



## Sauber heizen mit Holz

Ein elektrostatischer Abscheider senkt  
die Feinstaub-Emissionen von Biomassekesseln



*Trotz großer Fortschritte der Verbrennungstechnik entstehen bei der Holzverbrennung gesundheitsschädliche Feinstäube. Elektrostatische Feinstaubabscheider filtern bis zu 90 Prozent der Partikel-Emissionen von Biomassekessel. Holzfeuerungen können dadurch ein breiteres Brennstoffsortiment nutzen und dennoch die verschärften Anforderungen der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung erfüllen. Der große Vorteil: Sowohl neue Heizungen als auch Altanlagen können vom neuen System profitieren.*

Heizen mit Scheitholz, Holzbriketts, Holzhackschnitzel oder Pellets wird immer beliebter. Beweggründe der Nutzer sind neben den Brennstoffkosten vor allem Umweltaspekte: Wenn der Brennstoff aus nachhaltiger Holzwirtschaft stammt und ohne lange Transportwege verfügbar ist, verursacht er in der Bilanz nur einen Bruchteil der Kohlendioxid-Emissionen vergleichbarer Gas- oder Ölfeuerungen. Gleichzeitig sind Holzheizungen aber auch Emissionsquellen für gesundheitsschädliche Feinstäube. In der Winterzeit übertreffen ihre Partikel-Emissionen oftmals die des Autoverkehrs. Deshalb legt die 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV) seit 2015 strengere Grenzwerte für die Emissionen von Partikeln und Kohlenmonoxid aus biomassegefeuerten Kesselanlagen fest. In einem Forschungsprojekt haben Forscher des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) gemeinsam mit der HDG-Bavaria GmbH und der CCA-Carola-Clean Air einen elektrostatischen Filter entwickelt, der die Staub-Emission sicher unter die neuen Grenzwerte senkt.

„Wir hatten exemplarisch bei 94 Holzhackschnitzel-Feuerungen die Messprotokolle der Schornsteinfeger ausgewertet.“ erläutert Dr. Hanns-Rudolf Paur, der Leiter des Forschungsprojektes, die Ausgangslage (Abb. 1). „Fast alle Anlagen unterschritten die damals erlaubten Grenzwerte. Aber nur 10 Prozent der Anlagen

---

Dieses Forschungsprojekt  
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)

---

hätten die heute gültigen Anforderungen erfüllt.“ Je nach Baujahr sieht die zweite Stufe der 1. BImSchV für biomassegefeuerte Kesselanlagen mit Leistungen zwischen 4 bis 1.000 kW unterschiedliche Übergangsfristen vor. Schon jetzt besteht ein großer Bedarf für die Rauchgasreinigung. Derzeit werden nach Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe in Deutschland etwa 850.000 holzbefeuerte Kesselanlagen betrieben. Im Prinzip können Partikel-Emissionen bei der Holzverbrennung durch Optimierung der Feuerung, der Brennstoffqualität und durch Nachverbrennung kohlenstoffhaltiger Stäube minimiert werden. In der Praxis begrenzen wechselnde Brennstoffzusammensetzungen den Erfolg dieser Maßnahmen. Für viele Hackschnitzel- und Scheitholzkessel wird der Einbau von Partikel-Abscheidern erforderlich, die Abscheidegrade von 70 bis 90 Prozent aufweisen. Moderne Filtertechnologie ermöglicht es, ein breiteres Brennstoffsoriment zu nutzen. Sie wird eine erhebliche Rolle spielen, wenn mit der Energiewende auch die thermische Biomassennutzung an Bedeutung gewinnt.

### Partikel elektrisch laden und abscheiden

Der Abscheider wird direkt zwischen Heizkessel und Schornstein in den Rauchgasweg installiert. Er besteht aus einer Ionisationskammer und einer Abscheidekammer, die das Rauchgas nacheinander durchströmt (Abb. 2). In der Ionisationskammer sorgt eine Korona-Entladung an einer Hochspannungselektrode (Abb. 4) dafür, dass die Partikel im Rauchgas elektrisch aufgeladen werden. Anschließend gelangt das Rauchgas in die rohrförmige Abscheidekammer und strömt entlang einer spiralförmigen, geerdeten Stahlbürste. Die Teilchen entladen sich an den Borsten und scheiden darauf ab. Das derart gereinigte Rauchgas strömt weiter in den Kamin. Die Stahlbürste rotiert in periodischen Abständen über eine Abstreifkante und reinigt dabei die Wände der Kollektorkammer sowie ihre Borsten. Der Staub fällt in einen Aschekasten. Die Leerung des Aschekastens ist nahezu die einzige Wartungsarbeit. In der trockenen Reinigung sieht Paur besondere Vorteile: „Damit haben wir einen geringeren Installationsaufwand und es fallen nur trockene Stäube an. Wir benötigen keine behördliche Genehmigung, um rußhaltiges Reinigungswasser zu entsorgen.“ Dank der regelmäßigen Reinigung der Elektroden bleibt die Effizienz auch unter schwierigen Verbrennungsbedingungen erhalten.

Der Filter kann bei entsprechender Kaminauslegung ohne Gebläse betrieben werden. Das Konstruktionsprinzip erlaubt es, den Abscheider dem Kessel nachzuschalten oder direkt in den Kessel zu integrieren. Da keine zusätzlichen Öffnungen im Abscheider erforderlich sind, ist der Austritt von giftigen Abgasen in das Gebäude konstruktiv bedingt unmöglich.

Der Stromverbrauch für die Korona-Entladung und den Antrieb der automatischen Bürstenreinigung beträgt abhängig von der Baugröße zwischen 40 und 100 Watt.

### Auf dem Prüfstand

Der elektrostatische Feinstpartikel-Abscheider wurde an Prüfständen und in Feldversuchen über einen Zeitraum von über 30.000 Stunden betrieben. Für die Standzeit-Untersuchungen und zur Qualitätskontrolle betreiben die Forscher auf dem Gelände des KIT einen Teststand mit einem 100-kW-Hackschnitzelkessel. Er liefert bei Vollast ein Rauchgasvolumen von 350 m<sup>3</sup>

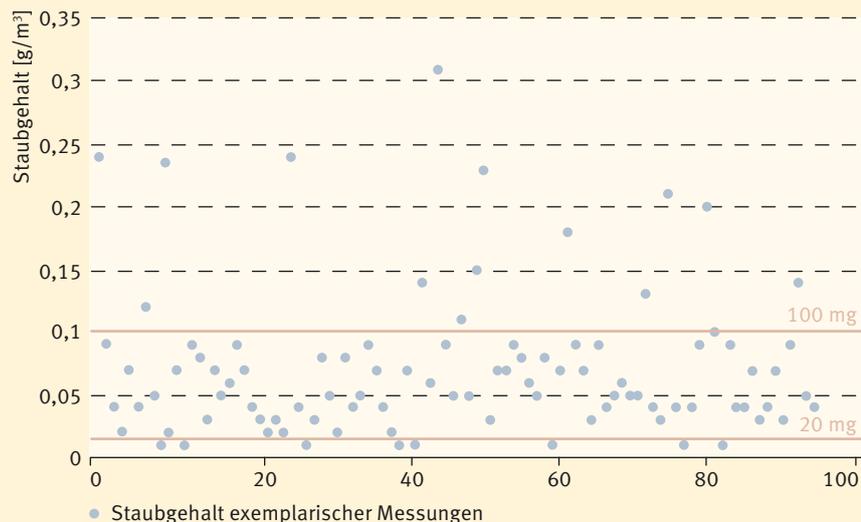
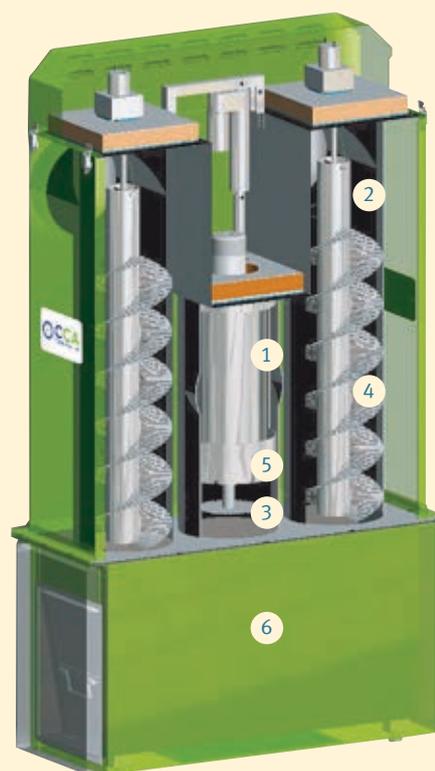


Abb. 1 Staubgehalt im Abgas bei wiederkehrenden Schornsteinfegermessungen an 94 Hackschnitzelkesseln



- 1 Ionisationskammer
- 2 Kollektorkammer
- 3 Korona-Elektrode
- 4 Stahlbürste
- 5 Reinigungseinheit
- 6 Aschekasten

Abb. 2 Aufbau der Rauchgasreinigung

pro Stunde. Es wird mit einer Temperatur von 150 bis 200 °C in die, nach der Richtlinie VDI2066 ausgelegte, Messstrecke eingespeist. Dort können bis zu drei Abscheider parallel getestet werden. Partikel- und Gasmessgeräte sowie Temperatur- und Druckfühler liefern Messwerte aus dem Rauchgasstrom vor und hinter dem Abscheider.

„Durch die Kombination der optimalen Verbrennungstechnologie unserer Kessel mit dem Abscheider werden die Grenzwerte der 1. Bundesimmissionschutzverordnung auch bei wechselnden Brennstoffqualitäten sicher eingehalten“ betont Martin Ecker, Geschäftsführer der HDG Bavaria GmbH. In zahlreichen Auslegungsversuchen optimierten die Forscher die mechanischen und elektrischen Schnittstellen, um den Abscheider mit konstruk-



## Der Markt wächst

Dank moderner Feuerungstechnik haben die Hersteller von Biomasse Feuerungsanlagen in der Vergangenheit die Partikel-Emissionen deutlich gesenkt. Um den Grenzwert der 2. Stufe der 1. BImSchV dauerhaft einhalten zu können, reichen aber diese primärseitigen Optimierungen nicht aus. Sekundäre Maßnahmen sind erforderlich. Deshalb wächst in Deutschland der Markt für Abscheidesysteme. Für den Leistungsbereich der 1. BImSchV zwischen 4 und 1.000 kW wird ein Marktvolumen von ca. 40.000 Kesselanlagen pro Jahr erwartet, die zum Teil mit Abscheidern auszustatten sind. Exportmöglichkeiten innerhalb Europas sehen die Forscher insbesondere für Italien und Österreich, da dort relevante Hersteller von Heizkesseln angesiedelt sind.



Abb. 3 Ein 100-kW-Feinstaubfilter im Feldtest



Abb. 4 Links: Prototypen des Abscheiders im Testbetrieb  
Rechts oben: Coronaentladung an der Hochspannungselektrode  
Rechts unten: Abscheider im Modell mit Ionisator und Bürste des Kollektors

tiven Anpassungen vor allem kosteneffizient mit dem Kessel zu verbinden. Die optimale Bauweise wurde anhand mehrerer Prototypen von verschiedenen Kessel-Abscheider-Kombinationen identifiziert.

### Alternative Abscheider-Technologien

Insbesondere für größere Anlagen werden bereits Abscheider angeboten. Sie arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien. Eine einfache, kostengünstige Form der Rauchgasentstaubung bietet der Zyklon-Abscheider. Dabei wird das Rauchgas tangential in ein Rohr, den Zyklon, geleitet, wodurch der Gasstrom in Rotation gerät. Der Zyklon verjüngt sich zur Auslassseite hin. Aufgrund der Drehimpulserhaltung erhöht sich mit abnehmendem

Rohrquerschnitt die Drehgeschwindigkeit. Die Fliehkräfte drängen die Staubpartikel an das Gehäuse, von wo aus sie abgeschieden werden. Bekannt ist diese Technik von beutelosen Staubsaugern. Zyklone erreichen bei sehr feinen Partikeln aus optimierten Hackschnitzkesseln jedoch nur geringe Abscheidegrade. Nachteilig für den Energieverbrauch ist zudem der hohe Druckverlust.

Mit Gewebefiltern können je nach Filtermaterial Reingaswerte von 2 bis 20 mg/m<sup>3</sup> Staub erreicht werden. Klebrige Rußpartikel führen aber zu instabilem Filterbetrieb, der aufwendige verfahrenstechnische Zusatzmaßnahmen erforderlich macht. Notwendige Brandschutzmaßnahmen erhöhen die Investitionen und der prinzipbedingte Druckverlust erhöht die Betriebskosten.

Derzeit gibt es auf dem Markt die ersten elektrostatischen Abscheider für kleine Feuerungsanlagen. Es handelt sich um trockene elektrostatische Abscheider mit und ohne integriertes Reinigungssystem. Sie unterscheiden sich von dem hier vorgestellten System insbesondere durch die Art der Abreinigung. Hier sehen sich die Forscher im Vorteil: „Die selbstständige Reinigung führt zu höheren Standzeiten und dauerhaft guten Abscheideraten“, gibt sich Paur überzeugt.

### Vom Forschungsprojekt zum Produkt

Die Forschungsarbeiten wurden im Programm „Energetische Biomassenutzung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie gefördert. Sie führten 2012 zur Gründung eines Unternehmens, das die Abscheide-technologie zur Marktreife weiterentwickelte. Nach zahlreichen Tests erteilte das Deutsche Institut für Bau-technik (DIBt) im Sommer 2015 die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die patentierten Abscheider. Begleitet wurde die Überprüfung vom Technischen Überwachungsverein (TÜV). Dieser bestätigte unter anderem den hohen Abscheidegrad, die elektrische Sicherheit und die Rußbrandbeständigkeit. Der Abscheider ist damit der erste trockene Partikelabscheider mit vollautomatischer Reinigung, der für Holzgefeuere Kesselanlagen im Leistungsbereich von 50 bis 200 kW am deutschen Markt zugelassen ist. Mittlerweile produziert die neugegründete CCA – Carola Clean Air GmbH elektrostatische Partikelabscheider für private und industrielle Anlagen mit einer Leistung zwischen 25 und 1.000 kW.



## Kleine Partikel machen große Probleme

Bessere Verbrennungssysteme und Filtertechnik in Industrie und Verkehr haben die Luftbelastung durch Staub seit den 80er Jahren zwar stark reduziert. Dennoch ist die Energienutzung eine Hauptquelle von Feinstaubemissionen geblieben. Die zunehmende Verbrennung von Biomasse in Heizungsanlagen ohne Filtersysteme besorgt die Umweltmediziner.

Für die Wirkung des Staubes auf die menschliche Gesundheit spielen die chemische Zusammensetzung und die Partikelgröße eine entscheidende Rolle. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist darauf hin, dass Feinstaub die durchschnittliche Lebenserwartung in Deutschland um 10,2 Monate reduziert. Größere Partikel werden vor allem im Nasen-Rachen-Raum und in den oberen Bronchien abgeschieden. Ultrafeine Partikel ( $>100$  nm) dringen sogar tief in den menschlichen Atemtrakt und teilweise sogar in die Blutbahn ein. Sie verbleiben im Mittel über ein Jahr in den Lungenbläschen und verursachen Entzündungen, schädigen die DNA und verursachen Gefäßverengungen.

Deshalb unterscheidet die Umweltgesetzgebung nach Partikelgröße: Für die größte Fraktion (PM<sub>10</sub> bis 10  $\mu$ m) beträgt der Tagesgrenzwert 50  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. Dieser darf nicht öfter als 35 Mal im Jahr überschritten werden. Der zulässige Jahresmittelwert beträgt 40  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. In vielen Großstädten gelingt es derzeit nicht, diese Bestimmungen einzuhalten. Für kleinere Partikel (PM<sub>2,5</sub>) liegt der Grenzwert bei 25  $\mu$ g/m<sup>3</sup> im Jahresmittel und ab 2020 bei 20  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. Die WHO stuft sogar nur Konzentrationen unter 10  $\mu$ g/m<sup>3</sup> als unbedenklich ein!

Die Zusammenhänge zwischen den Partikelemissionen, ihrer Verweilzeit im menschlichen Körper und ihren biologischen Wirkungen sind Gegenstand intensiver Untersuchungen. In epidemiologischen Studien und in Tierversuchen erforschen Wissenschaftler systemische Effekte wie die Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Zunehmend nutzen sie auch Zellkulturen. Dort können sie in sehr frühem Stadium Veränderungen der metabolischen Vorgänge in Zellen nachweisen.

Eine 2016 veröffentlichte Studie untersuchte die Todesursachen von Menschen in Hongkong. Feinstaub erhöhte in dem Ballungsraum das Sterberisiko durch Krebs an Leber, Pankreas oder Gallenblase um 35 Prozent. Bei Frauen war das Risiko, an Brustkrebs zu sterben, sogar um 80 Prozent erhöht. Die Forscher schließen daraus, dass Feinstaub in Großstädten weltweit möglichst rasch und möglichst stark reduziert werden muss.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Chemie, Karlsruhe, Dr. Hanns-Rudolf Paur, paur@kit.edu
- » **Biomassekesselhersteller – Adaption der Abscheider HDG-Hackschnitzelkessel:** HDG-Bavaria GmbH, Massing, Martin Ecker, martin.ecker@hdg-bavaria.com
- » **Entwicklung der Carola-Partikelabscheider:** CCA – Carola Clean Air GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, Dr. Hans-Peter Rheinheimer (CCA), rheinheimer@carola-clean-air.com

## Links und Literatur

- » Paur, H.-R.; Ecker, M.; Rheinheimer, H.-P.: Elektrostatischer Feinstpartikelabscheider zur flexiblen Anpassung an Biomassekessel. Abschlussbericht. FKZ 03KB083A/B/C. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Institut für Technische Chemie (Hrsg.); HDG-Bavaria GmbH, Massing im Rottal (Hrsg.); CCA-Carola Clean Air GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen (Hrsg.). August 2015

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Aluminiumfolie entfetten mit Koronabehandlung. BINE-Projektinfo 04/2013
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_06\\_2016](http://www.bine.info/Projektinfo_06_2016)

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

Projektorganisation  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Lena Panning  
52425 Jülich

Förderkennzeichen  
03KB083A-C

ISSN  
0937-8367

Herausgeber  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor  
Dr. Franz Meyer

Urheberrecht  
Abb. 1: HDG Bavaria  
Abb. 4 links: KIT  
Titelbild und alle weiteren Abbildungen:  
CCA – Carola Clean Air GmbH  
Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages