

Verhalten von Staub und Teer in Elektroabscheidern

Betriebsabhängige Partikel-Eigenschaften müssen für Auslegung und Betrieb von Elektroabscheidern berücksichtigt werden

Von Prof. Dr. Thomas Nussbaumer* und Adrian Lauber**, Zürich und Horw

Zur Einhaltung der verschärften Staubgrenzwerte werden Holzfeuerungen zunehmend mit Feinstaubabscheidern ausgerüstet, häufig sind dies Elektroabscheider. Im folgenden Beitrag wird gezeigt, dass Salze in Elektroabscheidern unkritisch sind, während Ruß zwar problemlos abgeschieden wird, aber zu Wiedereintrag agglomerierter Partikel führt, Teer dagegen lokale Durchschläge in Form von Rücksprühen verursacht und zudem eine klebrige Schicht bildet.

Zur Einhaltung der verschärften Staubgrenzwerte werden Holzfeuerungen zunehmend mit Feinstaubabscheidern ausgerüstet, wobei meist Elektroabscheider oder Gewebefilter zum Einsatz kommen. Elektroabscheider verursachen höhere Investitionen bei tieferen Betriebskosten, was bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung oft vergleichbare Gesamtkosten ergibt [1]. Da Elektroabscheider jedoch robuster und weniger empfindlich gegenüber Funkenflug und Taupunktunterschreitung sind, kommen für Waldhackschnitzel und Restholz meist Elektroabscheider zum Einsatz. Demgegenüber können Gewebefilter durch Zugabe von Sorptionsmittel zur gleichzeitigen Abscheidung von Schadgasen genutzt werden, weshalb sie zum Beispiel beim Einsatz von trockenem Altholz interessant sind.

Für die Feinstaubabscheidung ist zu beachten, dass Holzfeuerungen ganz unterschiedliche Arten von primären Aerosolen verursachen können, nämlich

- ◆ Anorganische Partikel (Salze),
- ◆ Ruß (elementarer Kohlenstoff) und
- ◆ Teere (kondensierbare organische Verbindungen; Condensable Organic Compounds, COC).

Während Salze und Ruß als Feststoffe vorliegen, sind Teere bei hoher Temperatur dampförmig und kondensieren bei der Abkühlung zu Tröpfchen. Obwohl die drei Arten von Verbindungen alle dem Feinstaub zugeordnet werden, weisen sie vollkommen unterschiedliche chemische und elektrische Eigenschaften auf. Im Beitrag wird gezeigt, dass Salze in Elektroabscheidern unkritisch sind, während Ruß zwar problemlos abgeschieden wird, aber zu Wiedereintrag agglomerierter Partikel führt, Teer dagegen lokale Durchschläge in Form von Rücksprühen verursacht und zudem eine klebrige Schicht bildet.

Organische Kondensate sind schwer abzureinigen und können in Gewebefiltern zu einer irreversiblen Schädigung der Filterschläuche führen. Neben der negativen Auswirkungen von Ruß und Teer auf den Abscheidegrad bilden unverbrannte Materialien in Feinstaubabscheidern auch eine potenzielle Brandquelle und sie können zu einem unzulässig hohen Anteil an unverbranntem Kohlenstoff in der Filterasche führen. Für einen zuverlässigen Betrieb der Feinstaubabscheider ist deshalb ein stationäre Fahrweise der Feuerungen anzustreben. Da dies für bedarfsgeführte Anlagen jedoch nicht permanent gewährleistet werden kann, sind Kenntnisse über die Eigenschaften der Partikel in Abhängigkeit der Verbrennungsbedingungen von Interesse. Diese können als Basis für die Auslegung und Betriebsoptimierung der Abscheider und somit auch zur Erhöhung ihrer Verfügbarkeit dienen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war deshalb, die Eigenschaften der bei unterschiedlichen Ver-

brennungszuständen gebildeten Aerosole aus Holzfeuerungen zu erfassen und das Verhalten der verschiedenartigen Partikel in Elektroabscheidern zu ermitteln.

Elektroabscheider bei Holzfeuerungen

Elektrostatische Partikelabscheider oder kurz Elektroabscheider kommen seit längerem für automatische Holzfeuerungen im Leistungsbereich über 1 MW zum Einsatz. Die Verschärfung der Emissionsgrenzwerte führt jedoch auch für Holzfeuerungen unter 1 MW zu einem Bedarf an Feinstaubabscheidern, weshalb sich folgende Einsatzgebiete bei Holzfeuerungen ergeben:

- ◆ Industrielle Elektroabscheider für automatische Holzfeuerungen ab 1 MW (Stand der Technik)
- ◆ Elektroabscheider für automatische Holzfeuerungen von 70 kW bis 1 MW (neu) und
- ◆ Klein-Elektroabscheider für Holzfeuerungen von 5 kW bis 70 kW (neu).

In den letzten Jahren wurden auch für die zwei neuen Kategorien Elektroabscheider entwickelt und auf den Markt gebracht. Allerdings ist dabei zu beachten, dass größere automatische Holzfeuerungen eine hohe Ausbrandqualität erzielen können und dies bei geeigneter Betriebsweise dank Einsatz von Regelungstechnik meist auch im Praxisbetrieb sicher stellen. In Kleinf Feuerungen treten dagegen oft Phasen mit unvollständiger Verbrennung auf, die mit hohen Gehalten an Ruß und Teer (COC) verbunden sind. Der Abscheidegrad von Elektroabscheidern ist jedoch abhängig von den Eigenschaften der Partikel und der Abgase, weshalb variierende Betriebszustände berücksichtigt werden müssen.

Das Prinzip der elektrostatischen Abscheidung ist seit rund einem Jahrhundert bekannt und die Ausführung erfolgt in Röhren- oder Plattenbauweise, wozu in der Literatur umfassende Auslegungsparameter dokumentiert sind [2,3]. Diese basieren jedoch meist auf konstanten Betriebsbedingungen, wie dies in thermischen Kraftwerken der Fall ist. Zusätzlich stammen die Partikeleigenschaften größtenteils aus der Kohleverbrennung, während kaum spezifische Daten für Holzfeuerungen verfügbar sind [4]. Für die Anwendung von Elektroabscheidern an Holzfeuerungen sind deshalb folgende Punkte zu beachten:

1. Partikel von Holzfeuerungen bestehen aus Salzen, Ruß und Teer (COC).
2. Die Konzentrationen an H_2O , CO , CO_2 und O_2 im Abgas können in weiten

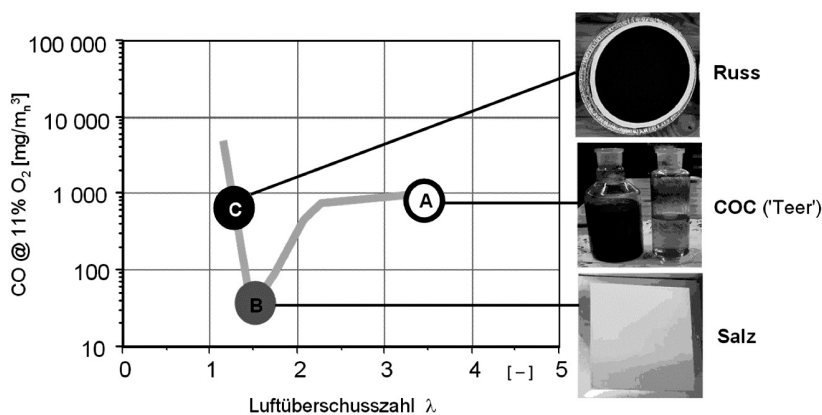
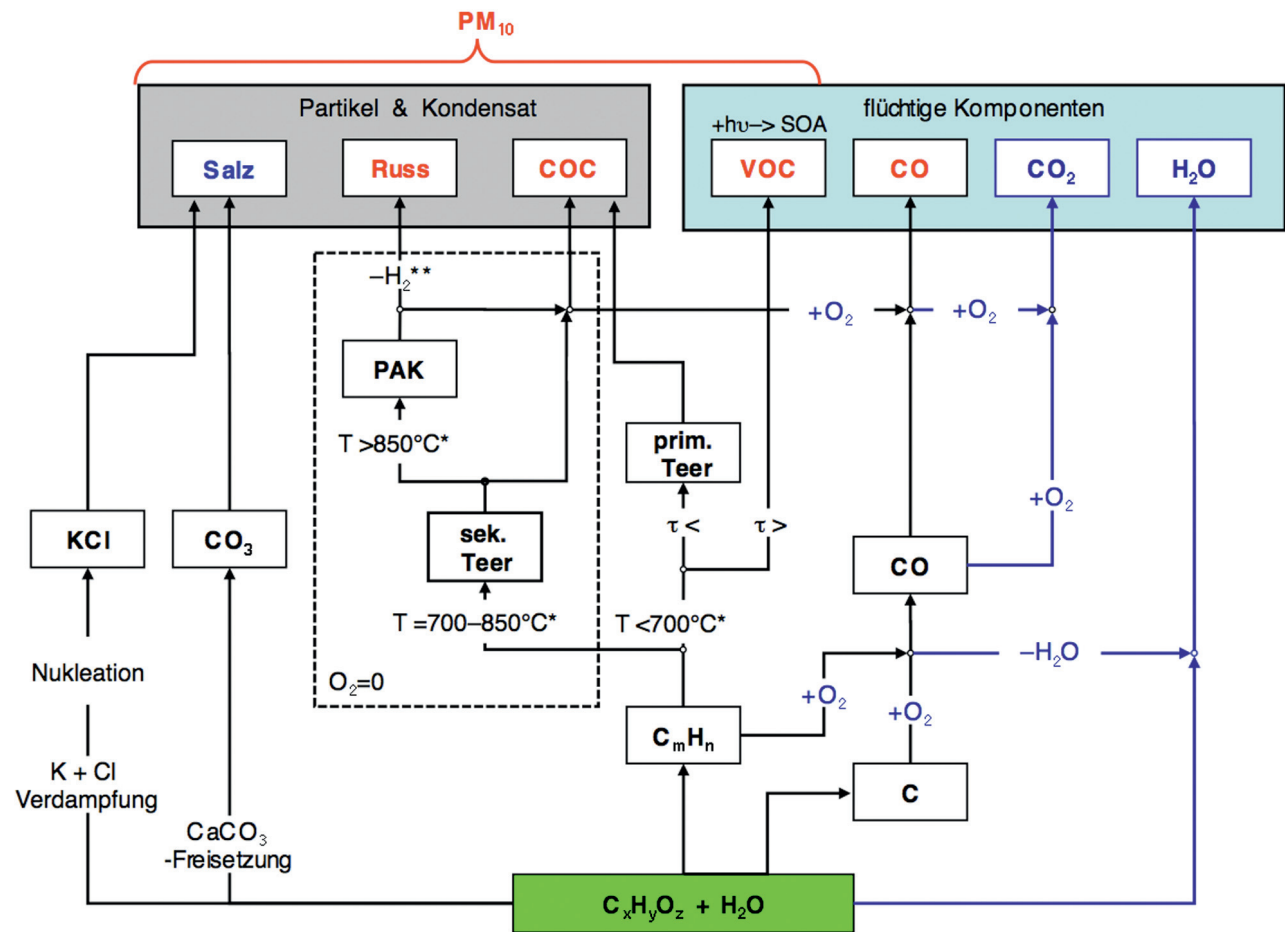


Abbildung 4 Betriebspunkte der Holzverbrennung dargestellt im CO/Lambda-Diagramm [9, 10]. Die Zustände entsprechen den drei Partikeltypen Ruß, Salze und COC gemäß Messwerten nach Tabelle 1.



Bereichen variieren. Dadurch verändern sich die Abscheidebedingungen, da zum Beispiel die elektrische Leitfähigkeit vom Wasserdampfgehalt abhängig ist.

3. Holzfeuerungen werden oft im Ein-/Aus-Betrieb mit kurzen Verbrennungsphasen betrieben [5]. In der Startphase können erhöhte Konzentrationen an organischen Verbindungen und Ruß auftreten. Um Probleme zu verhindern, werden Elektroabscheider bei tiefen Abgastemperaturen oft ausgeschaltet, was zu einer geringen Verfügbarkeit führt.

Partikelbildung

Die Bildungsmechanismen für Salze, Ruß und COC bei der Holzverbrennung sind in Abbildung 1 dargestellt und können wie folgt beschrieben werden:

1. Anorganische Partikel, hauptsächlich Salze, werden aus den mineralischen Aschebestandteilen des Brennstoffs in die Gasphase transferiert und bilden im Abgas Feststoffe durch chemische Reaktionen, Kondensation und Resublimation. Der Transfer mineralischer Verbindungen in das Abgas wird durch hohe Temperatur bevorzugt, weshalb Salze bei optimaler Verbrennung die Staubfracht dominieren.

2. Ruß wird aus organischen Vorläufersubstanzen in Zonen mit hoher Temperatur und lokalem Sauerstoffmangel gebildet. Flüchtige Komponenten und primäre Teere reagieren zu sekundären Teeren und bilden polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die bei hoher Temperatur und bei Abwesenheit von Sauerstoff durch Freisetzung von Wasserstoff zur Synthese von Ruß führen. Die Bildung von sekundären

Teeren findet bei Temperaturen ab 700 °C bis 850 °C statt und die anschließende Synthese zu Ruß vorwiegend ab rund 850 °C.

3. COC stammen aus direkt bei mittleren Temperaturen durch Pyrolyse freigesetzte Verbindungen sowie durch bei höheren Temperaturen gebildete sekundäre Teere.

Da diese drei Verbindungsklassen komplett unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen, ist deren Unterscheidung für die Auslegung und den Betrieb von Feinstaubabscheidern entscheidend. Wegen der ausgeprägten Temperaturabhängigkeit der Rußbildung treten hohe Rußgehalte nur bei hoher Temperatur auf. Bei tiefer Temperatur dominieren dagegen COC, weshalb je nach Temperatur und Prozessführung meist einer der beiden Aerosoltypen vorherrschend ist.

Versuchsaufbau

Zur Untersuchung der Partikeleigenschaften wurde ein Rohr-Elektroabscheider im Labormaßstab aufgebaut und an einen Pelletkessel angeschlossen (vgl. Abbildung 2). Durch Modifikation der Brennkammer und Luftzuführung können in der Versuchsanlage Betriebspunkte kontinuierlich gefahren werden, die üblicherweise nur in transienten Phasen wie zum Beispiel während des Startvorgangs auftreten. Der Elektroabscheider wurde auf einen für Kleinanlagen typischen Abscheidegrad ausgelegt, der für den gesamten Bereich der Partikelgrößen knapp über 90 % beträgt und durch die angelegte Spannung bestimmt wird. Der Abscheidegrad für das typische Korngrößenspektrum von Holzfeuerungen beträgt im Normalbetrieb etwas über 95 % (vgl. Abbildung 3). Der Staubwiderstand der Partikel wurde entsprechend IEEE-Standard 548-1984 gemessen und somit auf Grund eines fehlenden gültigen Standards der alte verwendet [8].

Partikelarten und -eigenschaften in Abhängigkeit des Verbrennungszustands

Bei der Holzverbrennung können drei vom Luftüberschuss abhängige Verbrennungsregime unterschieden werden, nämlich der Betrieb bei Luftmangel sowie bei optimalem und bei zu hohem Luftüberschuss [9].

Abbildung 4 zeigt die für diese Betriebspunkte im Labor-Elektroabschei-

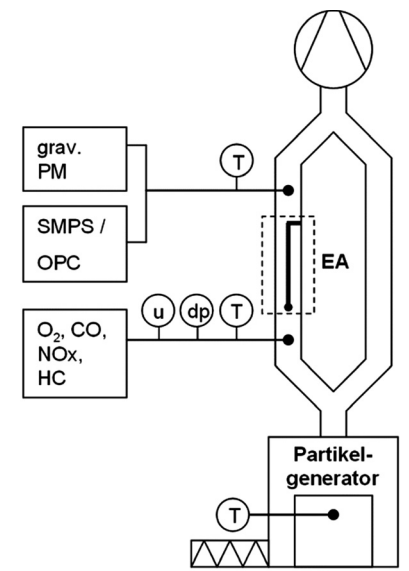


Abbildung 2 Versuchsaufbau mit Partikelgenerator (modifizierte Pelletfeuerung), Elektroabscheider und Messtechnik. Kenngrößen des Elektroabscheiders: L = 1000 mm, D = 100 mm, u = 1 m/s, SCA = 45 s/m, $U_{max} = -65$ kV.

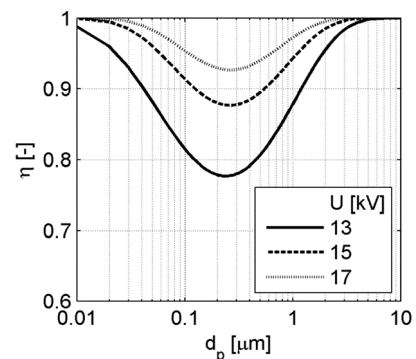


Abbildung 3 Berechneter Abscheidegrad für den Labor-Elektroabscheider in Funktion der Partikelgröße und der Spannung zwischen 13 kV und 17 kV.

der gefundenen Partikel [10]:

◆ Betriebspunkt A: Bei hohem Luftüberschuss von $\lambda = 3,5$ herrscht eine tiefe Verbrennungstemperatur, was zu hohen Emissionen an CO und an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sowie COC führt. Hohe Gehalte an COC sind eine Folge zu tiefer Temperaturen und können auch bei tiefem Luftüberschuss auftreten, zum Beispiel während der Startphase oder bei Verwendung von nassem Holz. COC werden weder vollständig oxidiert noch zu Ruß umgewandelt. Aufgrund der organischen Zusammensetzung weisen sie

*Prof. Dr. Thomas Nussbaumer ist Leiter der Fachgruppe Bioenergie und Professor für Erneuerbare Energien an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw sowie Inhaber des Ingenieurbüros Verenum in Zürich (Schweiz)

**Adrian Lauber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw (Schweiz)

Danksagung

Die vorliegenden Arbeiten wurden vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt.

