sie am Messgerät Nebel? Erklären Sie die Beobachtung.

Die der Quenche nachgeschaltete Füllkörperkolonne wird danach durch einen im Waschflüssigkeitskreislauf befindlichen Plattenwärmeübertrager gekühlt. Durch diesen strömt Kühlwasser von ca. 8°C.

2. Beobachten Sie die Gastemperatur nach der Füllkörperkolonne.
3. Ist im Messgerät Nebel erkennbar?
4. Wie groß sind die Tropfengrößen und die erzeugte Konzentration?
5. Wie ändern sich die Nebelcharakteristika bei stärkerer Kühlung.
6. Interpretieren Sie die Beobachtungen und zeigen Sie Parallelen zu dem Versuch mit dem Wärmekissen auf.

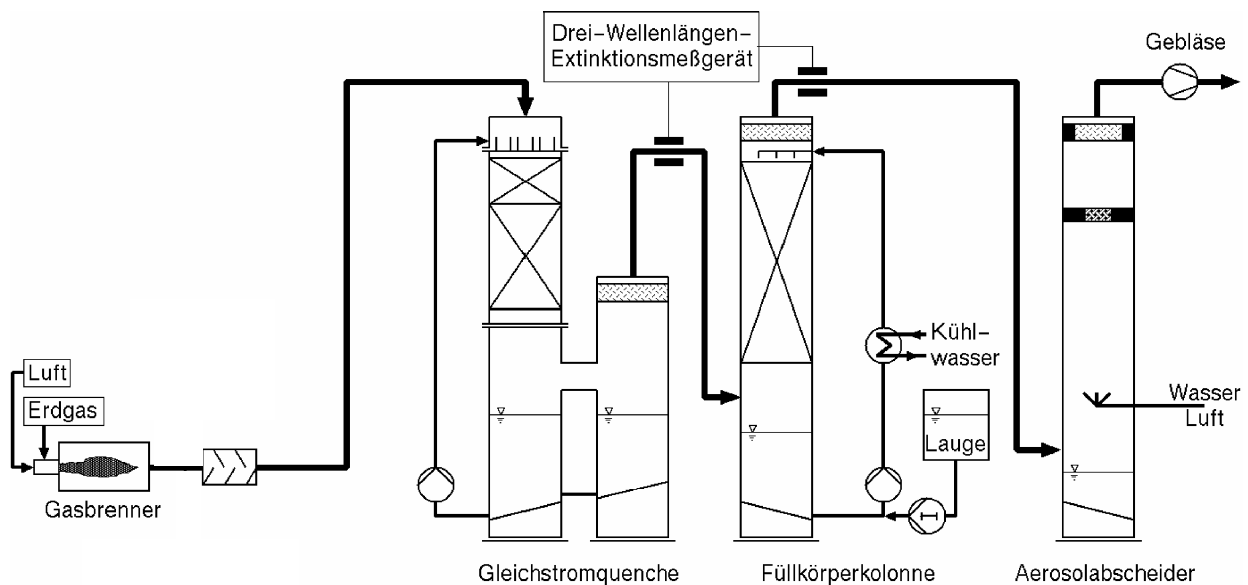


Abb. 1 Rauchgasreinigungsanlage