

Sicherheitstechnische Aspekte bei der Anwendung von kohlenstoffhaltigen Sorbentien zur Flugstromadsorption

Safety aspects in the use of carbonaceous sorbents for entrained-phase adsorption

Jürgen Wirlinging

Die Aktivkohletechnik, die als Schüttstofffilter mit körnigen Sorbentien oder als Flugstromverfahren mit pulverförmigen Sorbentien ausgeführt wird, zählt wegen der erreichbaren hohen Abscheidegrade zu den am weitesten verbreiteten Verfahren in der Abgasreinigung. Die in den letzten Jahren zunehmend zum Einsatz kommende adsorptive Abgasreinigung in einem Flugstromverfahren bei Nutzung vorhandener Entstaubungsaggregate stellt hierbei eines der einfachsten und zugleich kostengünstigsten Verfahren dar. Die RWE Power AG verfügt über langjährige Erfahrungen im Umgang mit Kohlenstoffen. Am Beispiel von Herdofenkoks wird über das Reaktionsverhalten und über die hieraus resultierenden Sicherheitsaspekte berichtet. Hierbei werden Maßnahmen speziell für den Einsatz von kohlenstoffhaltigen Sorbentien zur Abgasreinigung bei Verwendung von Tuch- und Elektrofilteranlagen (z. B. in Elektrolichtbogenöfen und Sinteranlagen) aufgezeigt.

Activated carbon technology implemented as a packed-bed filter using granular sorbents or as an entrained-phase process employing pulverised sorbents ranks among the most popular processes in waste gas cleaning due to the achievable high separation performance. Adsorptive waste gas cleanup in an entrained dust cloud that has increasingly been used during recent years is one of the simplest and, at the same time, lowest-cost processes. Building up on the long experience RWE Power AG has in handling carbons, this paper uses the example of Activated Lignite (HOK) to give an account of its reactive behaviour and the resulting safety aspects. Here, specific measures for the application of carbonaceous sorbents in waste gas cleaning using baghouses or electrostatic precipitators (ESP), e.g. in sinter plants and EAFs, are identified.

Die Flugstromadsorption auf Basis kohlenstoffhaltiger Sorbentien, wie beispielsweise Herdofenkoks oder Aktivkohle, ist eine inzwischen großtechnisch praktizierte Technik. Vor allem in der Müllverbrennung kommt die Flugstromadsorption zur Abscheidung von Dioxinen und Furanen sowie Quecksilber zum Einsatz. Neben der Anwendung in eigenständigen Adsorptionsapparaten wird der Einsatz der Flugstromadsorption heute zunehmend in vorhandene Tuch- und Elektrofilteranlagen integriert, indem das Adsorptionsmittel als feinkörniges Pulver vor der eigentlichen Entstaubungsstufe dem Gasstrom zudosiert wird.

Bild 1 zeigt das Kraftwerk der RWE Power AG im Veredlungsbetrieb Hürth. Zu sehen ist die E-Filteranla-

ge, vor der Herdofenkoks bei der Klärschlamm-Mitverbrennung eingedüst wird (im vorliegenden Fall zur Minderung der Hg-Emission).

Die zum Einsatz kommenden Aktivkohlen bestehen praktisch nur aus Kohlenstoff, womit diese Stoffe brennbar und unter gewissen Umständen selbstzündungs- und explosionsfähig sind. Wie hoch das Brand- und Explosionsrisiko ist, hängt zum einen von den Brenn- und Explosionsseigenschaften des Staubes und zum anderen von den vorliegenden Verfahrens-

Dipl.-Ing. Jürgen Wirlinging, Leiter Abgas- und Wasserreinigung, Rheinbraun Brennstoff GmbH, Köln.

und Anlagenbedingungen ab. Die sicherheitstechnische Betrachtung und Bewertung bzw. Festlegung von Schutzmaßnahmen zur Realisierung des Brand- und Explosionsschutzes erstreckt sich hierbei auf alle Anlagenbereiche und Verfahrensschritte, in denen Aktivkohlen als Einzelkomponente oder in Mischung mit dem Prozessstaub- und/oder Kalk gehandhabt werden. Aus Sicht der Sicherheitstechnik ist hierbei die Kenntnis des Brenn- und Explosionsverhaltens der zum Einsatz kommenden Aktivkohlen-/kokse in Verbindung mit den vorliegenden Prozess- und Anlagenbedingungen erforderlich.

Am Beispiel des Einsatzes von Aktivkoks zur Quecksilberabscheidung in einem kohlebefeuerten Industriekraftwerk wird gezeigt, dass ein wirksames Schutzkonzept mit relativ einfachen Maßnahmen zu realisieren ist.

Generelles Verfahrenskonzept der Flugstromadsorption

Beim Flugstromverfahren wird das kohlenstoffhaltige Sorbens staubförmig in den Rohgasstrom vor einer vorhandenen Entstaubungseinrichtung – in Bild 2 beispielhaft dargestellt als Tuchfilter (oben) und Elektrofilter (unten) – eingeblasen [1; 8; 9].



1
Kraftwerk der RWE Power AG im Veredlungsbetrieb Hürth
RWE Power Plant in the Hürth upgrading operations

Die Abscheidung des Sorbens erfolgt bei den integrierten Flugstromverfahren, d. h. bei Nutzung der vorhandenen Entstaubungsaggregate, gemeinsam mit dem prozesseitig anfallenden Staub. Die Verteilung des Adsorbens im Abgasstrom ist hierbei zur Erzielung einer ausreichenden Schadstoffabscheidung sowie aus Gründen der Sicherheitstechnik von wesentlicher Bedeutung, Bild 3.

Herstellung und Charakteristik von Herdofenkoks

Die Kohlenstoffaktivierung der aus den Tagebauen der RWE Power AG in der Nähe von Köln gewonnenen Braunkohle erfolgt nach dem so genannten Herdofenverfahren [2]. Der so erzeugte Aktivkoks weist die für den Herdofenkoks (HOK) charakteristische Porenstruktur auf, woraus die hohe Abscheideeffizienz für eine Vielzahl von Schadstoffen resultiert [1].

HOK zählt brandschutztechnisch zu den reaktionsträgen Sorbentien und ist dadurch auch bei hohen Temperaturen sicher einsetzbar [6; 7]. In Bild 4 sind die physikalischen und chemischen Kenngrößen von Herdofenkoks zusammengefasst. Durch die Herstellung des HOK nach dem Herdofenverfahren bei einer Temperatur von über 900 °C werden die brennbaren primärflüchtigen Bestandteile (Kohlenstoffverbindungen etc.) nahezu vollständig ausgetrieben. Bei dem anschließenden Kühl- und Alterungsvorgang werden durch Reaktion mit Sauerstoff und Absättigung der aktiven Zentren Sekundärflüchtige gebildet. Dabei handelt es sich überwiegend um adsorptiv gebundenes CO₂ und CO.

Sicherheitsaspekte

Die bei der Flugstromadsorption entweder in reiner Form oder als Gemischkomponente zum Einsatz kommenden Aktivkohlen bestehen praktisch nur aus Kohlenstoff, womit diese Stoffe grundsätzlich brennbar sind. Wegen ihrer hohen Porosität sind diese Kohlen neben der Adsorption von Schadstoffen allerdings auch in der Lage, mit Sauerstoff unter Wärmefreisetzung zu reagieren. Neben der vorhandenen Brennbarkeit von kohlenstoffhaltigen Sorbentien ist zu berücksichtigen, dass Aktivkohlen in Form von Staub wie jeder brennbare Staub unter bestimmten Umständen auch explosionsfähig sind. Eine Explosionsgefahr besteht allerdings nur, wenn folgende vier Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sind:

- Vorliegen von aufgewirbelter Aktivkohle, d. h., es muss ein Aktivkohle/Luft-Gemisch vorliegen.
- Überschreiten der Sauerstoffgrenzkonzentration, die für eine Explosion des Gemisches erforderlich ist.
- Vorhandensein einer Staub/Luft-Konzentration, die zwischen der unteren und oberen Explosionsgrenze liegt.

- Vorhandensein einer für die Zündung des Staub/Luft-Gemisches ausreichenden Zündquelle.

Kann eine dieser Bedingungen ausgeschlossen werden, ist die Gefahr einer Explosion nicht gegeben.

Die Grundzüge des für den sicheren Einsatz von Aktivkohlen in der Flugstromadsorption zu verfolgenden Brand- und Explosionsschutzes sollen nachfolgend aufgezeigt werden.

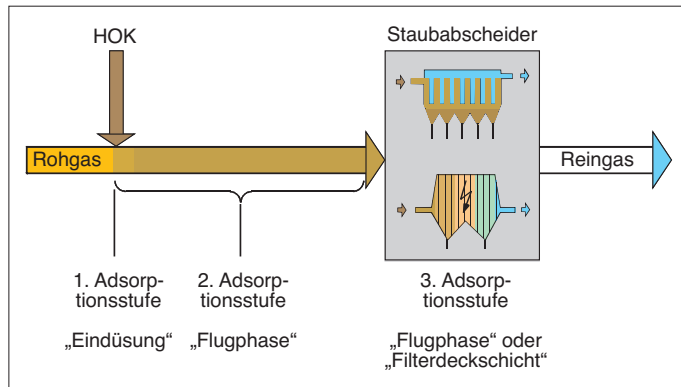
Brandschutz. Zur Vermeidung von Bränden in kohlenstoffhaltigen Schüttungen oder Ablagerungen sind zwei Aspekte zu berücksichtigen: die von wirksamen Zündquellen ausgehende Brandgefahr und die Neigung kohlenstoffhaltiger Materialien zur Selbstentzündung.

Wirksame Zündquellen im Hinblick auf die Brandgefahr bei der Flugstromadsorption können z. B. mit dem Abgas in das Filter eingetragene Funken sein. Ein Problem, das für viele Anlagen oft auch deshalb relevant ist, weil mit dem Funkeneintrag Löcher in den Filterschläuchen von Tuchfilteranlagen eingebrannt werden und dann zu höheren Staubemissionen führen.

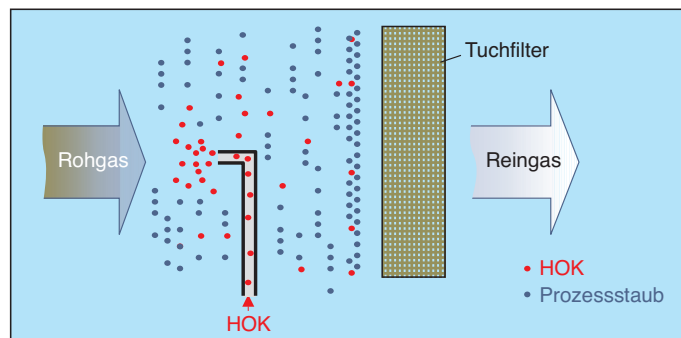
Kann der Eintrag von wirksamen Zündquellen oder die Entzündung an einer heißen Oberfläche ausgeschlossen werden, bleibt die oft unterschätzte Gefahr der Selbstentzündung. Die exotherme Reaktion von Aktivkohlen mit Sauerstoff vor der Entzündung ist ein seit langem bekannter Vorgang und Inhalt zahlreicher Untersuchungen. Die Geschwindigkeit dieser Reaktion wird im Wesentlichen von der Gaszusammensetzung, dem Schüttungsvolumen und der Temperatur beeinflusst und kann bereits bei Raumtemperatur in geringem Ausmaß beobachtet werden. Es handelt sich also um eine Oxidation, die schon vor Erreichen der Selbstentzündungstemperatur stattfindet. Ist eine ausreichende Abfuhr der Reaktionswärme nicht gegeben, so kann eine Art Kettenreaktion erfolgen, die zu einer steten Erwärmung der A-Kohleschüttung bzw. zu einer örtlichen Überhitzung („Hot spot“) führt, und letztendlich zur Selbstentzündung der Schüttung. Die Neigung zur Selbstentzündung nimmt hierbei mit der Höhe der Temperatur und der Größe des Staubvolumens zu, Bild 5. Diese Reaktion lässt sich hierbei nicht, wie die Staubexplosionsfähigkeit, durch die Zugabe von Inertstoffen ohne weiteres unterbinden. Selbst bei geringen Aktivkohleanteilen in einer Staubbmischung lassen sich noch Selbstentzündungsreaktionen feststellen [5].

Zur Vermeidung von Selbstentzündungsreaktionen sind folgende Maßnahmen, die mit relativ einfachen Mitteln erreichbar sind, unabdingbar:

- Vermeidung von größeren Staubablagerungen im temperaturführenden Anlagenbereich, z. B. durch den kontinuierlichen Staubabzug aus dem Elektro- oder Tuchfilter.



2
Flugstromadsorptionsverfahren
Entrained-phase adsorption process



3
Sorbensverteilung im Filterschichtverfahren
Pollutant separation in the filter-bed process

- Ausschluss von Luft- oder Abgasschleischströmungen durch Schüttungen (z. B. im Vorrats- oder Reststoffsilo). Bei Schleischströmungen besteht auch bei Umgebungstemperatur grundsätzlich die Gefahr, dass die im Strömungskanal der Gassträhne entstehende Reaktionswärme zu einer örtlichen Überhitzung in der Schüttung führt.

Explosionsschutz. Neben dem Ausschluss von wirksamen Zündquellen kommt bei den Flugstromverfahren als Explosionsschutzmaßnahme meist die so genannte Feststoffinertisierung zur Anwendung. Die Aktivkohlen werden hierbei mit einem staubförmigen Inertstoff wie z. B. Kalkhydrat, Kalksteinmehl oder auch mit dem prozessseitig anfallenden Prozessstaub [9] so weit verdünnt, dass das anschließende Gemisch aus Aktivkohle und Inertstaub nicht mehr explosionsfähig ist.

Sicherheitskenngrößen

Wie hoch das Brand- und Explosionsrisiko ist, hängt neben der vorliegenden Verfahrens- und Anlagentechnik wesentlich von den Explosionseigenschaften der

Kennwerte		HOK Granulat	HOK Medium	HOK Staub	HOK Mahlaktiviert
Korngröße	mm	1,25 - 5	0,1 - 1,5	< 0,4	< 0,2
Schüttdichte	t/m ³	0,45	0,53	0,55	0,55
Spez. Oberfläche	m ² /g		300		
Kurzanalyse (roh)					
Wassergehalt	% Massenanteil		0,5		
Aschegehalt	% Massenanteil		10		
Heizwert	MJ/kg		29,9		
Flüchtige	% Massenanteil		3		
Elementaranalyse (roh)					
C-H-N-O	% Massenanteil		87,9 - 0,4 - 0,6 - 0,4 - 0,6		
Schwefel	% Massenanteil		0,5		
Ascheanalyse (wf)					
CaO	% Massenanteil		35		
MgO	% Massenanteil		14		

4

Physikalische und chemische Kenngrößen von Herdofenkoks HOK

Physical and chemical characteristics of Activated Lignite HOK

zu achten, dass die veränderbaren Stoffparameter, wie Feuchte und Kornfeinheit, vergleichbar sind.

Im Folgenden soll auf die zur Beurteilung des Gefahrenpotentials der Entstehung von Bränden sowie des Explosionsgefahrenpotentials einer Aktivkohle/Luft-Dispersion wesentlichen Kennzahlen näher eingegangen werden.

Selbstentzündungstemperatur.

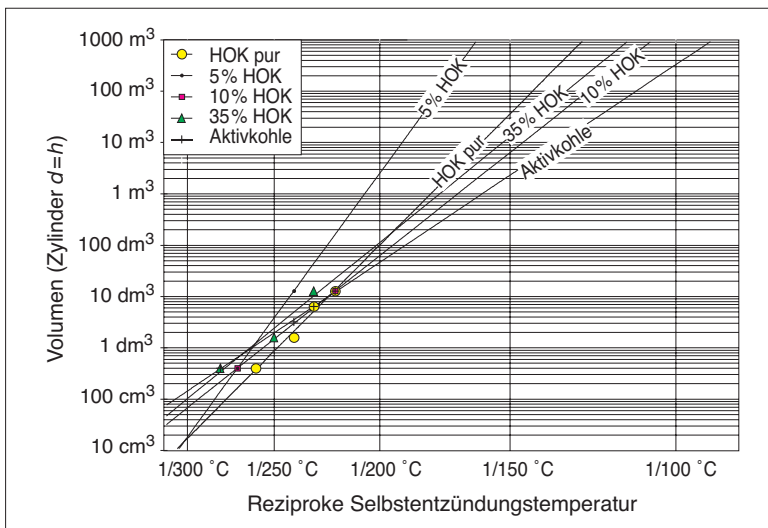
Von oft unterschätzter Bedeutung bei der sicherheitstechnischen Bewertung ist die Neigung von kohlenstoffhaltigen großvolumigen Ablagerungen zur Selbstentzündung. Unter der Selbstentzündung wird ein Vorgang verstanden, bei dem eine Schüttung bei allseitiger Wärmeinwirkung infolge exothermer Reaktion mit Luft nach vorangegangener Selbsterwärmung zur Selbstentzündung kommt.

Die Selbstentzündung ist abhängig von der Aktivkohleart, der Temperatur, dem Schüttungsvolumen und der Zeit.

Für HOK und eine klassische Aktivkohle sind in Bild 5 in Abhängigkeit vom Schüttungsvolumen die Selbstentzündungstemperaturen wiedergegeben. Der Verlauf der Selbstentzündtemperatur zeigt, dass bei höheren Umgebungstemperaturen die Neigung zur Selbstentzündung steigt und demzufolge das zulässige Volumen, bei dem keine Entzündung eintritt, geringer wird. Zu erklären ist diese Abhängigkeit mit der Freisetzung der Reaktionswärme, die bei höheren Umgebungstemperaturen bzw. größeren Haufwerken nicht ausreichend abgeführt werden kann. In Folge hiervon kommt es zur Selbsterwärmung der Schüttung, die dann schließlich zur Selbstentzündung führt. Die Neigung zur Selbstentzündung lässt sich hierbei nicht, wie die Staubexplosionsfähigkeit, durch die Zugabe von Inertstoffen ohne weiteres unterbinden.

Mit dem bei HOK vorliegenden Selbstentzündungsverhalten ist eine Entzündungsgefahr bei Lagerung in geschlossenen Siloanlagen unter Luft ausgeschlossen. Für den Adsorberbetrieb ist bei den üblichen Betriebstemperaturen von meist 150 bis 180 °C ein ausreichender Sicherheitsabstand zu den Selbstentzündungstemperaturen von 250 bis 280 °C gegeben. Hier müssen auf Grund des Temperaturniveaus lediglich großvolumige Ablagerungen vermieden werden, z. B. durch kontinuierlichen und überwachten Austrag aus den Filtertrichtern.

Grundsätzlich sind bei allen Aktivkohlen im Kalt- sowie im Heißbereich Schleichströmungen durch Schüttungen auszuschließen, die durch die exother-



5

Volumenabhängige Selbstentzündungstemperatur [5]

Volume-dependent auto-ignition temperature [5]

zum Einsatz kommenden Aktivkohle ab. Die Beschreibung der Brenn- und Explosionseigenschaften erfolgt hierbei anhand von Kenngrößen, die nach standardisierten Verfahren, wie sie in der Richtlinie VDI 2263, Blatt 1 [4] festgelegt sind, ermittelt werden, Bild 6. Da das Reaktionsverhalten stoffspezifisch ist, sind die wesentlichen Stoffparameter der untersuchten Aktivkohle grundsätzlich mit anzugeben, Bild 7. Einen Einfluss auf das Reaktionsvermögen nehmen z. B. die flüchtigen Bestandteile, die Staubfeinheit, der Aschegehalt und die Feuchte der zu bewertenden Aktivkohle. Insbesondere bei einem Sorbensvergleich ist darauf

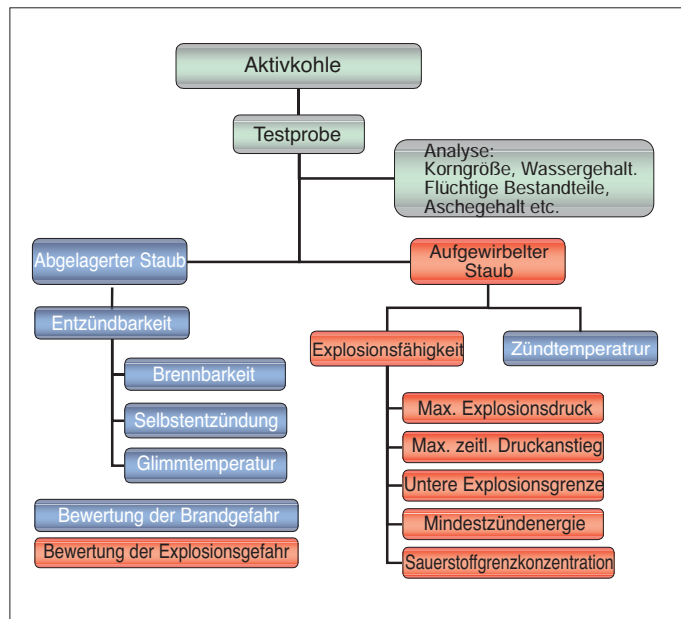
me Reaktion mit Luft zu einer örtlichen Überhitzung und unter Umständen zu einer späteren Selbstentzündung führen können.

Explosionsverhalten. Als fein aufgemahlenes Pulver können Aktivkohlen unter bestimmten Voraussetzungen eine explosionsfähige Atmosphäre bilden, womit diese Stoffe i. A. als explosionsfähig einzustufen sind. Demzufolge sind Maßnahmen zu ergreifen, die geeignet sind, das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre zu verhindern. Hierbei steht die Frage im Vordergrund, unter welchen Bedingungen die Aktivkohle eine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann.

Die mit HOK durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass explosionsfähige Staub-Luft-Gemische erst vorliegen, wenn eine Staub-/Luftkonzentration von 60 g/m^3 überschritten wird. Durch das vorliegende reaktionsträge Verhalten wird HOK der Staubexplosionsklasse ST 1 zugeordnet. Als Explosionsschutzmaßnahme ist die konsequente Vermeidung wirksamer Zündquellen ausreichend.

Für die verfahrenstechnische Anwendung von Aktivkohlen in Flugstromadsorbern wird meist das Konzept der so genannten Feststoffinertisierung praktiziert. Dazu vermischt man Aktivkohle mit einem Inertstaub wie z. B. Kalk oder auch Prozessstaub mit dem Ergebnis, dass diese Mischung nicht mehr explosionsfähig ist, Bild 8.

Der zur Unterdrückung der Explosionsfähigkeit erforderliche Mindestinertanteil hängt neben der Temperatur von der Art der Aktivkohle und dem Inertstaub ab und muss experimentell ermittelt werden. Mit HOK und Kalkhydrat als Inertstoff durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass bereits bei einem Kalkhydratanteil von 60 % das Staubgemisch auch bei einer Temperatur von $200 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht mehr explosionsfähig ist.



6 Kennzahlen zur Beurteilung des Brenn- u. Explosionsverhaltens von staubförmigen Aktivkohlen [3]

Parameters for the evaluation of the combustion and explosion behaviour of pulverised activated carbons [3]

Mindestzündenergie. Die Mindestzündenergie ist ein Maß für die Zündempfindlichkeit von Staub-Luft-Gemischen gegenüber elektrischen Funken. Hierbei steht insbesondere die Frage im Vordergrund, ob Entzündungen infolge von elektrischen Entladungen möglich sind. Die Mindestzündenergie ist hierbei der niedrigste Wert der elektrischen Energie, der bei einer Entladung gerade ausreicht, das Staub-Luft-Gemisch zu entzünden. Die Prüfung ist mit getrockneten Proben durchzuführen, da andernfalls das Ergebnis den weniger kritischen Zustand beschreibt.

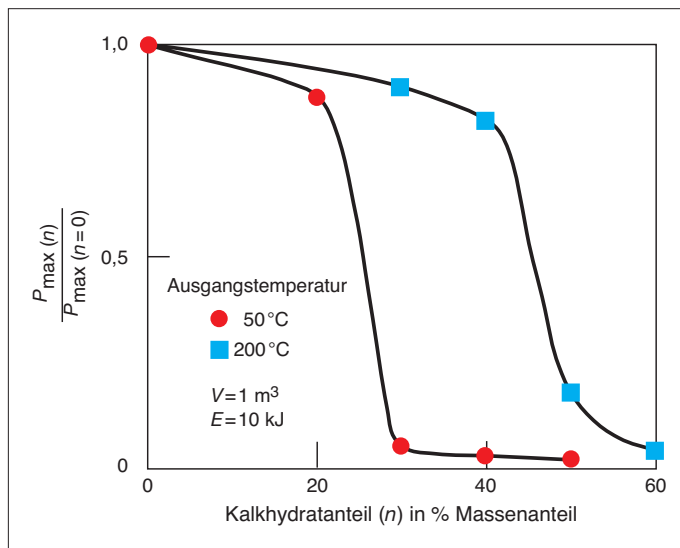
Kenngrößen		Granulat HOK Feinkoks	Aktivkoks HOK Staub	staubförmig HOK mahlaktiviert	zum Vergleich Brennstaub
Wassergehalt	% Massenanteil	0,5	0,5	0,5	11,0
Korngröße	mm	1,25 – 5	0 – 0,4	0 – 0,1	0 – 0,5
Medianwert	μm		63	24	60
Brennzahl (20 °C)		BZ 2	BZ 2	BZ 3	BZ 4
Selbstentzündungstemperatur	$^\circ\text{C}$	280	260	260	110
Glimmtemperatur	$^\circ\text{C}$	> 450	> 450	> 450	240
Zündtemperatur	$^\circ\text{C}$		560	590	450
Untere Explosionsgrenze (20 °C) 21 % Volumenanteil O_2	g/m^3	Nicht explosionsfähig	60	60	40
Max. Explosionsüberdruck	bar		7,6	8,6	9
K_{St} -Wert	bar · m/s		96	92	150
Staubexplosionsklasse			St 1	St 1	St 1
Mindestzündenergie (20 °C)	J		200 – 500	200 – 500	0,185 – 0,245

7 Brenn- und Explosionskenngrößen von Herdofenkoks HOK [5; 6] Combustion and explosion parameters of Activated Lignite HOK [5; 6]

Bei Versuchen mit HOK und einer Ausgangstemperatur von 20 °C konnte die Mindestzündenergie wie folgt eingegrenzt werden:

$$200 \text{ J} < E_{\min} < 500 \text{ J}$$

Die Mindestzündenergie von HOK liegt damit über den Energiewerten, die bei durch elektrostatische Aufladungen hervorgerufenen Entladungserscheinungen zu erwarten ist.



8 Einfluss des Inertanteils auf die Explosionsfähigkeit [5]
Influence of the inert portion on explosibility [5]

Sicherheitskonzept beim Praxiseinsatz von Aktivkohlen in der Flugstromadsorption

Nach den sicherheitstechnischen Kenngrößen ist HOK durch das reaktionsträge Verhalten auch bei höheren Temperaturen sicher einsetzbar. Voraussetzung hierfür ist, wie bei allen kohlenstoffhaltigen Sorbentien, die Einhaltung von Sicherheitsanforderungen zur Vermeidung von wirksamen Zündquellen.

Bezogen auf den jeweiligen Anwendungsfall kann die konsequente Vermeidung von wirksamen Zündquellen durch unterschiedliche Maßnahmen realisiert werden. Aus diesem Grund ist es erforderlich, jede Anlage, an der eine Eindüsung von Aktivkohlen zu installieren ist, hinsichtlich der konstruktiven und betriebsbedingten Gegebenheit in der Gesamtheit zu betrachten und die Sicherheitsmaßnahmen speziell darauf abzustimmen.

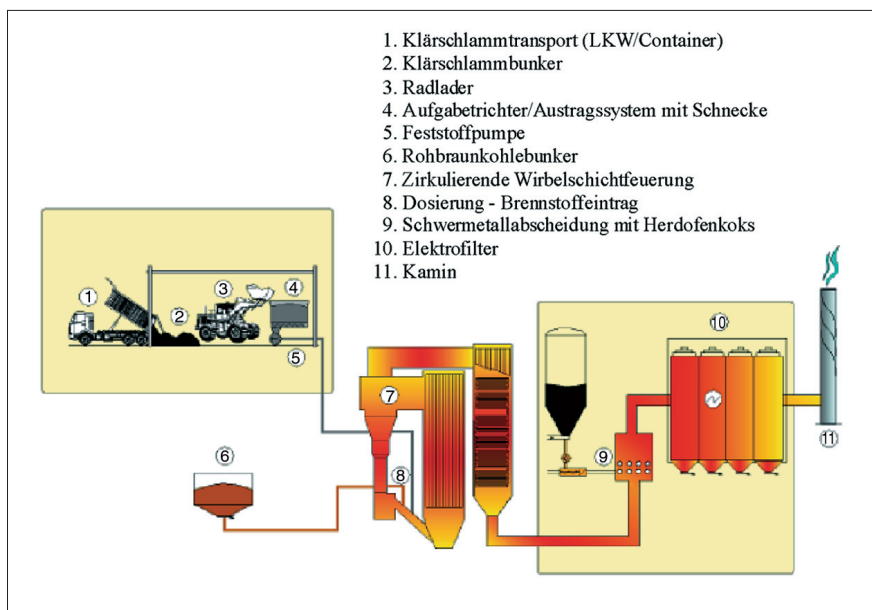
Am Beispiel der Flugstromadsorption mit HOK an einer Kraftwerksanlage und bei Verwendung eines Elektrofilters zur Staubabscheidung sollen nachfolgend die wesentlichen Fragen zur Sicherheitstechnik angesprochen und die hieraus resultierenden Maßnahmen des Brand- und Explosionsschutzes aufgezeigt werden.

Kurzbeschreibung der Anlagentechnik. Bild 9 zeigt den schematischen Aufbau der Kraftwerksanlage mit der zur Quecksilberabscheidung installierten Flugstromadsorptionseinrichtung. Der nach dem Prinzip der zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung arbeitende 275-MW_{th}-Dampfzeuger wird mit Rohbraunkohle als Hauptbrennstoff befeuert. Neben der Rohbraunkohle wird teilentwässertes Klärschlamm mitverbrannt. Die Entstaubung der bei der Verbrennung anfallenden Abgase von insgesamt ca. 350 000 m³/h erfolgt in einem Vier-Feld-Elektrofilter. Nach der Entstaubung wird das 160 °C heiße Abgas in die Atmosphäre abgeführt [8].

Das Adsorptionsmittel HOK wird direkt in den Abgasstrom vor dem E-Filter zugegeben. Die anschließende Abscheidung des mit Schadstoffen beladenen HOK erfolgt gemeinsam mit dem Filterstaub im nachgeschalteten E-Filter. Der abgeschiedene Filtermischstaub wird hierbei kontinuierlich ausgetragen und in einem Silo zwischengelagert und anschließend entsorgt.

Der für die Abgasreinigung eingesetzte HOK wird mittels Silofahrzeug angeliefert und pneumatisch in ein Vorlagesilo gefördert. Über eine Dosiereinrichtung wird der HOK anschließend pneumatisch mittels Druckluft zur Einblasstelle gefördert, Bild 10.

Für die sicherheitstechnische Bewertung kann die Gesamtanlage in die folgenden aktivkohleführenden Bereiche untergliedert werden.



9 HOK-Zugabe zur Hg-Abscheidung in einem Industriekraftwerk [8]
HOK addition for Hg separation in an industrial power plant [8]

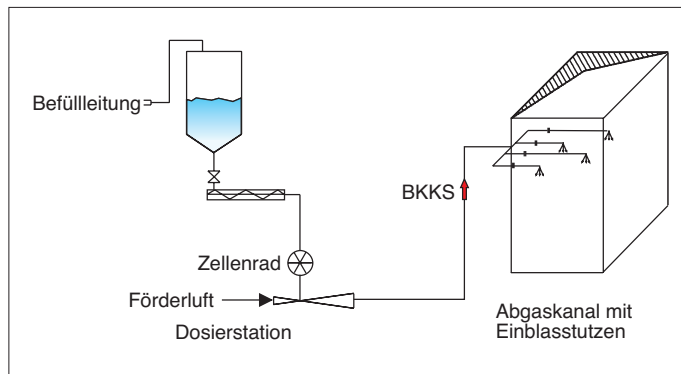
HOK-Bevorratung und Dosierung. Für die Lagerung des HOK in Stahlblechsilos unter Atmosphärendruck ist auf Grund der Produkteigenschaften von HOK als Schutzmaßnahme die konsequente Vermeidung wirkungsvoller Zündquellen vollkommen ausreichend, gutachterseitig anerkannt und seit Jahrzehnten praxisbewährt. Ein konstruktiver Explosionsschutz etwa durch druckstoßfeste Bauweise, Druckentlastungsflächen oder eine inerte Lagerung ist nicht erforderlich. Die Befüllung des Silos erfolgt mittels pneumatischer Förderung mit Luft. Nach entsprechender Dosierung durch mechanische Fördereinrichtungen erfolgt der Weitertransport des HOK vom Silo zum Abgaskanal durch Druckluft.

Die Schutzmaßnahme „Vermeidung von Zündquellen“ wird u. a. realisiert durch den Einsatz von explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln im Inneren des Silos und der Dosiereinrichtung, die Erdung aller leitfähigen Anlagenteile und durch das Begrenzen der Förderlufttemperatur. Am Silokopf und -auslauf sind daneben Temperaturmesssonden zur Überwachung vorgesehen. Die Anschlüsse sind so ausgeführt, dass Luft nicht unkontrolliert ins Silo eintreten kann und zu Schleichströmungen in der Schüttung führen kann. Besonderes Augenmerk gilt hier u.a. der Sorbensübergabe in die pneumatische Förderleitung. Durch den bei der Verwendung von Injektoren bzw. Förderschuh vorliegenden Unter- bzw. Überdruck an der Übergabestelle ist zur Vermeidung von Schleichströmungen im Silo eine Druckentkopplung zur Atmosphäre hin vorzusehen.

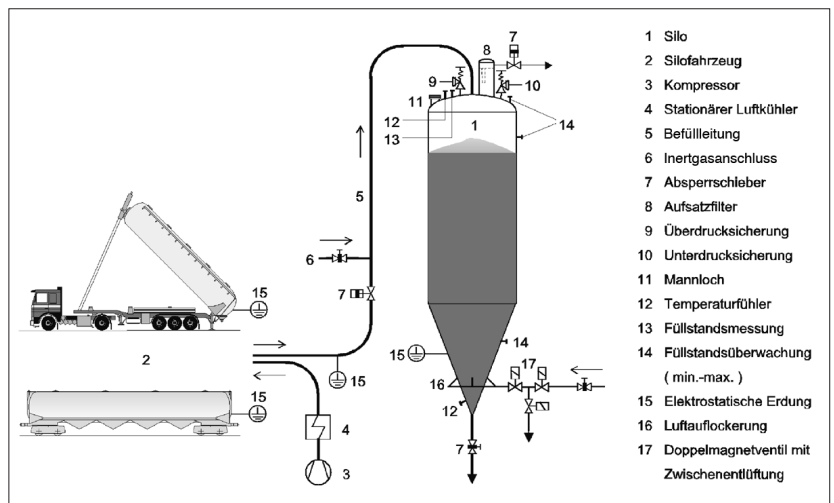
Die Siloanlage wurde entsprechend den „Empfehlungen zum Umgang mit Herdofenkoks HOK“ der RWE Power AG ausgeführt [7]. In diesen Empfehlungen, die gemeinsam mit der Exam (ehemals DMT) als Fachstelle für Brand- und Explosionsschutz erstellt wurden, wird umfassend über die bei der Förderung und Lagerung von Aktivkohlen zu beachtenden Sicherheitsmaßnahmen informiert. Die beschriebenen Maßnahmen stehen im Einklang mit den gültigen Sicherheitsmaßnahmen und werden von namhaften Experten für Sicherheitsfragen befürwortet, Bild 11. Die heute weit über 100 Silo- und Förderanlagen, wo Activated Lignite HOK im Einsatz ist, bestätigen die Wirksamkeit dieser Empfehlungen.

Abgasleitung und E-Filter. Im Abgaskanal der Einblusstelle des HOK und des Elektrofilters sowie im Elektrofilter ist das Schutzkonzept durch mehrere voneinander unabhängige Maßnahmen (Redundanz) sichergestellt:

- Durch die Vermischung des HOK mit der inerten Flugasche von 4 - 5 t/h liegt ein Staubgemisch mit einem HOK-Anteil von weit unter 5 % Massenanteil vor, womit das Gemisch nicht explosionsfähig ist.
- Die Konzentration des HOK-Staubes liegt auch bei maximaler Dosierung von 100 kg/h mit $<1 \text{ g/m}^3$ (Ab-



10
Silo- und Dosiereinrichtung
Silo and feeding unit



11
Pneumatischer Umschlag von HOK [7]
Pneumatic transloading of HOK [7]

gasvolumenstrom) deutlich unter der unteren Explosionsgrenze, womit keine explosionsfähige Atmosphäre vorliegt.

- Begünstigend kommt hinzu, dass die durchschnittliche Sauerstoffkonzentration von 7 % Volumenanteil unterhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration liegt.

Bezüglich des Brandschutzes ist der Abgaskanal sowie das Elektrofilter so ausgeführt, dass keine großvolumigen Ablagerungen entstehen können. Die Filterplatten werden in regelmäßigen Abständen abgeklopft und anfallender Staub kontinuierlich ausgetragen. Somit können sich im Abgaskanal sowie im Filter große Staubmengen langfristig nicht ablagern. In Verbindung mit der Betriebstemperatur von zirka 160 °C sind Selbstentzündungsreaktionen auszuschließen. Durch das reaktionsträge Verhalten von HOK stellen die betriebsüblichen kleineren Staubablagerungen im Abgaskanal und im E-Filter bei den vorliegenden Bedingungen keine Entzündungsgefahr dar.

Filterstaubaustrag. Im Elektrofilter werden mögliche Selbstentzündungsgefahren vermieden durch eine Temperaturüberwachung der Abgase und der beheizten Filtertrichter. Darüber hinaus können großvolumige Staubansammlungen in den Filtertrichtern mittels kontinuierlichem Staubaustrag und Füllstandüberwachung verhindert werden.

Anzumerken bleibt an dieser Stelle, dass größere Staubansammlungen in den Filtertrichtern von bestehenden Anlagen häufig zu beobachten sind und meist die Ursache für Glimmbrände sind. Ursachen hierfür können z. B. Falschlufteinbrüche, Ausfall der Austragsorgane, Staubbrücken im Filtertrichter oder unzureichende Trichterbeheizung sein. Durch Einsatz von Niveausonden können diese unzulässigen Staubansammlungen detektiert werden, womit Gegenmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können. Der Austrag sollte daneben grundsätzlich so ausgelegt werden, dass der bei der Abreinigung anfallende Staub zügig ausgetragen wird und nicht über längere Zeit im Filtertrichter liegt. Da die meisten Anlagen im Unterdruck betrieben werden, sind die Austragsorgane zur Vermeidung des Eintrages von Umgebungsluft so auszuführen, dass keine Rückströmung erfolgt.

Rückstandssilo. Vor der Deponierung wird der im Elektrofilter ausgetragene Filtermischstaub in einem

Reststoffsilo zwischengelagert. Das Reststoffsilo ist hinsichtlich der Sicherheitstechnik wie das HOK-Vorratssilo ausgeführt. Allerdings ist das Risiko, das von dem Rückstandssilo ausgeht, im Vergleich zum HOK-Vorratssilo auf Grund des sehr geringen HOK-Anteils vernachlässigbar gering.

«Zur Beurteilung der von kohlenstoffhaltigen Sorbentien ausgehenden Gefahr muss abhängig von der Verfahrenstechnik das Brand- und Explosionsverhalten der zum Einsatz kommenden Aktivkohle bekannt sein. Sie sind Grundlage für die Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen»

Fazit

Zur Beurteilung der von kohlenstoffhaltigen Sorbentien ausgehenden Gefahr muss abhängig von der Verfahrenstechnik das Brand- und Explosionsverhalten der zum Einsatz kommenden Aktivkohle bekannt sein. Sie sind Grundlage für die Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen.

Am Beispiel von Herdofenkoks wurde gezeigt, dass bei Kenntnis der Sicherheitskriterien die Umsetzung der für den Betrieb von Flugstromadsorbentien erforderlichen Schutzmaßnahmen sicher und einfach durchführbar ist. Die Flugstromadsorption mit HOK wird seit vielen Jahren an den unterschiedlichsten Anlagen praktiziert. Die verfahrenintegrierte Adsorption an HOK hat sich hierbei als ein wirksames und

sicheres Verfahren herausgestellt.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der beschriebenen Sicherheitstechnik auf andere Aktivkohlen ist zu beachten, dass die vorzusehenden Sicherheitsmaßnahmen von der Art und der Qualität des eingesetzten Adsorbens abhängt und ggf. weitere Sicherheitsmaßnahmen erfordern können.

(S 31406)

juergen.wirling@rwe.com

Literatur

- [1] Wirling J. et al: Implementation of process-integrated waste gas cleaning using activated lignite, AWMA, Kansas City, USA, März 2001.
- [2] Braunkohlenkoks – Herstellung und Einsatzmöglichkeiten, Informationsschrift der Rheinbraun Brennstoff GmbH.
- [3] VDI-Richtlinie 2263: Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen, Mai 1992.
- [4] VDI-Richtlinie 2263, Blatt 1: Staubbrände und Staubexplosionen, Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben, Mai 1990.
- [5] Wiemann, W.: VDI-Berichte Nr. 975 (1992), S. 606/25.
- [6] Exam BBG Prüf- und Zertifizier GmbH: Expert Opinion on the Fire and Explosion Parameters and Handling of Pulverized Activated Lignite, Nov. 2003.
- [7] Empfehlungen zum Umgang mit Herdofenkoks, Informationsschrift der Rheinbraun Brennstoff GmbH, Mai 2004.
- [8] Wirling, J.: Adsorptive waste gas cleaning in an industrial scale coal fired power plant, US EPA/EPRI/DOE Mega Symposium and Air and Waste Management Association's Speciality Conf. on Mercury Emissions, Chicago, USA, August 2001.
- [9] Prüm, C; Werner, C; Wirling, J.: stahl u. eisen 124 (2004) Nr. 10, S. 61/67.