

Entwicklung und Test einer Elektrofilteranlage für kleine Biomasseheizkessel

Prof. Dr. –Ing. Stefan Beer, Fachhochschule Amberg-Weiden, Fachbereich Maschinenbau/Umwelttechnik, Kaiser-Wilhelm-Ring 23, 92224 Amberg, Tel.: 09621-482-227, Fax: 09621-482-145, E-Mail: s.beer@fh-amberg-weiden.de

1. Einsatzgebiete und Entwicklungsziele

Durch gezielte Primärmaßnahmen konnten in den vergangenen Jahren entscheidende Fortschritte bei der Reduzierung von gasförmigen jedoch kaum von staubförmigen Emissionen von Biomasseheizkesseln erreicht werden. Insbesondere bei der Verwendung von Hackschnitzeln mit hohem Feinanteil bzw. mit anhaftenden Verschmutzungen können die bestehenden Grenzwerte für Kleinf Feuerungsanlagen (1. BlmschV) manchmal nicht erreicht werden. Bei Verwendung anderer Brennstoffe wie Getreide, Stroh oder Ganzpflanzenpellets werden die Grenzwerte nicht mehr erreicht, siehe /1/. Weiterhin ist es ein erklärtes Ziel der europäischen Umweltpolitik, die als gesundheitsschädlich geltenden Feinstaubimmissionen zu reduzieren. Es ist also mittelfristig mit einer Reduzierung der Grenzwerte für Staub und evtl. mit einer Einführung von gesonderten Grenzwerten für Feinstaub (z.B. PM 10 oder PM 2,5) zu rechnen. Es besteht also Handlungsbedarf auch im Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen. Die größeren Anlagen werden ohnehin mit Entstaubungsanlagen ausgerüstet, die in Zukunft evtl. mit höheren Abscheidegraden projiziert werden müssen.

Nach eingehender Analyse der verschiedenen Abscheidetechnologien für Feinstaub (Gewebe filter, Elektrofilter, Keramikfilter, Wäscher) hat sich die FH Amberg-Weiden in Zusammenarbeit mit einem Kooperationspartner aus der Wirtschaft das Ziel gesetzt, eine marktfähige Kleinelektrofilteranlage für Biomassekessel mit einer Nennwärmeleistung von ca. 25 – 150 kW_{th} zu entwickeln. Von Beginn an war klar, dass die Reduzierung der Anlagenkosten (sie sollen bei 10 –15 % der Gesamtkosten für die Heizkesselanlage liegen) im Vordergrund stehen würde und die technischen Probleme grundsätzlich lösbar sind.

2. Entwicklungsarbeiten und technische Umsetzung

Elektrofilteranlagen werden z.B. zur Entstaubung von Kraftwerksrauchgasen, zur Entfernung von Aerosolen in Schwefelsäureanlagen oder hinter größeren Biomasseheizkesseln (ab ca. 500 kW_{th} Heizleistung oft in Kombination mit einem Multizyklon) sehr erfolgreich eingesetzt. Sie gelten als zuverlässig, wartungsarm und betriebssicher aber eben auch als aufwändig und teuer. Daher wurde meist anderen Abscheidetechnologien, wie z.B. der Filtration mit Geweben oder Keramikfilterkerzen oder dem Wäscher, bessere Chancen im Bereich der Entstaubung von Rauchgasen aus Kleinf Feuerungsanlagen eingeräumt, vgl. /2,3/.

Aufgrund der bekannten Vorteile des Elektrofilters, u.a. sind zu nennen der geringe Druckverlust im Vergleich zu Gewebefiltern und der gute Fraktionsabscheidegrad gegenüber Partikeln im Bereich unterhalb von 1 µm (siehe Abb. 1), wurde ein „downscaling“ auf technische und wirtschaftliche Machbarkeit hin detailliert untersucht.

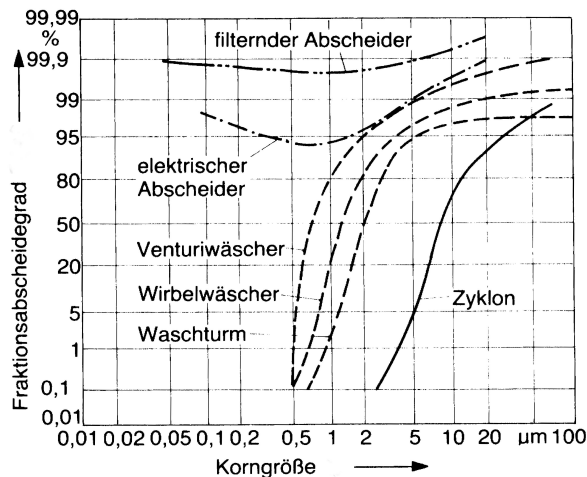


Abb. 1: Abscheidegrade von Staubabscheidern in Abhängigkeit von der Korngröße (Fraktionsabscheidediagramm) nach /4/

Das physikalische Prinzip des Elektrofilters besteht darin, dass durch eine negativ geladene Sprühelektrode Elektronen in das strömende Gas mit den darin befindlichen Partikeln austreten (vgl. Abb. 2), wodurch Gasmoleküle ionisiert werden, die sich wiederum an den Partikeln anlagern und diese negativ laden. Größere Partikeln werden dabei stärker aufgeladen als kleinere, was die bessere Abscheidung bzgl. größerer Partikeln erklärt. Die negativ aufgeladenen Partikeln wandern anschließend zur positiv geladenen Niederschlagselektrode, wo sie anhaften und eine Staubschicht bilden. Diese wird durch Abklopfen regelmäßig entfernt.

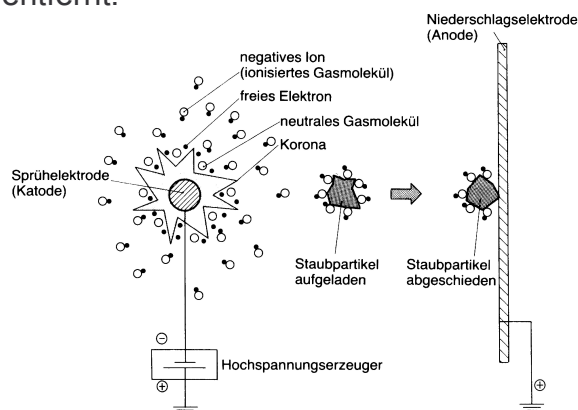


Abb. 2: Prinzip des elektrischen Abscheiders nach /4/

Die maßgebliche Auslegungsgleichung eines Elektrofilters ist die Deutsch-Formel $E = 1 - \exp[-w \times A / Q]$, siehe /4/, mit E als Gesamtabscheidegrad, A als Fläche der Niederschlagselektroden, w als gemittelte Wanderungsgeschwindigkeit der Partikeln und Q als Volumenstrom des Rauchgases. Damit ein hoher Gesamtabscheidegrad erreicht werden kann, gibt es prinzipiell zwei unterschiedliche Strategien. Die bei großen modernen E-Filteranlagen angewendete ist, ein möglichst hohes Spannungsniveau von 70 – 80 kV einzustellen (damit ebenso eine hohe Wanderungsgeschwindigkeit) und dafür Abscheidefläche A einzusparen, was Bauvolumen einspart. Damit werden die Gesamtkosten (elektrotechnische Ausstattung und Stahlbau) bei Großanlagen minimiert. Die zweite Strategie ist, das Spannungsniveau deutlich abzusenken (auf ca. 20 – 25 kV) wodurch die Wanderungsgeschwindigkeit sinkt und dafür aber mehr Plattenfläche A benötigt wird. Dieser Ansatz wurde bei der hier beschriebenen Anlage verfolgt, da er zu deutlicher Kosteneinsparung bei Kleinanlagen führt.

Damit eine Elektrofilteranlage den anvisierten Staubabscheidegrad in der Praxis erreicht, sind weitere, wichtige Details zu beachten: Das einströmende Rauchgas muss gleichmäßig und möglichst ohne Verwirbelung auf die einzelnen Gassen des Elektrofilters verteilt werden, der optimale Gassenabstand (Abstand zwischen 2 Abscheideplatten) und die zugehörige Anordnung der Sprühelektroden muss unter Berücksichtigung des Spannungsniveaus herausgefunden werden. Die Isolatoren an denen die Sprühelektroden aufgehängt sind, müssen durch Spülung und Beheizung vor Verschmutzung und Feuchtigkeit (im An- und Abfahrbetrieb!) geschützt werden. Weiterhin ist eine Abreinigungseinrichtung für die Abscheideplatten und für die Sprühelektroden zu entwickeln.

Da für eine derart kleine Anlage keine Erfahrungen vorlagen, wurde zunächst eine modulare Testanlage mit variablen Einbauten konstruiert und diese auf dem Filterprüfstand der FH Amberg-Weiden untersucht. Diese Untersuchungen wurden im Kaltbetrieb mit Luft und einem Teststaub (Tonschiefer „AC-fine“) durchgeführt. Nachdem die optimale Konfiguration ermittelt war, wurde ein Prototyp für Tests an einem Biomassekessel gebaut. Hierfür wurde bereits berücksichtigt, dass die Kosten für die Filteranlage nur ca. 10 – 15 % der gesamten Heizanlage ausmachen dürfen.

Der in Abb. 3 dargestellte Prototyp weist die in Tab. 1 angegebenen Eigenschaften auf und ist ausgelegt für einen Biomassekessel mit einer Wärmeleistung von max. 50 kW_{th}.



Abb. 3: Der Prototyp des Kleinelektrofilters auf dem Prüfstand

Bezeichnung	Wert	Einheit
Spannung	20	kV
Wanderungsgeschwindigkeit (Auslegung)	9	cm/s
Fläche (aufgeteilt auf 4 Platten)	2,8	m ²
Volumenstrom (im Betriebszustand)	300	m ³ /h
Baugröße (Höhe x Breite x Länge)	0,6 x 0,6 x 0,8	m
Betriebstemperatur	ca. 160	°C
Max. Temperatur	ca. 200	°C
Leistungsaufnahme	ca. 40	W
Druckverlust	ca. 3	hPa

Tab. 1: Wesentliche technische Daten des Kleinelektrofilters

3. Prüfstandtests

Die Prüfstandtests wurden an einem konventionellen Hackschnitzelheizkessel der Fa. Ökotherm (Heizleistung 30 kW_{th}, Quereinschubfeuerung, wassergekühlte Brennermulde, Ascheschieber, λ-Regelung), der prinzipiell für die Verfeuerung von Getreide geeignet ist, durchgeführt. Als Brennstoffe wurden Holzhackschnitzel

(Fichte mit Rinde), Pellets nach DIN 51731 und Triticale verwendet. Die Brennstoffeigenschaften wurden analysiert und sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

<i>Bezeichnung</i>	<i>Hackschnitzel</i>	<i>Pellets</i>	<i>Triticale</i>	<i>Einheit</i>
Wassergehalt	23,1	9,5	12,0	%
Aschegehalt i.d. TM	0,95	0,33	1,9	%

Tab. 2: Wesentliche Daten der verwendeten Brennstoffe

Die in Tab. 3 angegebenen Testergebnisse wurden bei Nennleistung des Kessels im stationären Betriebszustand erzielt. Die Staubkonzentrationen wurden vor und nach dem Kessel gemessen (gravimetrische Methode nach VDI 2066) und zusätzlich wurden die Rauchgasdaten im Betriebszustand (Feuchte, CO, CO₂, O₂, NO_x, Druck und Temperatur) erfasst. Die in Tabelle 3 angegebenen Staubkonzentrationen sind umgerechnet auf Rauchgas im normierten, trockenen Zustand bei einem Sauerstoffbezugswert von 13 Vol.-%.

<i>Bezeichnung</i>	<i>Hackschnitzel</i>	<i>Pellets</i>	<i>Triticale</i>	<i>Einheit</i>
Volumenstrom (Betriebszustand)	250	263	259	m ³ /h
Rauchgastemperatur	177	163	168	°C
Staubkonz. im Rohgas	43,6	80,3	198,3	mg/m ³
Staubkonz. im Reingas	12,5	3,2	41,9	mg/m ³
Gesamtabscheidegrad	71,4	95,6	78,8	%

Tab. 3: Typische Messwerte bei Vollast und Betriebsspannung von 20 kV am E-Filter

Hinzuweisen wäre noch auf die hohen NO_x-Werte bei Getreidefeuerung, die während der Messungen zwischen 500 und ca. 700 mg/m³ lagen. Der CO-Wert lag unterhalb von 20 mg/m³.

4. Diskussion der Ergebnisse

Zunächst muß zur Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass der erzielte Gesamtabscheidegrad von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig ist. Die wesentlichen seien hier kurz angeführt:

- Die Partikelgröße, wie bereits aus Abb. 1 ersichtlich ist. Es ist bekannt, dass insbesondere bei der Getreideverbrennung ein höherer Feinstaubanteil, als bei der Holzverbrennung auftritt, siehe z.B. /1/.
- Der spezifische elektrische Widerstand der Staubschicht auf den Niederschlagselektroden beeinflusst die Abscheideleistung und ist abhängig von der Temperatur, dem Material der Partikeln und der Gaszusammensetzung, wobei die Feuchte einen besonderen Einfluß hat. Ist der Widerstand zu klein, werden die Teilchen an der Niederschlagselektrode schnell entladen, wodurch ihre Haftung schlecht ist. Sie können durch die Strömung wieder mitgerissen werden. Ist der Widerstand dagegen zu groß, bilden die Teilchen auf der Niederschlagselektrode eine isolierende Schicht, die einen hohen Spannungsabfall in der Staubschicht bewirkt. Dadurch bleibt für die eigentliche Abscheidung eine zu geringe Spannungsdifferenz, die sich negativ auf die Abscheideleistung auswirkt. Es sind sogar lokale Überschlüge in der Staubschicht möglich („Rücksprühen“). Der optimale Bereich des spez. el. Widerstands liegt zwischen 10⁴ und 10¹¹ Ωcm und kann z.B. durch gezielte Einstellung von Temperatur und Feuchte beeinflusst werden, siehe z.B. /5/. Eine Möglichkeit, die für Kleinanlagen allerdings zu aufwändig ist.

- Der Anteil an unverbranntem Material aus dem Biomassekessel beeinflusst die Abscheideleistung erheblich. Unverbrannte Partikeln enthalten Kohlenstoff und damit leitfähiges Material, das den spez. Widerstand herabsetzt. Weiterhin wurde beobachtet, dass unverbranntes Material Schichten bildet, die sich nur schwer von den Elektroden bzw. Isolatoren abreinigen lässt. Ein Elektrofilter ist daher nur hinter Biomassekesseln einsetzbar, die über optimale Verbrennungsregelung (λ -Regelung, minimale C_{gesamt} – Werte) verfügen.

Die in Tab. 3 angegebenen Reingaskonzentration liegen für alle Brennstoffe deutlich unterhalb der für diesen Heizkessel vorgeschriebenen Emissionsbegrenzung von 150 mg/m^3 für Staub. Für das verwendete Getreide der Sorte Triticale, das derzeit für Kleinfeuerungsanlagen kein zugelassener Brennstoff ist, blieben alle Einzelmeßwerte sogar unterhalb von 50 mg/m^3 . Für Hackschnitzel und Pellets können durchgängig Werte von um die 10 mg/m^3 erzielt werden. Überraschend war der hohe Rohgaswert für Pellets der in mehreren Wiederholungsmessungen bestätigt wurde. Es wird vermutet, dass die Pellets einen zu hohen Abrieb aufwiesen, der durch die Verbrennungsgase mitgerissen wurde.

Vergleicht man die gemessenen Werte für den Gesamtabscheidegrad (zwischen 70 und 90%) mit denen von großen Elektrofiltern (ca. 99 % und darüber), so muß berücksichtigt werden, dass aufgrund von Kostenzwängen eine sehr preisgünstige Hochspannungsversorgung eingesetzt wurde, die nur 20 kV aufweist und für Schweißrauchabsaugungen konzipiert wurde. Es wäre ohne weiteres möglich, die Gesamtabscheidegrade durch Verwendung eines höheren Spannungsniveaus zu steigern, da die Isolation des Filters auf 35 kV ausgelegt ist. Sollte das Gerät in Serie gehen, wird das Spannungsniveau entsprechend angehoben.

Es ist somit der praktische Nachweis erbracht worden, dass man mit einem „low cost“-Elektrofilter die Staubemissionen für automatisch beschickte kleine Biomassekessel deutlich senken kann und damit eine preiswerte Entstaubungstechnologie auch für den Einsatz von Stroh und ähnlichen pflanzlichen Stoffen bzw. für Getreide zur Verfügung steht.

Literaturverzeichnis

- 1) Hartmann, H.: Verbrennungsverhalten und Emissionen bei der Nutzung von Getreidekörnern und Strohpellets als Brennstoff in Kleinfeuerungen. Manuskript für KTBL Fachgespräch „Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungen“, 12.-13. Februar 2003 in Petersberg-Almendorf.
- 2) Marutzky, R.; Seeger, K.: Energie aus Holz und anderer Biomasse, Leinfelden-Echterdingen, DRW-Verlag, 1999.
- 3) Holzabsatzfonds (Hrsg.): Holzenergie für Kommunen, Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn, 2003.
- 4) Bank, M.: Basiswissen Umwelttechnik, 3. Auflage, Würzburg, Vogel-Verlag, 1995.
- 5) Stieß, M.: Mechanische Verfahrenstechnik 2, Springer-Verlag, 1994.

Danksagung

Der Autor dankt dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten und C.A.R.M.E.N. e.V. für die Förderung und Unterstützung der Arbeiten.