

Holzpellets

Qualitätsparameter und deren Wirkung

von ROBERT MACK, CLAUDIA SCHÖN und DR. HANS HARTMANN: **Holzpellets der Qualitätsklasse A1 sind der derzeit am konsequentesten normierte Holzbrennstoff. Trotzdem weisen auch solche Pellets in der Feuerung ein deutlich unterschiedliches Emissions- und Ascheschmelzverhalten auf. Dies liegt vor allem daran, dass verschiedene Brennstoffkenndaten in der Normung gar nicht betrachtet werden. Doch deren verbrennungstechnische Bedeutung ist erheblich, sie wurde jetzt in umfangreichen Untersuchungen am TFZ in Kooperation mit BIOS mit marktverfügbaren und speziell hergestellten Holzpellets an mehreren Pelletfeuerungen nachgewiesen. Wenn daraus neue und erweiterte Brennstoffanforderungen abgeleitet werden sollen, sind entsprechende Schnellbestimmungsmethoden und vereinfachte Analyseverfahren erforderlich.**

Innerhalb der biogenen Festbrennstoffe stellen Holzpellets die am konsequentesten normierte Handelsform dar. Die Anforderungen an Holzpellets sind durch die DIN EN ISO 17225-2 [1] festgelegt, und außerdem gibt es Zertifizierungssysteme (ENplus [2] und DINplus [3]), in denen sogar über die derzeit gültige Norm hinausgehende Anforderungen gestellt werden. Zudem dürfen in Deutschland nach der 1. BImSchV in Kleinfeuerungsanlagen nur Pellets der Klasse A1 verwendet werden, was die Bandbreite der jeweiligen Brennstoffparameter weiter eingrenzt. Die derzeit von der Norm bzw. den Zertifizierungsprogrammen gestellten Qualitätsanforderungen an A1-Pellets sind in der *Infobox 1* gegenübergestellt.

Angesichts einer solchermaßen klar vorgegebenen Einschränkung der Qualitätsschwankungen wie bei der Holzpelletklasse A1 nach ENplus oder DINplus sollten auch die Schadstoffemissionen einer gut gewarteten Pelletsfeuerung gleichbleibend niedrig sein, möchte man vermuten. Doch trotz dieser Qualitätsvorgaben ist bei den Emissionen aus Pelletöfen [4] aber auch aus Pelletkesseln [5] eine Bandbreite bei der Schadstoffbildung mit Holzpellets der A1 Klasse festgestellt worden. Wie lassen sich diese Auswirkungen trotz der Reglementierung des Brennstoffs erklären? Die in der Brennstoffnorm genannten Parameter (*siehe Infobox 1*) lieferten hierfür bisher keine Erklärung.

Um dieser Frage nachzugehen, wurden in dem Forschungsprojekt „FuturePelletSpec“ in Zusammenarbeit mit BIOS Bioenergiesysteme GmbH und dem Deutschen Pelletinstitut 28 marktverfügbare Holzpelletssortimente als Sackware sowie zusätzlich 31 weitere Versuchspellet-Chargen mit klar definierten Eigenschaften (z. B. Pelletlänge, Additivzugabe, bekannte Holzart) in Verbrennungstests mit zwei Pelletöfen und teilweise auch noch an zwei Pelletkesseln untersucht. Zusätzlich zu den von der Norm abgedeckten Brennstoffparametern wurden weitere umfangreiche Brennstoffanalysen durchgeführt, um eine Erklärung für die teils

starken Unterschiede im Emissionsverhalten zu finden. Im Folgenden soll auf die Ergebnisse der Tests mit den marktverfügbaren Holzpellets an den beiden Pelletöfen eingegangen werden. Die ausführlichen Ergebnisse des Projekts stehen ab der zweiten Jahreshälfte 2021 auf der TFZ Homepage (www.tfz.bayern.de) zum Download zur Verfügung.

Highlights aus den Brennstoffanalysen

Unter den 28 untersuchten marktgängigen Sortimenten kam es in zwei Fällen zu einer leichten Überschreitung des maximal zulässigen Aschegehalts von 0,7 m-%. Ansonsten lag der Aschegehalt meist deutlich unter dem Maximalwert, denn in 24 Fällen betrug er sogar weniger als 0,5 m-%. In einem Fall lag der Gehalt an Feinmaterial (d. h. bis 3,15 mm Siebgröße) über dem Grenzwert von 1,0 m-% und in zwei Fällen wurde die geforderte mechanische Festigkeit von mindestens 97,5 m-% nicht erreicht. Insgesamt erfüllten 3 von 28 Sortimenten trotz entsprechender Deklaration nicht die Anforderungen der Norm in der Qualitätsklasse A1.

Neben den Parametern, die in der Norm limitiert sind, wurden der Laubholzanteil mittels NIR (Nahinfrarotspektroskopie), der Kaliumgehalt, der Siliziumgehalt, der Stärkegehalt sowie der Anteil an gebildeten Karbonaten im Rückstand der Aschegehaltsbestimmung untersucht. Laut NIR-Analyse wiesen fünf Sortimente zwischen 5 und 45 m-% Laubholzanteil auf, obwohl diese teilweise als 100 Prozent Nadelholz deklariert waren. Diese Ergebnisse werden von den Kaliumgehalten aus den Elementanalysen gestützt, die bei diesen Sortimenten (599 bis 1 020 mg/kg) im Vergleich zu den Nadelholzpellets (372 bis 500 mg/kg) teilweise deutlich erhöht waren. Kalium ist bei der Pelletverbrennung in Kleinfeuerungen das mit Abstand relevanteste Element hinsichtlich der Bildung anorganischer Feinstaubemissionen und ist somit zu einem großen Teil für die Gesamtstaubemission verantwortlich.

Aus den Elementgehalten von Silizium (Si) und Kalium (K) lässt sich das molare Si/K-Verhältnis errechnen, ein hoher Wert lässt eine gute Einbindung des Kaliums in die Bettasche erwarten. Bei einem niedrigen Si/K-Verhältnis geht das Kalium dagegen bei hohen Temperaturen verstärkt in

die Gasphase über und wird so zum Vorläufer für Feinstaubbildungsreaktionen, z. B. entstehen feinste Kaliumsalze, die mit dem Abgas emittiert werden. Silizium kann in Kombination mit Kalium aber auch die Ascheerweichungstemperatur senken und so zur Verschlackung der Asche im Feuerraum

Infobox 1: Brennstoffanforderungen an Holzpellets der Qualitätsklasse A1¹

Eigenschaftsklasse	DIN EN ISO 172252 A1	DINplus (Stand 2015)	ENplus A1 (Stand 2015)
Herkunft und Quelle	Stammholz, chemisch unbehandelte Holzrückstände	k. A.	Stammholz, chemisch unbehandelte Rückstände aus der Holzindustrie
Durchmesser d [mm]	6 ± 1 oder 8 ± 1	6 ± 1 oder 8 ± 1	6 ± 1 oder 8 ± 1
Länge l [mm]	3,15 ≤ l ≤ 40 ¹	3,15 ≤ l ≤ 40	3,15 ≤ l ≤ 40
Wassergehalt [m-%]	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Aschegehalt (d) [m-%]	≤ 0,7	≤ 0,7	≤ 0,7
Mech. Festigkeit [m-%]	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 98,0
Feinanteil [m-%]	≤ 1,0	≤ 1,0 (Schüttgut) ≤ 0,5 (Sackware bis 20 kg)	≤ 1,0 (Schüttgut) ≤ 0,5 (Sackware)
Additive (d) [m-%]	≤ 2 Art und Menge sind anzugeben	≤ 2 Art und Menge sind anzugeben	≤ 2 ²
Heizwert Hu (a.r.) [MJ/kg]	≥ 16,5	≥ 16,5	16,5 ≤ Hu ≤ 19,2
Schüttdichte BD (a.r.) [kg/m ³]	≥ 600	600 ≤ BD ≤ 750	600 ≤ BD ≤ 750
Stickstoff (d) [m-%]	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3
Schwefel (d) [m-%]	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,04
Chlor (d) [m-%]	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,02
Arsen (d) [mg/kg]	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium (d) [mg/kg]	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Chrom (d) [mg/kg]	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Kupfer (d) [mg/kg]	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Blei (d) [mg/kg]	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Quecksilber (d) [mg/kg]	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Nickel (d) [mg/kg]	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zink (d) [mg/kg]	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ascheschmelzverhalten [°C]	Sollte angegeben werden	Erweichungstemperatur ≥ 1 200	Erweichungstemperatur ≥ 1 200

d = wasserfrei („dry“), a.r. = im Anlieferungszustand („as received“), m-% = Masseprozent.

¹ Anforderungen an Holzpellets der Qualitätsstufe A1 laut einschlägiger Normen und möglicher Zertifizierungen (1)(2)(3).

² Die Masse an Pellets > 40 mm darf 1 m-% betragen. Überlange Pellets müssen ≤ 45 mm sein.

³ Die Menge der Additive in der Produktion ist auf 1,8 m-% beschränkt, die Menge der Additive, die nach der Produktion eingesetzt werden (z. B. Beschichtungsöle) ist auf 0,2 m-% beschränkt.

Mehr Information unter <http://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe>

führen, die sich negativ auf die Verbrennung auswirkt, da es dann zu Strahlenbildungen kommt. Das molare Si/K-Verhältnis lag für die meisten Sortimente deutlich unter 1, aber für vier Sortimente zwischen 1,3 und 2,4. Erhöhte Siliziumgehalte deuten entweder auf die Verwendung bestimmter Holzarten, einen erhöhten Rindenanteil oder auf eine mineralische Verunreinigung des Brennstoffs hin, z. B. durch Mineralbodeneintrag [6].

Der Karbonatanteil des im Zuge der Bestimmung des Aschegehalts bei 550 °C veraschten Brennstoffs gibt Hinweise, wie viel Karbonate (z. B. Kaliumkarbonat, Calciumkarbonat, Magnesiumkarbonat) bei der Verbrennung der Biomasse möglicherweise gebildet werden. Karbonate weisen einen relativ niedrigen Schmelzpunkt auf und können das Ascheschmelzverhalten daher negativ beeinflussen. Im Mittel lag der Karbonatanteil der untersuchten veraschten Proben mit 0,09 m-% in einem eher niedrigen Bereich. Zwei der untersuchten Sortimente wiesen einen vergleichsweise hohen Karbonatanteil in der Asche von 0,18 bzw. 0,22 m-% auf.

Bandbreite der Emissionen von A1 Pellets an Pelletöfen

Alle 28 als ENplus A1 deklarierten Pelletsortimente (S.) wurden im Pelletofen 2 (6 kW) und 23 im Pelletofen 1 (8 kW) nach circa einer Stunde Aufheizphase über eine weitere Stunde im Vollastbetrieb verbrannt und hinsichtlich des

Emissionsverhaltens untersucht. Dabei wurden bei Pelletofen 1 fünf Staubemissionsmessungen über jeweils 15 Minuten und bei Pelletofen 2 aufgrund seiner stündlichen Brennertopfreinigung vier Staubemissionsmessungen über 14 Minuten durchgeführt. Die Auswertung der gasförmigen Emissionen erfolgte für dieselben Zeiträume, so dass die folgenden Diagramme Mittelwerte aus diesen fünf bzw. vier Messperioden pro Testlauf darstellen. Für Pelletfeuerungen sind nur Grenzwerte für Kohlenmonoxid (CO) und Gesamtstaub in der 1. BImSchV festgelegt. Wegen des höheren öffentlichen Interesses und der Gesundheitsrelevanz wird hier nur auf die Gesamtstaubemissionen eingegangen.

Die Gesamtstaubemissionen der beiden Pelletöfen sind in *Abbildung 1* dargestellt. Für Pelletofen 1 liegen die Gesamtstaubemissionen zwischen 45 mg/Nm³ (S. Nr. 19) und 246 mg/Nm³ (S. Nr. 8). Im Mittel über alle 23 untersuchten Sortimente liegen die Gesamtstaubemissionen damit bei Pelletofen 1 bei 121 mg/Nm³. Für Pelletofen 2 liegen die Gesamtstaubemissionen zwischen 22 mg/Nm³ (S. 25) und 58 mg/Nm³ (S. 6) und damit für die meisten Brennstoffe signifikant niedriger als bei Pelletofen 1. Im Mittel über alle im Pelletofen 2 untersuchten Sortimente liegen die Gesamtstaubemissionen bei 35 mg/Nm³ und damit nur bei 30 Prozent der mittleren Staubemissionen von Pelletofen 1. Sowohl die niedrigsten als auch die höchsten gemessenen Gesamtstaubemissionen liegen für beide Pelletöfen für unterschiedliche

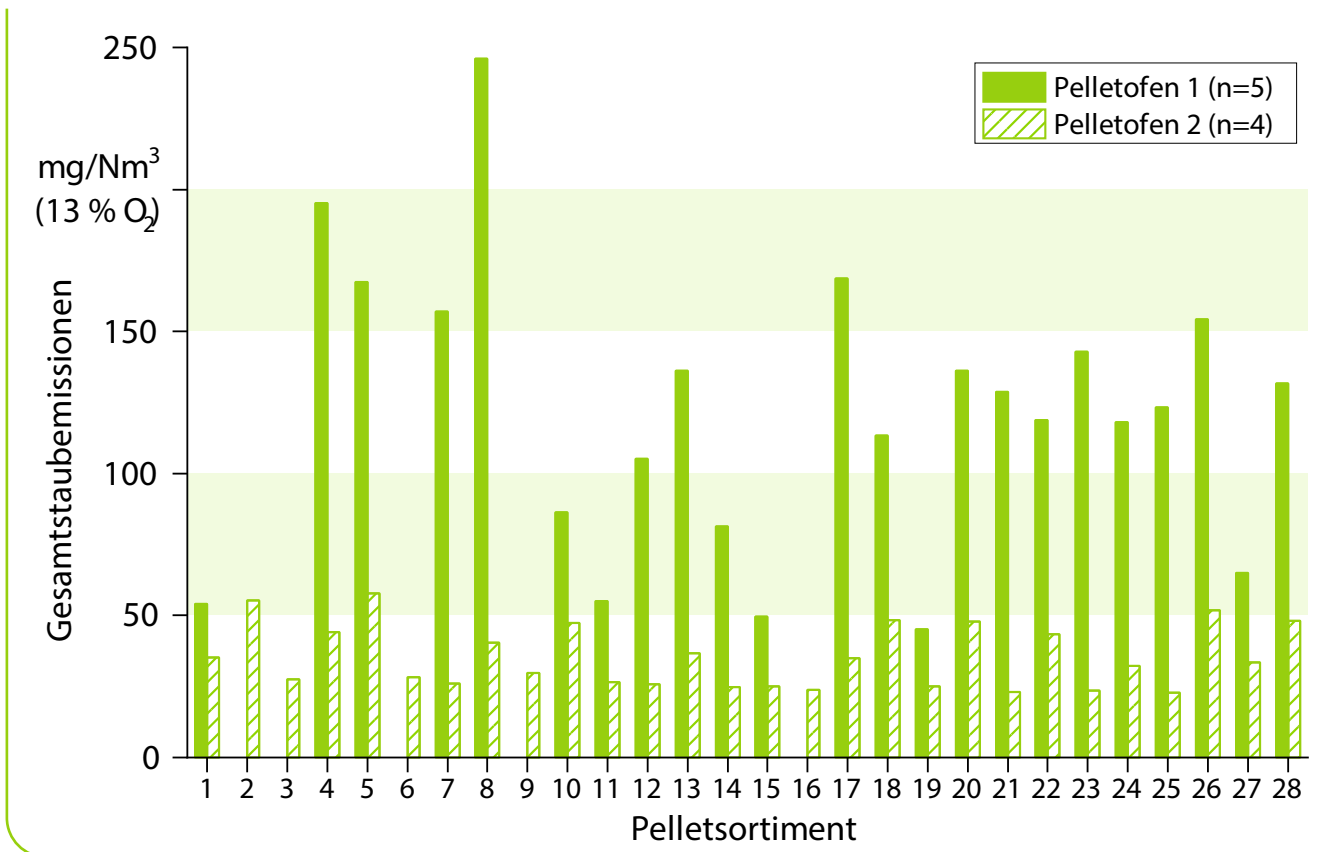


Abbildung 1: Gesamtstaubemissionen für die untersuchten A1 Holzpellets bei Einsatz im Pelletofen 1 und Pelletofen 2

Sortimente vor. Beide Feuerungen scheinen auf unterschiedliche Brennstoffparameter empfindlich zu reagieren.

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen an den beiden Pelletöfen machen auf der einen Seite deutlich, dass die Emissionen stark von der verwendeten Feuerung abhängig sind. Auf der anderen Seite ist die Bandbreite der Emissionen bei den 28 Sortimenten, die alle als ENplus A1 deklariert waren, bei beiden Öfen groß. Das bedeutet, dass es trotz der Normvorgaben ganz entscheidend auf die Wahl des richtigen Brennstoffs ankommt, damit die Grenzwerte auch in der Praxis eingehalten werden können. Doch an welchen Brennstoffparametern liegt es, dass die Pellets so unterschiedlich verbrennen? Und sind diese von der aktuellen Norm abgedeckt?

Gesamtstaub ist nicht gleich Gesamtstaub

Da sich hinsichtlich der Gesamtstaubemissionen bei Pelletöfen keine eindeutige Korrelation wie z. B. zu den feinstaubbildenden Elementen (vorwiegend Kalium, aber auch Natrium und Zink) finden ließ, wurden die Stäube auf den Planfiltern der Gesamtstaubmessungen von Pelletöfen 2 in einem Kohlenstoffanalysator analysiert. Dadurch lässt sich der Gesamtstaub in vier Komponenten aufteilen:

- EC (elementarer Kohlenstoff), z. B. Ruß aus unvollständiger Verbrennung oder mit dem Abgas mitgerissene Holzkohlepartikel.

- OC (organisch gebundener Kohlenstoff), z. B. Teere aus unvollständiger Verbrennung.
- IC (anorganisch gebundener Kohlenstoff), das ist im Wesentlichen in Form von Karbonaten gebundener Kohlenstoff (angegeben als CO₂).
- Salze und Oxide von Aschebildnern (Gesamtstaub – (IC + OC + EC)), z. B. Aerosole aus Kalium wie KCl oder K₂SO₄.

Die Untersuchung der 28 Stäube aus den untersuchten A1 Pellets ergab, dass sich die Gesamtstaubemissionen in höchstem Maß unterschiedlich zusammensetzen (Abbildung 2). So bestehen die Staubemissionen beispielsweise für die Sortimente 8, 14, 19, 21, 24 und 28 zu über 80 m-% aus Salzen und Oxiden von Aerosolbildnern, also wahrscheinlich Aerosole aus K, Na und Zn, während statt dessen z. B. für die Sortimente 1, 2, 4, 5, 18, 20, 22 und 23 mehr als 50 m-% der Staubemissionen aus kohlenstoffhaltigen Partikeln (EC + OC) aus unvollständiger Verbrennung stammen, d. h. sie bestehen überwiegend aus Ruß und zu einem gewissen Anteil auch aus Teeren.

Statistische Auswertung bringt Klarheit

Aufgrund der hier beschriebenen Ergebnisse für Pelletöfen 1 und Pelletöfen 2 in Verbindung mit den Ergebnissen für die Versuchsbrennstoffe (hier nicht dargestellt) für Pelletöfen 2

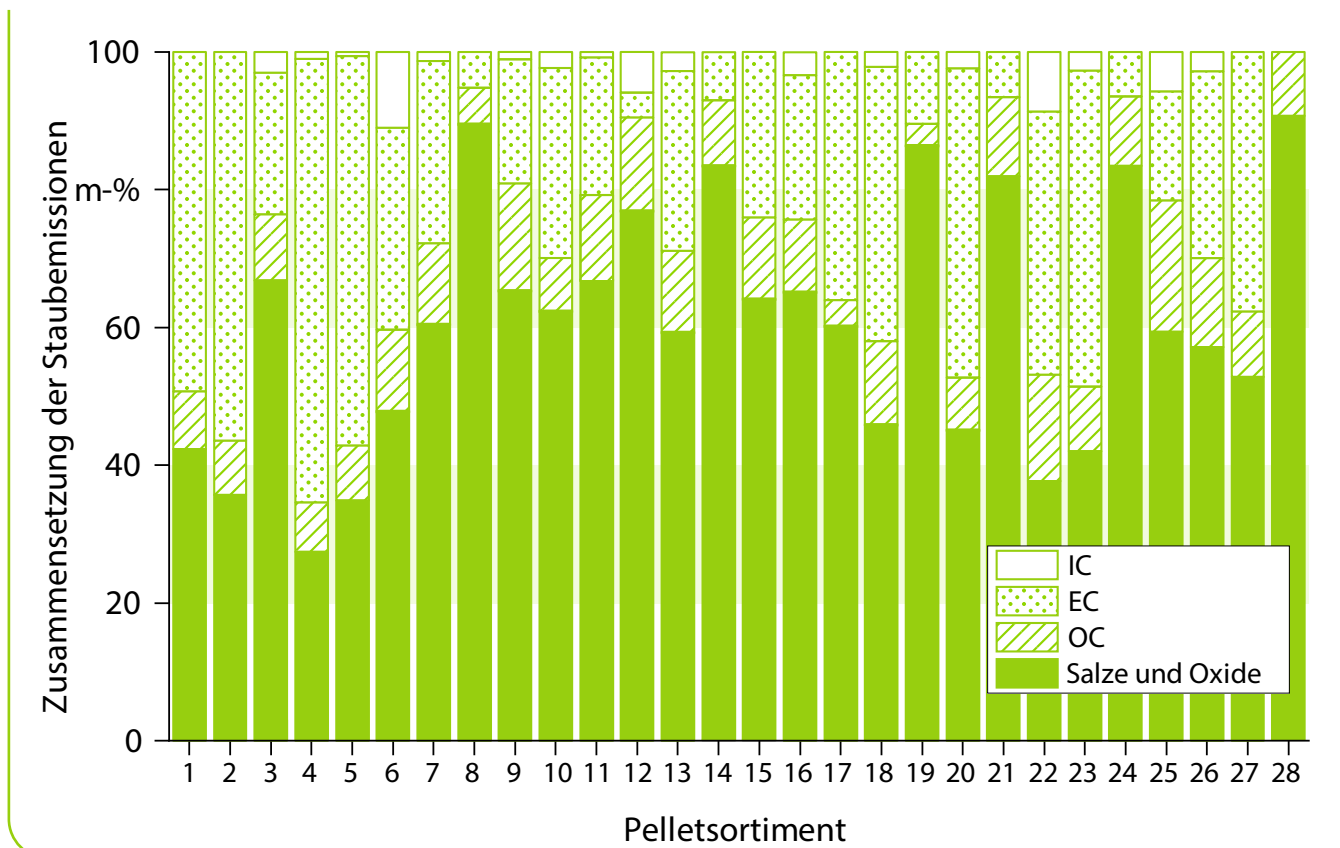


Abbildung 2: Prozentuelle Zusammensetzung der Gesamtstaubemissionen nach IC, EC, OC und Salzen und Oxiden von Aschebildnern im Pelletöfen 2

Infobox 2: Übersicht der wichtigsten Brennstoffparameter, sortiert nach Einflussgröße auf die Emissionen

Brennstoffparameter	beeinflusster Abgasparameter (Pluszeichen: steigende Wirkung, Minuszeichen: senkende Wirkung)
Kalium	+Gesamtstaub/+CO/+org.-C/+IC/+OC/+Salze und Oxide von Aerosolbildnern
Laubholzanteil	+Gesamtstaub/+CO/+org.-C/+IC/+OC/+Salze und Oxide von Aerosolbildnern
Karbonatanteil	+Gesamtstaub/+OC/+Salze und Oxide von Aerosolbildnern/+CO
Energiedichte	+Gesamtstaub
Si/K-Verhältnis	-Salze und Oxide von Aerosolbildnern
Calcium	+CO/+IC/+OC
Mittlere Pelletlänge	-CO/-EC
Aschegehalt	+IC/+OC
Feinanteil	+CO
Heizwert	+EC
Massenanteil Pellets < 10 mm, a.r.	+CO

lassen sich mittels statistischer Auswertung (Pearson-Korrelation) die Einflussgrößen der analysierten Brennstoffparameter auf die jeweiligen Emissionen bzw. die Anteile der Staubemissionen untersuchen und auf statistische Signifikanz ($p < 0,05$) prüfen. Die Ergebnisse sind in der *Infobox 2* zusammengestellt, wobei als zusätzliche Emissionsgröße auch noch die Abgaskonzentration an Kohlenmonoxid (CO) und an gasförmigen organischen Kohlenstoffverbindungen (Org.-C) dargestellt ist.

Es zeigt sich, dass der Kaliumanteil bzw. der Laubholzanteil aus der NIR-Analyse, der mit Kalium stark korreliert, den größten Einfluss auf die Emissionen hat. Weitere relevante Einflussgrößen sind der Karbonatanteil der Asche, die Energiedichte (berechnet aus Heizwert und Schüttdichte), das molare Si/K-Verhältnis und der Calciumanteil (korreliert stark mit dem Karbonatanteil). Erst danach folgt der erste von der Pelletnorm bzw. einem Zertifizierungsprogramm abgedeckte Parameter, die mittlere Pelletlänge.

Zusammenfassung

Trotz der vergleichsweise strengen Anforderungen der A1 Qualitätsklasse zeigen die Ergebnisse zusammenfassend ein sehr unterschiedliches Emissionsverhalten der Brennstoffe, vor allem in Pelletöfen.

Der teilweise gemessene Anteil an Emissionen aus der unvollständigen Verbrennung zeigt, dass bei Pellet-Kamin-

öfen ein erheblicher Optimierungsbedarf bezüglich der Gesamtstaubemissionen gegeben ist, wobei insbesondere der Verbesserung der Feuerraumgeometrie und der Regelungstechnik eine wichtige Rolle zukommen dürfte. Die statistische Auswertung der Messergebnisse zeigt, dass die Schadstoffemissionen beim derzeitigen Stand der Pelletofentechnik hauptsächlich von Brennstoffkenngrößen abhängen, die gar nicht in der Pellet-Norm verankert sind. Damit diese neuen Kenngrößen zukünftig bei der Brennstoffcharakterisierung entsprechende Bedeutung erhalten, müssten sie leicht überprüfbar sein und sollten möglichst auch mittels Schnellbestimmungsverfahren überwacht werden können. Die Bestimmung des Laubholzanteils oder des Kaliumgehalts mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIR) könnte hierfür einen Ansatz bilden. Aber für den Siliziumgehalt oder den Karbonatanteil der Asche fehlen noch einfache Prüfmethoden.

Bei Pellet-Zentralheizungskesseln sind die brennstoffbedingten Einflüsse – nicht zuletzt wegen der automatischen Entaschung und der effektiveren Verbrennungsregelung – wesentlich geringer. Folglich zielt die aus den vorliegenden Ergebnissen abzuleitende Forderung nach Einführung einer zusätzlichen besonders hochwertigen Qualitätsklasse für Holzpellets hauptsächlich auf Verbesserungen für Pellet-Kaminöfen ab.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter dem Förderkennzeichen 22020917 gefördert. Die Mittelvergabe erfolgte über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

Literatur bei den Autoren.

ROBERT MACK
CLAUDIA SCHÖN
DR. HANS HARTMANN

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

