

# Feinstaubminderung bei Agrarbrennstoffen

Reduzierung von Emissionen und Schlacke durch Zugabe von Kaolin

von ROBERT MACK, DR. DANIEL KUPTZ und CLAUDIA SCHÖN: **Agrarbrennstoffe sind bei der Verbrennung aus zwei Gründen als anspruchsvoll zu bewerten: Sie enthalten verglichen mit Holz deutlich mehr aerosolbildende Elemente, was zu hohen Feinstaubemissionen führt. Auch haben sie einen niedrigen Ascheschmelzpunkt, was zu mechanischen Problemen aufgrund von Schlackebildung bis hin zum kompletten Ausfall der Anlage führen kann. Eine Mischung der Brennstoffe mit dem fein vermahlenden Tonmineral Kaolin bietet den Vorteil, dass dieses sowohl den Hauptanteil der Aerosolbildner, d. h. das Element Kalium, in der Asche binden als auch die Ascheerweichungstemperatur erhöhen kann. Verbrennungsversuche am Technologie- und Förderzentrum bestätigten, dass die Zugabe von Kaolin bei fast allen untersuchten Brennstoffen zu einer deutlichen Feinstaubminderung führte. Auch das Ascheschmelzverhalten wurde in den meisten Fällen positiv beeinflusst.**

Bis zum Jahr 2030 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in der EU mindestens 27 Prozent betragen [1]. Die Wärme- und Kälteproduktion macht ca. 50 Prozent des Primärenergieverbrauchs der EU aus. Davon werden rund 75 Prozent nach wie vor mit fossilen Energieträgern gedeckt [1]. Um den Anteil an erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch von 27 Prozent zu erfüllen, sollten also auch im Wärmesektor fossile Brennstoffe verstärkt durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Hauptenergieträger der erneuerbaren Wärme ist dabei das Holz. Das Potenzial an holziger Biomasse zum Ausbau der Wärmeengewinnung ist allerdings begrenzt [2]. Deshalb ist es wichtig, weitere Brennstoffe, wie z. B. Agrarbrennstoffe, für den Einsatz in kleinen (unter 500 kW<sub>th</sub>, v. a. Haushalte und Gewerbe) bis mittelgroßen (0,5 bis 10 MW<sub>th</sub>, v. a. Gewerbe und Industrie) Biomassefeuerungen verfügbar bzw. verwertbar zu machen. Allerdings sind die meisten Agrarbrennstoffe aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Brennstoffqualität sehr anspruchsvoll für die emissionsarme und störungsfreie Verbrennung.

Im Rahmen des europäischen ERA-NET-Projektes BIOFLEX! werden Lösungsansätze erarbeitet, eine breitere Palette an Biobrennstoffen sauber und effizient zu verbrennen. Die Arbeiten am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) werden mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert. Im Fokus der Untersuchungen liegt dabei die Mischung bzw. Additivierung der Brennstoffe mit dem Tonmineral Kaolin. Die verwendeten Agrarbrennstoffe umfassen Pappel aus dem Kurzumtrieb,

Weizenstroh, Sonnenblumenspelzen und Gras. Die Brennstoffe wurden jeweils zerkleinert, mit Kaolin versetzt und anschließend am TFZ pelletiert. Im Anschluss kamen die Pellets in eine 30 kW Treppenrostfeuerung, die sowohl für Hackschnitzel als auch für Pellets geeignet ist. Die bei der Verbrennung freigesetzten Schadstoffemissionen wurden direkt gemessen.

## Technische Ansätze zur Brennstoffflexibilisierung

Viele Agrarbrennstoffe sind bei der Verbrennung in kleinen bis mittelgroßen Anlagen deshalb als „schwierig“ zu bewerten, weil sie z. B. verglichen mit Holz einen niedrigeren Energiegehalt, einen höheren Aschegehalt, einen höheren Gehalt an „aerosolbildenden“, d. h. Feinstaub erzeugenden Elementen und eine niedrigere Ascheerweichungstemperatur aufweisen. Daher führen diese Brennstoffe in konventionellen Feuerungsanlagen häufig zu Problemen wie z. B. zu Anlagenausfällen, Korrosion oder der Überschreitung von Emissionsgrenzwerten.

Generell stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, kleine bis mittelgroße Anlagen für den Einsatz schwieriger Brennstoffe zu optimieren (Flexibilisierung). Zunächst lässt sich die Feuerung technisch anpassen. Man unterscheidet hier:

- ▮ Die primärseitige Optimierung von Feuerungsanlagen, z. B. durch Anpassungen an der Feuerraumgeometrie, der Luftführung, der Abgasrezirkulation oder der Rostkühlung. Die primärseitige Optimierung von Feuerungsanlagen kommt eigentlich nur für die Entwicklung neuer Anlagen in Betracht.

Die Verwendung von sogenannten Sekundärmaßnahmen wie z. B. von Elektroabscheidern, Tiefenfiltern oder SCR/ SNCR-Anlagen (Selective Catalytic Reduction/Selective Non Catalytic Reduction). Sekundärmaßnahmen sind prinzipiell auch für Bestandanlagen nachrüstbar, aber meist teuer und oftmals ist eine Nachrüstung auch aus Platzgründen nicht möglich.

Die Beeinflussung der physikalischen und chemischen Brennstoffeigenschaften bietet die Möglichkeit, das Emissionsverhalten und das Ascheschmelzverhalten von Brennstoffen unabhängig von der verwendeten Feuerungstechnik zu optimieren. Dies kann gerade für Bestandanlagen sinnvoll sein, bei denen z. B. aus Platzgründen keine Realisierung von Sekundärmaßnahmen möglich ist. Neben der Optimierung der physikalischen Brennstoffparameter z. B. durch Trocknen, Sieben, Hacken oder Pelletieren, lassen sich durch gezielte Zugabe sogenannter Additive die chemische Brennstoffzusammensetzung verändern oder die chemischen Umwandlungsprozesse während der Verbrennung positiv beeinflussen.

**Warum Kaolin – und wirkt es?**

Die aus einschlägiger Literatur bekannten aerosolbildenden Elemente sind die Alkalimetalle Kalium (K) und Natrium (Na), die Spurenelemente Zink (Zn) und Blei (Pb) sowie Schwefel (S) und Chlor (Cl) [3] [4] [5]. Am relevantesten ist bei der Verbrennung von Biomasse das Kalium (K), welches häufig mehr als 90 Prozent der aerosolbildenden Elemente ausmacht [2]. K wird bei den hohen Temperaturen einer Verbrennung größtenteils als Kaliumhydroxid (KOH) und Kaliumchlorid (KCl) in die Gasphase freigesetzt. Auch kleinere Mengen an Kaliumsulfat (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) und Kaliumcarbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) können freigesetzt werden [6]. Alle diese Verbindungen tragen zur Feinstaubbildung bei.

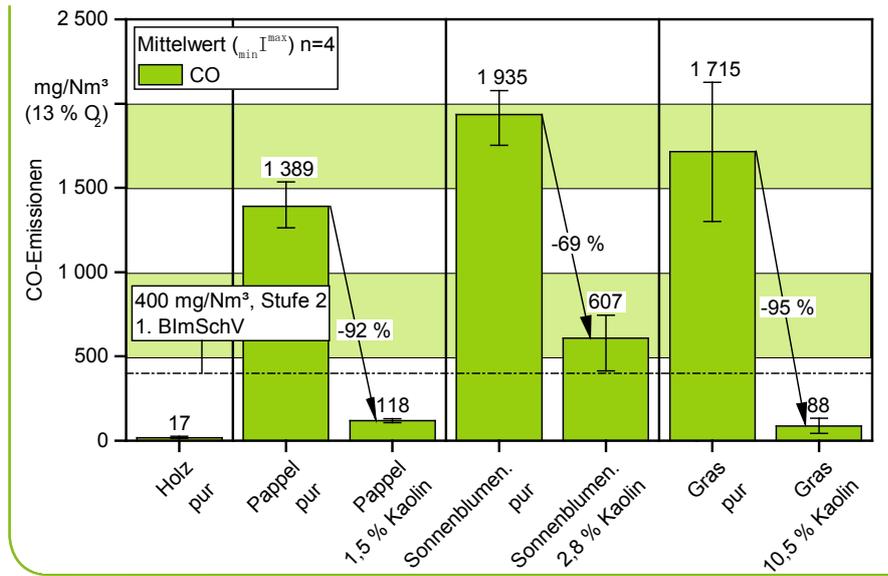


Abbildung 1: CO-Emissionen von Holzpellets im Vergleich zu Pappel-, Sonnenblumenspelzen- und Graspellets als pure und additierte Variante in einer 30 kW Treppenrostfeuerung

Das verwendete Additiv Kaolin ist ein Tonmineral und besteht zum größten Teil aus dem Mineral Kaolinit (Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(OH)<sub>4</sub>). Alkalimetalle wie Kalium können in Anwesenheit von Kaolinit zu schwerschmelzenden kristallinen Verbindungen wie Kalsilit (KAlSiO<sub>4</sub>) oder zu Leucit (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>6</sub>) reagieren [5] [6]. Als Folge bilden sich kaum Aerosole (Feinstaubpartikel). Stattdessen wird das K in der Asche fixiert.

**Auswirkungen auf Kohlenstoffmonoxid und Feinstaub**

Abbildung 1 zeigt die gemessenen Kohlenstoffmonoxidemissionen (CO) für handelsübliche Holzpellets im Vergleich

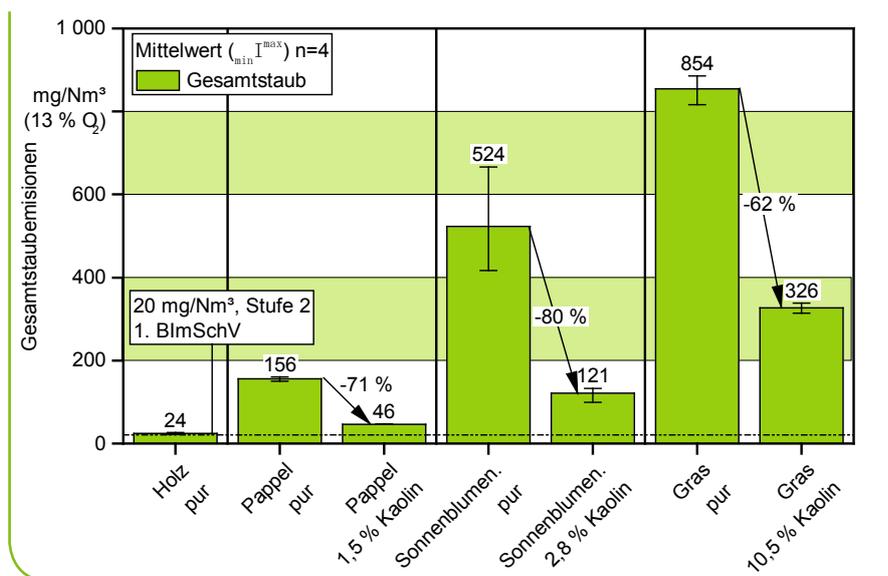


Abbildung 2: Gesamtstaubemissionen von Holz- im Vergleich zu Pappel-, Sonnenblumenspelzen- und Graspellets als pure und additierte Varianten in einer 30 kW Treppenrostfeuerung



▣ Bild 1: Schlackebrocken blockieren den Rost und die Ascheabfuhr bei der Verbrennung von reinen Weizenstrohpellets (Foto: Elisabeth Rist)

zu Pappel-, Sonnenblumenspelten-, und Graspellets in purer und in additiverter Form. Bei der Messung mit Holzpellets wurden mittlere CO-Emissionen von  $17 \text{ mg/Nm}^3$  gemessen. Diese liegen damit deutlich unter dem CO-Grenzwert der Stufe 2 der 1. BImSchV (1. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes) für Feuerungen unter  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  ( $400 \text{ mg/Nm}^3$ ) [7]. Im Gegensatz dazu lagen die CO-Emissionen der reinen Agrarbrennstoffe zwischen  $1389 \text{ mg/Nm}^3$  (Pappel) und  $1935 \text{ mg/Nm}^3$  (Sonnenblumenspelzen) und damit deutlich über dem derzeitigen Grenzwert. Durch die Additivierung mit Kaolin verringerten sich die CO-Emissionen um 92 Prozent bei Pappel, 69 Prozent bei Sonnenblumenspelzen und 95 Prozent bei Gras. Als Grund für die starke CO-Minderung wird ein katalytischer Effekt des Kaolins vermutet. Die CO-Emissionen der additivierten Pappel- und Graspellets lagen damit ebenfalls deutlich unter dem Grenzwert der 1. BImSchV.

Die Gesamtstaubemissionen, die mit Holzpellets gemessen wurden, lagen bei  $24 \text{ mg/Nm}^3$  und damit bereits knapp oberhalb des derzeitigen Grenzwertes der Stufe 2 der 1. BImSchV ( $20 \text{ mg/Nm}^3$  für Neuanlagen  $< 1 \text{ MW}_{\text{th}}$ , *Abbildung 2*). Für reine Pappelpellets lagen diese bei  $156 \text{ mg/Nm}^3$ , also bei dem 6,5-fachen Wert der Holzpellets. Für Sonnenblumenspelzenpellets stiegen die Gesamtstaubemissionen auf  $524 \text{ mg/Nm}^3$  (22-fach) und für Graspellets auf  $854 \text{ mg/Nm}^3$  (36-fach). Durch die Additivierung mit Kaolin ließen sich die Gesamtstaubemissionen im Vergleich mit den reinen Brennstoffen um

62 bis 80 Prozent senken. Allerdings reichte diese deutliche Reduzierung des Gesamtstaubs noch nicht aus, um den Grenzwert von  $20 \text{ mg/Nm}^3$  zu unterschreiten. Hierzu wären weitere Maßnahmen wie z. B. die Verwendung eines Elektroabscheiders empfehlenswert. Elektroabscheider haben in der Praxis typische Abscheidewerte von ca. 70 bis 80 Prozent. Folglich wäre die alleinige Verwendung eines Elektroabscheiders auch noch nicht ausreichend, um die Staubfrachten der reinen Agrarbrennstoffe ausreichend zu verringern. Die Verbindung von Elektroabscheidern mit Kaolin-additivierten Pellets kann dagegen helfen, den Grenzwert für Staub bei Agrarbrennstoffen einzuhalten, da durch die Additivierung bereits abgesenkte Staubfrachten im Abgas vorhanden sind. Gleichzeitig hilft Kaolin, den Grenzwert für CO einzuhalten.

### Positiver Effekt auf das Ascheschmelzverhalten

Häufig machen Agrarbrennstoffe bei der Verbrennung Probleme durch die sogenannte Verschlackung der Asche. Das passiert dann, wenn die Ascheerweichungstemperatur im Bereich oder unterhalb der in der Brennkammer vorherrschenden Temperaturen liegt. Dann beginnt die Asche zu erweichen oder im schlimmsten Fall sogar zu schmelzen [2]. Wird die Asche dann z. B. durch den Rost in kältere Bereiche des Brennraums geleitet, erstarrt diese und bildet harte Ascheklumpen, die sogenannte Schlacke. Hier zeigte sich die Verbrennung von reinen Weizenstrohpellets als besonders problematisch. Aufgrund von extremer Schlackebildung (*siehe Bild 1*) während des Feuerungsversuches musste der Kessel nach etwa drei Stunden Messbetrieb frühzeitig abgeschaltet werden. Mit den additivierten Weizenstrohpellets konnte die komplette Messung dahingehend über 8 h ohne Störung durchgeführt werden.

Die Schlackeklumpen, die bei der Verbrennung von reinem Weizenstroh entstanden, wiesen maximale Längen von ca. 18 cm und maximale Breiten von ca. 8 cm auf (*siehe Bild 2, links*). Bei der Verbrennung von Weizenstroh mit



▣ Bild 2: Schlackebrocken bei der Verbrennung von reinem Weizenstroh (links) und von Weizenstroh mit 3,45 Prozent Kaolin (rechts) (Foto: Elisabeth Rist)

3,45 Prozent Kaolin lag die maximale Länge der Schlackeklumpen bei nur noch ca. 8 cm und die Breite bei ca. 5 cm (siehe Bild 2, rechts). Außerdem waren die Schlackebrocken der additivierten Weizenstrophpellets wesentlich heller und poröser, d. h. instabiler als die der reinen Weizenstrophpellets.

Die Additivierung mit Kaolin hatte auf alle der getesteten Agrarbrennstoffe bis auf Gras einen positiven Einfluss hinsichtlich der Schlackebildung. Das bedeutet, dass die Additivierung mit Kaolin neben der Senkung der CO- und Gesamtstaubemissionen auch zu einer Verbesserung der Betriebssicherheit der Feuerungsanlage führen kann.

### Nachteile der Additivierung mit Kaolin

Durch die Bindung des Kaliums in der Asche werden bei Brennstoffen mit hohen Gehalten an Schwefel und Chlor deutlich mehr Salzsäure (HCl) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) ausgestoßen. So lagen die HCl-Emissionen bei Pellets aus Sonnenblumenspelzen mit Kaolin rund zwölfmal und bei Gras mit Kaolin rund 200-mal höher als bei den reinen Brennstoffen. Bei den SO<sub>2</sub>-Emissionen wurde für die additivierten Sonnenblumenspelzenpellets rund der 13-fache und für Gras rund der 24-fache Wert gemessen. Neben den Emissionen an HCl und SO<sub>2</sub> steigt dabei auch die Gefahr der Anlagenkorrosion. Bei Brennstoffen mit niedrigen Cl- und S-Gehalten wie Pappelholz zeigte sich dagegen weder eine Auswirkung auf die HCl- noch auf die SO<sub>2</sub>-Emissionen. Deshalb könnte die Additivierung gerade für Brennstoffe aus dem Kurzumtrieb wie Pappel oder Weide interessant sein.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Erhöhung des Aschegehalts bei der Zugabe von Kaolin. Das Tonmineral selbst weist einen Aschegehalt von über 80 Prozent auf. Vor allem hohe Kaolinzugaben mit 10,5 Gewichtsprozent wie sie z. B. bei Gras sinnvoll sind, führen somit zu einer deutlichen Erhöhung des Aschegehalts. Folglich muss der Kessel wesentlich häufiger entascht werden.

Auch der Einfluss des Kaolins auf die Pelletierung ist noch nicht abschließend geklärt. Die Pellets konnten zwar auch mit Kaolin in zufriedenstellender Qualität am TFZ hergestellt werden, es gibt aber Hinweise auf eine erhöhte Abnutzung der Pelletieranlage. Eine mögliche Alternative stellt die Zugabe des Additivs direkt zu den fertigen Pellets dar, so dass Kaolin nachträglich untergemischt wird. Hier wurden mit einer zusätzlichen Zudosierung von Kaolin in die Brennstoffförderschnecke des verwendeten Kessels bereits erste vielversprechende Wirkungen erzielt.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des TFZ die großen Möglichkeiten aber auch Herausforderungen, welche die Additivierung von Agrarpellets mit Kaolin mit sich bringt. Bevor es zu der Anwendung dieser Technik in der Praxis kommt, muss für den jeweiligen Anwendungsfall aber noch geklärt werden, ob die Verbrennung von Agrar-

### Infobox: Verschlackung

Als Verschlackung bezeichnet man geschmolzene und anschließend wieder erstarrte Asche, die meist in Form größerer fester Brocken vorliegt.

Einflussfaktoren auf die Schlackebildung bei der Verbrennung von Biomasse:

- Kalzium und Magnesium erhöhen die Ascheerweichungstemperatur.
- Hohe Gehalte von Silizium in Kombination mit Kalium senken die Ascheerweichungstemperatur.
- Durch die Zugabe kalziumhaltiger Zuschlagstoffe (z. B. dolomitischer Kalk) und vor allem von alkalienbindender Hilfsstoffe (z. B. Kaolin) kann der Ascheerweichungspunkt angehoben werden.
- Auch durch Auswaschen des Kaliums (z. B. durch Niederschläge auf Stroh bei Bodentrocknung) erhöht sich der Ascheerweichungspunkt.
- Typische Ascheerweichungstemperaturen:
  - Holz mit Rinde: 1 300 bis 1 400 °C
  - Getreidestroh: 900 bis 950 °C
  - Getreidekörner: unter 900 °C

Mehr Information unter:

<http://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe>

brennstoffen mit oder ohne Kaolin in der jeweiligen Feuerung rechtlich überhaupt zulässig ist. Die Verwendung von Agrarbrennstoffen, egal ob mit oder ohne Additiv in kleinen Holzfeuerungen (unter 100 kW<sub>th</sub>) ist ohne eine spezielle Kesselzulassung für solche nicht-holzigen Brennstoffe unzulässig. Bei Kleinfeuerungsanlagen, die ab 2010 errichtet wurden, muss eine entsprechende Typenprüfung des Kessels für Agrarbrennstoffe vorliegen. Größere Anlagen benötigen dagegen eine entsprechende Einzelgenehmigung der zuständigen Behörde.

Literatur bei den Autoren.

**ROBERT MACK**  
**DR. DANIEL KUPTZ**  
**CLAUDIA SCHÖN**

TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM  
IM KOMPETENZZENTRUM FÜR  
NACHWACHSENDE ROHSTOFFE  
robert.mack@tfz.bayern.de  
daniel.kuptz@tfz.bayern.de  
claudia.schoen@tfz.bayern.de

