

Heizen mit Getreide und Halmgut





Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Hofplatz 1 • 18276 Gülzow

Tel.: 03843/6930-0

Fax: 03843/6930-102

info@fnr.de • www.fnr.de

Redaktion:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Abt. Öffentlichkeitsarbeit

Bilder:

Dr. Hermann Hansen, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Gestaltung und Herstellung:

nova-Institut GmbH, 50354 Hürth

www.nova-institut.de

Druck und Verarbeitung:

Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, 50354 Hürth

www.mediacolonne.de

Erstellt mit finanzieller Unterstützung des
Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz (BMELV)

August 2007



Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 2 | Rahmenbedingungen | 4 |
| 2.1 | Verfügbarkeit von Getreide und Stroh | 4 |
| 2.2 | Genehmigungsrecht | 5 |
| 3 | Feuerungen für Halmgut und Getreide | 8 |
| 3.1 | Brennstoffeigenschaften | 8 |
| 3.2 | Kesselspezifika | 8 |
| 3.3 | Getreidefeuerungen | 9 |
| 3.3.1 | Brennstoffmischungen | 9 |
| 3.3.2 | Konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Schlackebildung und zum Ascheaustrag | 10 |
| 3.3.3 | Konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung von Korrosion | 10 |
| 3.3.4 | Konstruktive Maßnahmen zur Emissionsminderung | 11 |
| 3.4 | Halmgutfeuerungen | 11 |
| 3.4.1 | Schüttgutfeuerungen | 11 |
| 3.4.2 | Ganzballenvergaserkessel | 12 |
| 4 | Schadstoffemissionen | 14 |
| 5 | Wirtschaftlichkeit | 16 |
| 5.1 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Kleinf Feuerungsanlagen (< 100 kW) | 18 |
| 5.2 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Kleinf Feuerungsanlagen(100 kW bis 1 MW) | 24 |
| 5.3 | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Heizwerke ab 1 MW | 24 |
| 6 | Perspektiven | 26 |
| 7 | Adressen und Links | 28 |

1 Einleitung

Das Interesse an Getreide als Energierohstoff steigt. Die Gründe hierfür sind vielfältiger Natur: neben den generellen Vorzügen erneuerbarer Energien sprechen vor allem etablierte Anbau- und Logistiksysteme, hohe Erträge und attraktive Bereitstellungskosten für den Energieträger vom Acker. Zudem schaffen seine Homogenität in Verbindung mit entsprechenden Transport- und Verarbeitungsmöglichkeiten sowie die Energiedichte optimale Schnittstellen zu bestehenden Verarbeitungstechnologien.

Für die energetische Nutzung von Getreide stehen verschiedene Wege offen. Zu den Wichtigsten zählen:

- Getreideganzpflanzen oder Stroh als Ballen, gehäckselt oder pelletiert als Brennstoff für Biomasseheizungen und -heiz(kraft)werke,

- Getreide als Brennstoff für Biomasseheizungen und -heiz(kraft)werke,
- Getreide oder Ganzpflanzensilage als Substrat für Biogasanlagen,
- Getreide zur Erzeugung von Bioethanol.

2006 wurde Getreide (einschließlich Mais) in Deutschland auf fast 300.000 ha Ackerfläche für die energetische Nutzung erzeugt. Neben diesem gezielt angebaute Energiegetreide sind heute aber auch Minderpartien und Getreideabfälle von Bedeutung, die in Landwirtschaft, Landhandel und Mühlenbetrieben in erheblichen Mengen anfallen, aber nicht im Nahrungs- und Futtermittelbereich eingesetzt werden können bzw. dürfen. Dazu kommen mit Fusarientoxinen belastete Chargen, die für andere Nutzungen ebenfalls ausscheiden.



Die vorliegende Veröffentlichung widmet sich ausschließlich dem Heizen mit Getreide und Stroh, das vor allem im ländlichen Raum zunehmende Bedeutung erlangt. Seine Eigenschaften prädestinieren Getreide als Brennstoff nicht nur für kleinere Kessel, auch gelten die Investitionskosten als überschaubar. Zudem bieten entsprechende Anlagen eine gute Primärenergiebilanz und hohe Nutzungsgrade.

Allerdings ist die Technik üblicher Holz- oder Holzpellettheizungen nicht ohne Weiteres auf Stroh oder Getreide übertragbar. Wenngleich aus der energetischen Nutzung von Holz wichtige Erkenntnisse für das Heizen mit Getreide gewonnen werden konnten, machen die spezifischen Brennstoffeigenschaften spezielle Kessel nötig.

Den Angaben einzelner Anbieter zufolge dürften in Deutschland inzwischen bereits an die 10.000 für den Getreidebetrieb nutzbare Kessel verkauft worden sein. Da Getreidekessel jedoch auch mit anderen schüttfähigen Brennstoffen betrieben werden können, ist nicht bekannt, wie viele von diesen Anlagen tatsächlich Getreide verfeuern. In der Praxis werden halmguttaugliche automatisch beschickte Feuerungen oft vorwiegend mit Hackenschnitzeln betrieben, nur gelegentlich kommen betrieblich anfallende Brennstoffe wie Häckselgut, Saatgutreinigungsabgänge, Bruchkörner oder Mühlennebenprodukte – meist in Mischungen –



zum Einsatz. Es ist jedoch davon auszugehen, dass einige tausend Kessel zumindest zeitweise mit Getreide oder in Mischung mit Getreide und Holzbrennstoffen betrieben werden.

Zusätzlich sind rund 50 mit Stroh befeuerte Kleinanlagen (Strohpellets, Häcksel, Rundballen) und mehrere Demonstrationsanlagen größer 100 kW in Betrieb.

Diese Broschüre gibt nicht nur einen Überblick über technische und rechtliche Rahmenbedingungen, sondern lotet auch die weitere Entwicklung und die Wirtschaftlichkeit aus. Die FNR will interessierten Nutzern damit eine kompakte Hilfestellung an die Hand geben, die Denkanstöße gibt und Fehler vermeiden hilft. Ethische Aspekte des Heizens mit Getreide, in der Öffentlichkeit breit und durchaus kontrovers diskutiert, finden hierin keine Berücksichtigung.

2 Rahmenbedingungen

2.1 Verfügbarkeit von Getreide und Stroh

In Deutschland stehen 18,9 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche zur Verfügung. Davon sind 11,9 Mio. ha Ackerland, die 2006 zu 57 % für die Produktion von Getreide genutzt wurden. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 65 dt/ha belief sich die Ernte auf rd. 44 Mio. Tonnen Getreide (ohne Körnermais).



Stroh fällt hierbei als Nebenprodukt an, das zum Teil als Einstreu für die Tierhaltung oder im Garten- und Landschaftsbau Verwendung findet. Es werden jedoch auch große Mengen Stroh, die für den Ausgleich der Humusbilanz des Bodens nicht benötigt werden, beim Mähdrusch gehäckselt und nachfolgend untergepflügt. Bei einem Korn-Stroh-Verhältnis von durchschnittlich 1:0,8 beträgt das jährliche Gesamtaufkommen 36 Mio. Tonnen Stroh. Den verschiedenen

Potenzialstudien zufolge könnten davon 20 bis 60 % (entsprechend etwa 7 bis 22 Mio. Tonnen Stroh) für die energetische Nutzung bereit gestellt werden.

Während es für das Nebenprodukt Stroh bislang keine alternativen energetischen Nutzungsoptionen gibt, kommen für Getreidekörner miteinander konkurrierende Einsatzmöglichkeiten in Bioethanolanlagen, in Biogasanlagen oder in Feuerungsanlagen in Frage.

Für die Verwendung in Feuerungsanlagen kommen vorrangig die nicht im Nahrungs- und Futtermittelsektor nutzbaren Getreidepartien in Betracht, dies sind Bruchkörner und Mindergetreide (zu kleine Körner, Partien mit Fusarienbelastung oder Schädlingsbefall), Getreidereste aus der Saatguterzeugung und Getreideabfälle). Mit der Verschärfung der Qualitätsstandards für Futtermittel in Bezug auf Schimmelpilzbefall ist das Aufkommen an entsprechenden nicht marktfähigen Partien gestiegen.

Allein als Mindergetreide fallen durchschnittlich 2 bis 5 % der Getreideernte, also jährlich ca. 1 bis 2,3 Mio. Tonnen, an. Da Mindergetreide für die Ethanolgewinnung nicht und für den Einsatz in Biogasanlagen nur bedingt geeignet ist, bietet die Wärmebereitstellung bzw. perspektivisch die gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung in Feuerungsanlagen eine zweckmäßige Verwertungsvariante.

Die Verfügbarkeit weiterer Getreidepartien für den Einsatz in Feuerungsanlagen ist eine Frage des Preises, insbesondere der Preisrelation von Getreide zu fossilen Heizstoffen, und der gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Aktuell werden nachwachsende Rohstoffe für energetische und stoffliche Nutzung auf 2 Mio. ha Ackerflächen angebaut. Biomassepotenzialstudien zufolge stehen im Jahr 2020 etwa 3,5 Mio. ha und 2050 rund 6 Mio. ha Ackerfläche in Deutschland für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung, die nicht mehr für die Erzeugung von Nahrungsmitteln benötigt werden. Die verschiedenen Formen der Biomassenutzung (Wärme-, Strom- und Kraftstoffherzeugung sowie stofflich-technische Verwertung) konkurrieren um diese Fläche. Die politische Rahmensetzung mit ihren unterschiedlichen Fördermodalitäten für erneuerbare Energien

übt einen maßgeblichen Einfluss darauf aus, in welchen Bereichen und für welche Zwecke landwirtschaftlich erzeugte Biomasse künftig zur Anwendung kommt. Unter Berücksichtigung von Aspekten wie hohe Energieeffizienz, geringe Kosten der CO₂-Minderung und regionale Kreislaufwirtschaft sind dem Einsatz von festen Biobrennstoffen wie Getreide und Stroh in modernen Heizkesseln und Heizwerken die besten Perspektiven beizumessen.

2.2 Genehmigungsrecht

Für die Verbrennung von Getreide und Halmgut ist das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) mit seinen nachgeschalteten Verordnungen und Verwaltungsvorschriften bindend. Die Zuordnung des Genehmigungsverfahrens einzelner Anlagen zu den einzelnen Bundesim-

| Feuerungswärmeleistung | Holz | Stroh und Halmgut | Getreide |
|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| bis < 15 kW* | 1. BImSchV | 1. BImSchV Einsatz nicht erlaubt | 1. BImSchV Einsatz nicht erlaubt |
| 15 bis < 100 kW | 1. BImSchV | 1. BImSchV | Einsatz nur mit Sondergenehmigung |
| 100 kW bis 1 MW | 1. BImSchV | 4. BImSchV mit TA Luft | 4. BImSchV mit TA Luft |
| über 1 MW | 4. BImSchV mit TA Luft | 4. BImSchV mit TA Luft | 4. BImSchV mit TA Luft |

Tab. 1: Zuordnung der Biomasseheizungen zu den geltenden Immissionsschutzverordnungen in Abhängigkeit von der Feuerungswärmeleistung * Nennwärmeleistung

missionsschutzverordnungen (BlmSchV) in Abhängigkeit von der Leistung und dem Brennstoff zeigt die Tabelle 1 auf Seite 5.

Die **1. BlmSchV** (§ 3) führt die Brennstoffe auf, die in Kleinf Feuerungsanlagen zulässig sind. Zu den Regelbrennstoffen zählen danach nicht nur verschiedene Holzbrennstoffe, sondern u.a. auch „Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe“. Stroh häcksel und Stroh pellets dürfen in genehmigungsfreien Feuerungsanlagen von 15 bis < 100 kW gemäß der 1. BlmSchV also zum Heizen genutzt werden. Auch andere Biobrennstoffe wie z.B. Schilf, Heu oder Maisspindeln und auch Miscanthus sind gemäß dem Kommentar von Feldhaus zur 1. BlmSchV Regelbrennstoffe. Getreidekörner sind in den Erläuterungen zur 1. BlmSchV nicht explizit aufgeführt gelten somit nicht als Regelbrennstoff.

Ausnahmegenehmigungen für das Heizen mit Getreide in Kleinf Feuerungsanlagen erteilen die Umweltbehörden mehrerer Bundesländer, geben aber zum



Teil verschärfte Emissionsgrenzen vor und stellen besondere Anforderungen an Herkunft und Beschaffenheit des zu verbrennenden Getreides.

In Feuerungsanlagen mit Feuerungswärmeleistungen ab 100 kW ist sowohl Getreide als auch Halmgut als Brennstoff nach der **4. BlmSchV** zulässig. Während Holzfeuerungen erst ab 1000 kW Feuerungswärmeleistung genehmigungspflichtig sind, greift die Genehmigungspflicht für Stroh- und Getreidefeuerungen gemäß 4. BlmSchV bereits ab 100 kW. Anlagen mit 100 kW bis 1.000 kW sind demzufolge einem vereinfachten Genehmigungsverfahren nach § 19 BlmSchG zu unterziehen. Für Anlagen ab 1 MW Feuerungswärmeleistung ist ein förmliches Genehmigungsverfahren nach § 10 BlmSchG durchzuführen. Dabei muss für Anlagen ab 100 kW jeweils der Nachweis erbracht werden, dass sie die Emissionsanforderungen der TA-Luft einhalten können.

Im Rahmen der für 2008 erwarteten Novellierung der 1. BImSchV ist dem bisher vorliegenden Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zufolge die Aufnahme von Getreide und weiteren alternativen Biobrennstoffen als Regelbrennstoff geplant. Als Beitrag zur Luftreinhaltung beabsichtigt der Gesetzgeber mit der Novellierung auch eine deutliche Verschärfung der Emissionsgrenzwerte z.B. für Staubemissionen.

Es wird dabei auch eine Konkretisierung zur bisherigen Formulierung „Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe“ erwartet. Im Interesse der Rechtssicherheit für den Einsatz alternativer fester Biobrennstoffe sollten verschiedene Biomassen, Haupt- und Nebenprodukte, in die Verordnung aufgenommen und angemessene, am Stand der Technik orientierte Abgasgrenzwerte festgelegt werden.

Dem Referentenentwurf zufolge dürfen die in §3 Abs. 1 Nr. 8 genannten Biobrennstoffe landwirtschaftlicher Herkunft künftig nur noch in automatisch beschickten Feuerungsanlagen eingesetzt werden, die nach Angaben des Herstellers für diese Brennstoffe geeignet sind und die im Rahmen der Typprüfung mit den jeweiligen Brennstoffen geprüft wurden. Zudem soll der Einsatz dieser Biobrennstoffe – ausgenommen Stroh – zunächst nur in Betrieben der Land- und Forstwirtschaft, des Gartenbaus und in Betrieben des agrargewerblichen Sektors, die Umgang mit Getreide haben (z.B. Mühlen, Landhandel), erlaubt werden. Eine Freigabe dieser Brennstoffe für

andere Betreiber kann ggf. (frühestens 2 Jahre nach Veröffentlichung der novellierten 1. BImSchV) nach Feststellung und Bewertung des Emissionsniveaus an Dioxinen, Furanen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Kesselbetrieb erfolgen.



3 Feuerungen für Halmgut und Getreide

3.1 Brennstoffeigenschaften

Während in Stroh- oder Getreidekesseln meist auch Holzhackschnitzel oder Holzpellets verbrannt werden können, sind Holzkessel umgekehrt für Miscanthus, Stroh, Getreidekörner oder Getreideganzpflanzen meist nicht geeignet. Denn diese Brennstoffe bringen Eigenschaften mit, die nicht nur eine aufwändigere Feuerungstechnik erfordern, sondern auch das Einhalten von Emissionsbegrenzungen erschweren.

Im Vergleich zu Holzbrennstoffen hat Getreide einen etwa dreimal, Stroh einen etwa siebenmal so hohen **Aschegehalt**. Auch deren Anteile an **Stickstoff, Kalium und Chlor** sind um ein Vielfaches höher als die des Holzes. Das verursacht nicht nur höhere Emissionen, sondern kann zu Korrosion von Feuerraum- oder Wärmetauscherflächen und zu Verschlackungen führen. Während Holzasche erst bei 1.100 °C weich wird und verklumpt, ist das bei Strohasche bedingt durch die höheren Kaliumanteile schon bei 800 °C und weniger der Fall. Getreideaschen können noch schneller (bei ca. 700 °C) erweichen und ggf. den Rost und die Luftzuführung verkleben.

Gegen den Einsatz von Getreide in herkömmlichen Pelletkesseln spricht vor allem der hohe Aschegehalt und die niedrigeren Schmelztemperaturen. Wenn die größeren Aschemengen und -volumina nicht ausreichend abtransportiert werden

können, kann dies zu Verschlackungen und Störungen des Kesselbetriebs führen.

Der Getreideeinsatz bedingt geringere Nennwärmeleistungen. An Kesseln, die sowohl für Holzbrennstoffe als auch Getreide geeignet sind, zeigt sich das deutlich. Bei der Nennwärmeleistung ist je nach Kesseltyp mit Abschlägen von 20 bis 40% auf die Nennleistung bei Holzbrennstoffen zu rechnen. Das hängt auch mit etwa 3 bis 5% geringeren feuerungstechnischen Wirkungsgraden infolge höherer Abgastemperaturen zusammen.

3.2 Kesselspezifika

Feuerungen für Halmgut und Getreide müssen entweder so konstruiert werden, dass die besonderen Eigenschaften der Brennstoffe sich nicht nachteilig auswirken, oder es gilt, den Brennstoff entsprechend vorzubehandeln.

Die Kesselhersteller haben ihre Anlagen in den letzten Jahren technisch erheblich verbessert und mit Erfolg an die neuen Brennstoffe angepasst. Zur Verbesserung der Umwelt- und Anlagenparameter werden zurzeit 10 Projekte von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz durchgeführt. Über Asche- und Schlackeabtrennung, bewegliche Roste und andere Elemente oder an



den Brennstoff angepasste Temperatur- und Luftführung lassen sich die ursprünglichen technischen Probleme lösen. Besondere Fortschritte verspricht auch die deutliche Trennung und separate Ansteuerung der Verbrennungszonen.

Sowohl spezielle Unterschubfeuerungen als auch Rostfeuerungen bieten sich für die Stroh- und Getreidekörnerverbrennung an. Gekühlte Rostelemente oder wassergekühlte Brennraumoberflächen können die Verschlackung ebenso wie das kontinuierliche Bewegen von Brennstoff und Asche vermindern. Die eingesetzten Bauteile müssen korrosionsbeständig oder preiswert und einfach austauschbar sein, um hinreichend lange Standzeiten für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb zu erreichen.

Die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten wie z.B. der Staub- oder Stickoxidemission lässt sich in der Regel nur durch zusätzliche primäre oder sekundäre Maßnahmen (z.B. Abgasreinigungsanlagen) erreichen.

3.3 Getreidefeuerungen

Für eine effiziente und emissionsarme Verbrennung von Getreide kann wahlweise der Brennstoff an die Feuerung oder die Feuerung an den Brennstoff angepasst. Oftmals ist die Adaption der Technik sinnvoller, da bei Getreidebrennstoffen unterschiedlichste Partien variabler Qualitäten zum Einsatz kommen können, die die gezielte Beeinflussung durch Zuschlagstoffe erschweren.

3.3.1 Brennstoffmischungen

Das Erweichungsverhalten von Biomasseaschen hängt originär von der Aschezusammensetzung und vom Verhältnis von Calcium zu Kalium im Brennstoff ab. Die Beimischung calciumhaltiger Stoffe wie Branntkalk oder Kalksteinmehl erhöht den Ascheerweichungspunkt und reduziert die Gefahr der Verschlackung. Damit verbunden sind jedoch auch größere Aschemengen, die ausgetragen werden müssen. So steigt die Aschemenge beim Zuschlag von üblicherweise ca. 0,5 bis 2 Gewichtsprozenten Additiven zum Brennstoff um ca. 15 bis 60%. Dennoch

wird die Beimischung von Zuschlagstoffen mit speziellen Dosiergeräten oder Eigenbaulösungen praktiziert.

Die Mischung von Getreide mit Holzbrennstoffen bietet Vorteile, da die grobporigen Holzbrennstoffe für eine gute Durchlüftung des Brennguts sorgen. Im Gegensatz zur reinen Körnerverbrennung ist das Glutbett so gut strukturiert und kann homogen von der Primärluft durchströmt werden. Die Mischung der Brennstoffe kann über getrennte Schnecken erfolgen. So lässt sich das Mischungsverhältnis der Brennstoffe über die Schneckendrehzahl steuern.

3.3.2 Konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Schlackebildung und zum Ascheaustrag

Mit verschiedenen konstruktiven Maßnahmen ist es einigen Kesselherstellern mittlerweile gelungen, Holzkessel effektiv für den Getreidebetrieb zu modifizieren. Wassergekühlte Brennraum- bzw. Rostelemente halten die Verbrennungstemperaturen in der Glut bzw. im Bett-

bereich niedrig und verhindern so eine Überschreitung der Ascheerweichungstemperatur. Da sich die Schlackebildung ohne Kalkzugabe meist nicht gänzlich vermeiden lässt, müssen Glut und Asche in Bewegung gehalten werden, damit es nicht zu Anbackungen kommt. Bewegte Schub-, Rost- oder Räumelemente sorgen hier für Abhilfe und leistungsstarke automatische Entschungssysteme für schnellen Transport der anfallenden Asche in den Aschebehälter.

3.3.3 Konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung von Korrosion

Nicht nur hohe Chlor-, sondern auch Kaliumgehalte im Getreide können korrosive Rauchgasbestandteile bedingen. Ablagerungen auf den rauchbeaufschlagten Bauteilen von Kessel und Abgasanlage und der Korrosion muss folglich vorgebeugt werden.

Hersteller verfolgen hier zwei Strategien: Entweder werden Bauteile von Getreide- und Strohfeuerungen korrosions- und verschleißbeständig ausgeführt, oder

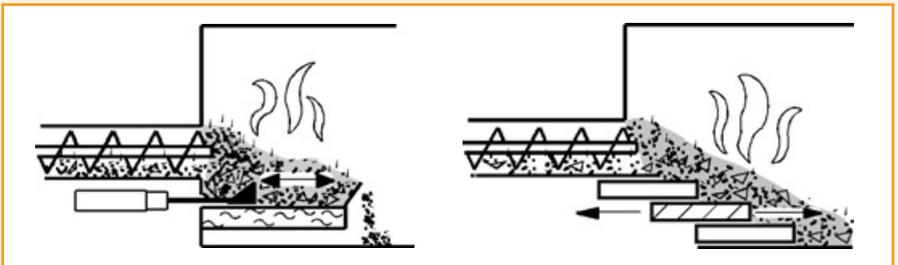


Abb. 1: Schubbodenfeuerung mit Wasserkühlung im Glutbett und Vorschubrostfeuerung für Halmgut und Getreide (Quelle: Handbuch Bioenergie Kleinanlagen, FNR, Hartmann 2007)



sie werden einfach und kostengünstig austauschbar gestaltet. Bei hochwertigen Getreideheizungen sind die Materialien bei Brennraum und Wärmetauscher nicht nur stärker ausgelegt als bei Holzheizungen; Wärmetauscher sind zum Teil auch aus Edelstahl gefertigt und der Brennraum mit Siliziumcarbid ausgekleidet.

3.3.4 Konstruktive Maßnahmen zur Emissionsminderung

Die derzeit gültigen Emissionsbegrenzungen für Staub lassen sich oft nur einhalten, wenn ergänzende Abgasreinigungseinrichtungen eingebaut werden. Weder die konventionellen Heizkessel selbst noch Fliehkraftabscheider (Zyklone) können die sehr feinen Staubpartikel, die den Hauptanteil der Staubemissionen ausmachen, ausreichend abscheiden. Erforderlich sind filternde Abscheider (z.B. Metallgewebefilter, Schüttschichtfilter), elektrostatische Abscheider (Elektrofilter) oder Sekundärwärmetauscher zur Rauchgaskondensation, die zurzeit für Bioenergiekleinanlagen entwickelt und auf ihre Einsatzmöglichkeiten in der Praxis

getestet werden, um effiziente und kostengünstige Lösungen zur Verfügung stellen zu können.

Für Kleinfeuerungsanlagen geeignete technische Varianten zur Stickoxidminderung gibt es bislang nicht. Da einzelne Bundesländer für die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen im Rahmen der 1. BImSchV Stickoxidgrenzwerte festgelegt haben, die sich im Betrieb mit konventionell erzeugten Getreidepartien vielfach nicht einhalten lassen, ergeben sich für marktgängige Getreidekessel hieraus ernsthafte Probleme. Spezielles Energiegetreide mit geringen Eiweißgehalten kann zwar bedingt Abhilfe schaffen, bietet jedoch keine generelle Lösung.

3.4 Halmgutfeuerungen

Stroh und Getreideganzpflanzen können wahlweise in Form von gehäckseltem oder pelletiertem Halmgut in Schüttgutfeuerungen oder als Rund- oder Quaderballen in Ganzballenvergaserkesseln verheizt werden.

3.4.1 Schüttgutfeuerungen

Da Stroh ähnliche Ascheigenschaften mit sich bringt wie Getreide und es auch hier zu Verschlackung kommen kann, sind vergleichbare technische Anforderungen gegeben.

Ab ca. 25 kW Nennwärmeleistung werden Schubbodenfeuerungen mit Wasserkühlung unter dem Glutbett angebo-

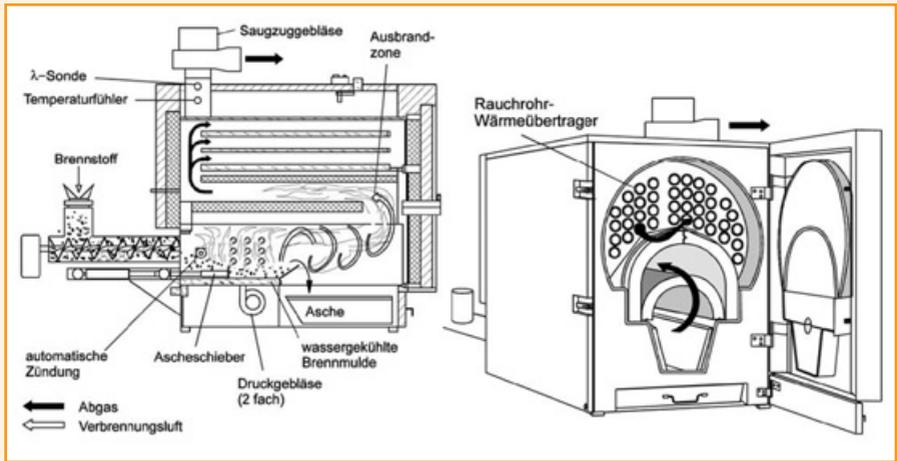


Abb. 2: Halmguttaugliche Schubbodenfeuerung (49 kW) mit wassergekühlter Brennmulde, hier ohne automatische Entaschung (Quelle: Handbuch Bioenergie Kleinanlagen, FNR, Hartmann 2007, Öko Therm – A.P. Bioenergietechnik GmbH)

ten, in denen neben Strohpellets und Häckselgut auch Getreidekörner, Abfälle aus der Saatgutaufbereitung, Bruchkörner oder Mühlennebenprodukten verbrannt werden können.

Ein Wasserwärmetauscher unterhalb der Brennmulde sorgt dafür, dass die für die Verschlackung kritische Temperatur in der Regel nicht überschritten wird. Für den raschen Abtransport der großen Aschemengen sorgt ein kontinuierlich bewegter Ascheschieber. Aufgrund der hohen Investitionskosten für Ballenauflöser und Fördertechnik haben Halmgutfeuerungsanlagen mit Ballenauflösern im Leistungsbereich unter 100 kW in Deutschland zurzeit keine Bedeutung. Für kleinere Strohfeuerungen kann die Pelletierung als eine Art Schlüsseltechnologie angesehen werden.

3.4.2 Ganzballenvergaserkessel

Kontinuierlich beschickte Anlagen für Ganzballen, vor allem Quaderballen, sind in Dänemark weit verbreitet und werden dort seit Jahrzehnten erfolgreich betrieben. Die dänischen, nach dem Oberbrand-Prinzip arbeitenden Ballenfeuerungen haben in Deutschland keine Bedeutung, sie sind aufgrund ihres Emissionsverhaltens hier nicht genehmigungsfähig. In Deutschland gibt es mit der Firma Herlt einen Entwickler und Hersteller von Ganzballenvergaserkesseln.

Ganzballenvergaserkessel, die hauptsächlich mit Rundballen beschickt werden, werden im Leistungsbereich von ca. 85 kW bis 400 kW angeboten. Die in Deutschland betriebenen Ballenfeuerungen arbeiten überwiegend als Ganzbal-

lenvergaserkessel, die das Prinzip des unteren Abbrands nutzen. Dabei ist der Feuerungsverlauf deutlich ausgeglichener und besser regelbar als beim oberen Abbrand. Generell schwanken Leistung, Temperatur, Luftüberschuss und Schadstofffreisetzung (z.B. Kohlenstoffmonoxid) jedoch bei Anlagen mit Chargenabbrand im Verlauf der Verbrennung erheblich.

Um Schlackebildung und Anbackungen der Strohasche an den Brennraumwandungen zu vermeiden, kommt auch bei Ganzballenfeuerungen ein Wassermantel zum Zwecke der Kühlung des Brennraums zur Anwendung. Die für die Verbrennung erforderliche Primärluft wird zusammen mit den im oberen Bereich des Füll- und Entgasungsraums abgesaugten Schwelgasen seitlich über Luftschlitze durch das Stroh hindurch geblä-

sen. So kann der im unteren Bereich hohl liegende Ballen gut abbrennen. Die Sekundärluft wird für einen optimalen Ausbrand des Brenngases in die unter dem Füllraum liegenden Nachbrennkammer (Wirbelbrennkammer) zugeführt.

Ab ca. 3 MW Feuerungsleistung aufwärts bieten dänische Herstellern so genannte Zigarrenbrenner an, sog. Ballenteiler-Einschubfeuerungen werden ab ca. 100 kW angeboten. Über Förderband und Einschubvorrichtung werden dabei ganze Quaderballen bzw. Ballenteile kontinuierlich in die Brennkammer eingeschoben. Die Anlagen sind in der Regel mit vollautomatischer Kranbeschickung ausgestattet und versorgen kommunale Wärmenetze. In Dänemark wird damit das für die energetische Nutzung verfügbare Strohpotential genutzt.

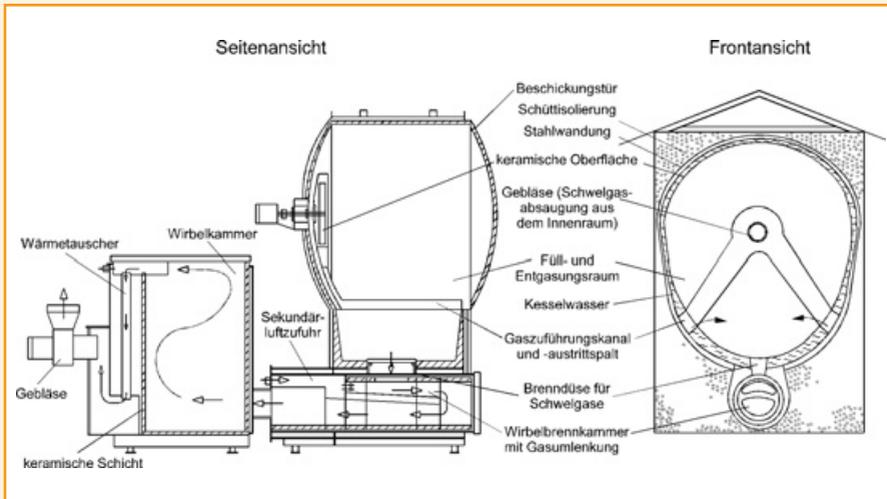


Abb. 3: Ganzballenvergaserkessel für Halmgut (Quelle: Fa. Herlt, Vielst/Waren)

4 Schadstoffemissionen

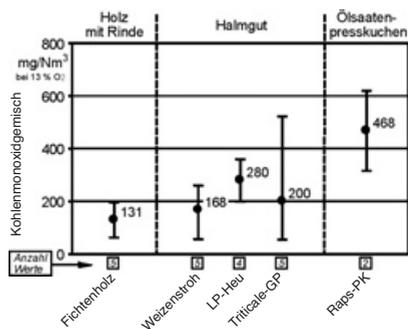
Im Interesse von Umweltschutz und Luftreinhaltung werden hohe Anforderungen an die Schadstoffemissionen von Biomassefeuerungen gestellt. Neben dem Wirkungsgrad stellt auch der Schadstoffausstoß ein wesentliches Qualitätsmerkmal von Kleinfeuerungsanlagen dar. Im Zuge der Bauartprüfung werden Kennwerte zu Wirkungsgrad und Emissionen nach einheitlichen Methoden bestimmt. Die Ergebnisse ermöglichen es, verschiedene Feuerungsanlagen zu vergleichen. Je nach betrieblichen Gegebenheiten kann das Betriebsverhalten der Anlagen von den Prüfwerten abweichen.

Im Vergleich zur Anzahl Kleinfeuerungsanlagen, die von den Anbietern als für Getreide, Stroh oder gar Rapskuchen geeignet angepriesen und verkauft werden, haben nur wenige Hersteller diese Produkte im Zuge der Bauartprüfung auch mit diesen Brennstoffen prüfen lassen.

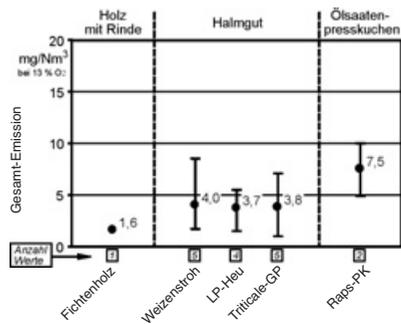
Bei Holzfeuerungen sind vor allem die Emissionsmessgrößen **Kohlenmonoxid** (CO) und **Staub** von Belang. Da Stroh und Getreide höhere Konzentrationen weiterer emissionsrelevanter Inhaltsstoffe enthalten als Holz [hier im wesentlichen Stickstoff (N) und Chlor (Cl)], verursacht ihre Verbrennung auch tendenziell höhere Emissionen, z.B. bei Stickoxiden.

Während sich die CO-Emissionswerte moderner, für Getreide entwickelter

Kohlenmonoxid (CO):



flüchtige org. Kohlenstoffverbindungen (ang. als Ges.-C):



Bemerkung:
Stroh, Heu und Triticale-Ganzpflanzen wurden in gehäckselter Form eingesetzt, Raps-Presskuchen in Pelletform.

Abkürzungen:
LP = Landschaftspflege,
GP = Getreideganzpflanzen
PK = Presskuchen

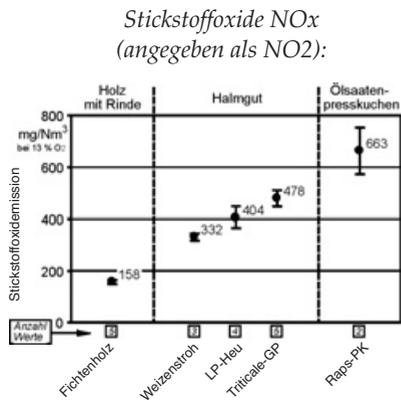
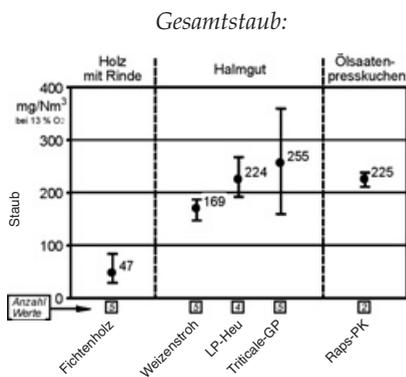


Abb. 4: Beispiele für Schadstoffemissionen von Halmgut- und anderen Brennstoffen in einer halmguttauglichen automatisch beschickten Hackschnitzelfeuerungsanlage (Einschubfeuerung 49 kW) bei Nennwärmeleistung. (Quelle: Handbuch Bioenergie Kleinanlagen FNR/Hartmann 2007)

Kessel kaum von denen der automatisch mit Holzbrennstoffen beschickten unterscheiden, liegen die Werte für **Stickstoffoxide** erwartungsgemäß höher. Besonders stickstoffhaltige Brennstoffe wie Ölsaatenpresskuchen verursachen sogar noch höhere Werte. Der Stand der Technik bei Kleinfeuerungsanlagen ermöglicht es derzeit nicht, Ölsaatenprodukte mit moderaten Emissionen zu verfeuern. Sie bislang auch nicht als Brennstoff für Kleinfeuerungsanlagen zugelassen.

Die **Staubemissionen** liegen bis zu 5-fach höher, wenn Getreide oder Halmgut statt Holzbrennstoffen in konventionellen Holzheizungen eingesetzt werden. Ohne technisch ausgereifte, speziell für Getreide und Halmgut entwickelte Feuerungen oder aber wirksame sekundäre Entstaubungsmaßnahmen lässt sich der Staubemissionswert der 1. BImSchV in der Regel nicht unterschreiten.

Die Ergebnisse der aktuell laufenden Forschungsprojekte zur Getreide- und Halmgutfeuerung zeigen indes aussichtsreiche Ansatzpunkte für die Einhaltung auch höherer Emissionsanforderungen.

5 Wirtschaftlichkeit

Feuerungen für Getreide oder Halmgutpellets im kleinen Leistungsbereich sind meist Hackgut- oder Pelletfeuerungen, die für den zusätzlichen Einsatz dieser Brennstoffe modifiziert wurden. Daneben werden seit wenigen Jahren spezielle Getreidekessel und Halmgutvergaserkessel angeboten. Die aufwändigere Konstruktion und höherwertigere Materialien machen die Anschaffung dieser Kessel jedoch kostspieliger: Getreidekessel sind rund 30 % teurer als entsprechende Holzpelletfeuerungen. Bei Kesseln, die sowohl für Holzbrennstoffe als auch für Getreide geeignet sind, muss die ca. 20 % geringere Wärmeleistung beim Einsatz von Getreide und die daher erforderliche größere Auslegung der Anlage eingeplant werden.

Aufgrund der geringen Anbieter- und Produktionszahlen – meist ist es eine Kleinserienfertigung oder gar Einzelfertigung – liegen die Stückkosten über denen der vergleichbaren Holzfeuerungsanlagen. Bei Zulassung von Getreide als Regelbrennstoff und damit Öffnung des Marktes ist mit höheren Produktionszahlen und entsprechend mit Kostendegressionen für Getreidekessel zu rechnen.

Investitionen in automatisch beschickte Strohfeuerungsanlagen fallen gegenüber Hackschnitzelanlagen zusätzlich höher aus, weil die Brennstofflagerung, Brennstoffvorbehandlung und Zuführung (z.B. Ballenauflöser, Häcksler) sowie eventuell notwendige weitere sekundäre

Systemkomponenten wie z.B. Staubabscheider größeren Platz bzw. Raum fordern und technisch aufwändiger sind. Vor allem bei Kleinfeuerungsanlagen führt dies dazu, dass der Anteil der Kapitalkosten an den Wärmeerzeugungskosten die Verbrauchskosten – trotz geringerer spezifischer Brennstoffpreise – deutlich übersteigen kann und die Wirtschaftlichkeit gegenüber alternativen Biomasselösungen wie z.B. Holzpellets ungünstiger ausfällt.

Das Risiko von Korrosionsschäden und gegenüber Holzfeuerungen verkürzter Lebensdauer ist bei Getreide- und Halmgutfeuerungen noch nicht genau einschätzbar. Langjährige Erfahrungen aus Dänemark zeigen zwar, dass mit Getreide- und Strohfeuerungsanlagen durchaus mit Holzheizungen vergleichbare Standzeiten erreicht werden können. Andererseits sind auch Fälle von Anlagen mit erheblichen Schäden und vergleichsweise kurzer Lebensdauer bekannt. Sie basieren einerseits auf möglichen Mängeln in Planung und Installation (u.a. zu hoch bemessene Kesselleistung, mangelhaftes hydraulisches System, ungenügende Rücklaufumtemperaturhebung) sowie andererseits auf dem Betreiber zuzurechnende Mängel in Wartung und Betrieb der Anlage (u.a. Brennstoffaufbereitung/Brennstoffqualität). Nach bisherigen Erkenntnissen ist der Betreiber Einfluss (ungeeignete Brennstoffe, viele An- und Abfahrprozesse) höher als der Technischeinfluss.

Da zu Lebensdauer und Reparaturaufwand von Getreide- und Halmgut-

feuerungen kaum Kenntnisse und Erfahrungswerte vorliegen, diese aber einen erheblichen Einfluss auf den ohnehin schon hohen Kapitalkostenanteil der Wärmebereitstellungskosten haben, sind Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit großen Unsicherheiten verbunden.

Höhere Investitionskosten und ggf. verkürzte Lebensdauer wirken sich stark auf das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen aus. Der Vorteil der geringeren spezifischen Brennstoffkosten kann daher bei Kleinfeuerungsanlagen unter 100 kW Nennleistung schnell aufgewogen werden. Löhnen kann sich eine Investition jedoch in Landwirtschaftsbetrieben sowie in Landhandels- oder Mühlenbetrieben. Interessant ist dabei insbesondere die energetische Nutzung von Getreideabfällen und Mindergetreide, das aufgrund gesetzlicher Vorschriften nicht im Nahrungs- und Futtermittelsektor verwertet werden darf und eventuell sogar kostenpflichtig entsorgt werden müsste.

Die Entscheidung für oder gegen Getreide- und Strohfeuerungsanlagen ist allerdings in der Praxis nicht allein von monetären Erwägungen abhängig, zumal diese ja ohnehin betreffend der künftigen Entwicklung der Energie- und Biomassepreise mit Unsicherheiten behaftet sind. Eine Vorzüglichkeit für die Getreideheizung (gegenüber Stroh- oder Hack-schnitzelheizung) oder für eine Strohfeuerungsanlage (gegenüber Getreide- oder Holzheizung) kann sich daher ergeben, wenn weitere Aspekte und Anforderungen in den Heizungsvergleich einbezogen werden:

- Begrenzter Lagerraum für Brennstoffe: erfordert hohe Energiedichte des Brennstoffs,
- minimale Anzahl Lkw-Fahrten für Brennstoffanlieferung: erfordert hohe Energiedichte des Brennstoffs,
- geringer Zeit-/Personalaufwand für Wartung/Kontrolle der Heizung: erfordert hohe Homogenität und gute Fließ- und Dosiereigenschaften, gute Automatisierbarkeit,
- regionale Verfügbarkeit und Kreislaufaspekt: regionale Herkunft der Brennstoffe
- Unabhängigkeit von Brennstoffmärkten und Brennstofflieferanten: erfordert eigene Biobrennstoffproduktion bzw. Nutzung von im Betrieb anfallenden Biomasseresten
- Beitrag zum Klimaschutz, CO₂-Minderung, Ressourcenschutz
- Umwelt- und Sozialverträglichkeit sowie Nachhaltigkeit der Brennstoffbereitstellung

In den nachfolgend dargestellten beispielhaften Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit werden die Kosten für bauliche Maßnahmen außer Acht gelassen. Im ländlichen Raum können Getreide- und Strohheizungen sowie Brennstofflager vielfach in anderweitig nicht mehr genutzten Räumen bzw. Gebäuden installiert werden. Sofern Heizungsraum und Brennstofflager neu zu errichten sind, können bei Getreidekesseln und insbesondere bei Strohfeuerungsanlagen (je nach Vergleichsvariante und dem dabei ggf. deutlich höherem Platzbedarf für Kessel und Abgasanlage sowie Brennstofflager) auch die Kosten für bauliche

Maßnahmen das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erheblich beeinflussen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Kosten für die Heizungsanlage je nach örtlichen Gegebenheiten und den Anforderungen der Bauherren erheblich variieren können. Auch die Standzeit bzw. die Nutzungsdauer der Heizungsanlagen kann in Abhängigkeit von der Güte der Brennstoffbereitstellung, Bedienung und Wartung der Anlagen - insbesondere bei Hackschnitzel und Getreide – um mehrere Jahre variieren. Die nachfolgenden Berechnungen sind daher nur als grobe Richtwerte aufzufassen. Bei den in der Tabelle genannten Parametern handelt es sich um mittlere Werte, die in der Praxis deutlich nach oben oder unten abweichen können.

Weiterhin ist der sehr unterschiedliche Arbeitszeitbedarf für die Brennstoffbeschickung und Anlagenbedienung sowie der ggf. erhöhte Hilfsenergiebedarf bei den verschiedenen Biomasseanlagen sowie der höhere Aufwand für Kontrolle und Wartung der Anlage zu berücksichtigen. Auch die hiermit verbundenen Aufwendungen und ggf. Kosten gehen nicht mit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ein.

Die Wirtschaftlichkeitsvergleiche beinhalten allein Biomasselösungen. Die Variante Pelletheizung liegt derzeit – wenn auch bei anderen Anteilen der Kapital- und Verbrauchskosten – in der Summe der Jahreskosten etwa auf dem gleichen Niveau einer mit Heizöl betriebenen Heizung. Auf einen Vergleich zu Heizungen für fossile Energieträger wird hier verzichtet, da das Preisrisiko für

fossile Energieträger gegenüber dem für Biomassebrennstoffe für den Betrachtungszeitraum von in der Regel 15 Jahren als wesentlich höher eingeschätzt wird. Ein mittlerer Preis für fossile Brennstoffe ist für den Betrachtungszeitraum nicht hinreichend zuverlässig abzuschätzen. Andererseits liegt bei vielen Heizungsinteressenten, z.B. aus den oben genannten nicht monetären Erwägungen, ohnehin bereits eine Vorentscheidung für Biomasseanlagen vor, so dass nur ein Vergleich diesbezüglicher Varianten nachgefragt wird.

5.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Kleinfeuerungsanlagen (< 100 kW)

In den ersten Berechnungsbeispielen werden gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) geplante neue Ein- und Mehrfamilienhäuser betrachtet.

Für ein **neu errichtetes Einfamilienhaus** mit 180 m² Wohnfläche und einem Heizwärmebedarf von 60 kWh je m² und Jahr ergibt sich z.B. eine Heizlast von maximal 7 kW. Bei – dank solarer Wärmegewinne – nur etwa 1600 Vollbenutzungsstunden errechnet sich ein Heizwärmebedarf von 11,2 MWh. Getreide- und Hackschnitzelheizungen werden für

Getreide darf gemäß 1. BImSchV in Kleinfeuerungsanlagen unter 100 kW Feuerungswärmeleistung ohne Sondergenehmigung nicht eingesetzt werden. Zu den genehmigungsrechtlichen Anforderungen sei ausdrücklich auf Kapitel 2.2 verwiesen.

diesen Bedarfsfall am Markt nicht angeboten. Sofern eine Biomasselösung favorisiert wird, wären bei dieser geringen Nennwärmeleistung einzig Holzpelletheizungen verfügbar. Da gemäß geltender 1. BImSchV in Feuerungsanlagen kleiner 15 kW grundsätzlich kein Getreide und kein Halmgut eingesetzt werden darf (und auch keine Ausnahmegenehmigung möglich ist), wird hier auf eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Getreideheizung in neuen Einfamilienhäusern verzichtet.

Das **Berechnungsbeispiel 1** stellt eine Wärmeversorgungsaufgabe mit einem Nutzwärmebedarf für Heizung und Brauchwasser von 45 MWh vor, die für einen wärmetechnisch nicht sanierten Einfamilienhaus-Altbau oder ein neues Mehrfamilienhaus mit etwa 3 Wohneinheiten zutreffen mag. Bei dieser Nutzungsart wird eine 25-kW-Heizung benötigt, die durchschnittlich ca. 1.800 Vollbenutzungsstunden in Betrieb ist.

Als Getreideheizung wurde eine durch Konstruktion und Materialwahl auf diesen Brennstoff optimierte Anlage zugrunde gelegt. Um den Anforderungen der verschiedenen Bundesländer für Ausnahmegenehmigungen im Rahmen der geltenden 1. BImSchV (bzw. deren für 2008 zu erwartende Novellierung) gerecht zu werden, wurden zusätzliche Aufwendungen für Staubfilter und Pufferspeicher berücksichtigt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen die erhebliche Bedeutung der kapitalgebundenen Kosten. Sie betragen bei der Holz-

pelletheizung jährlich rund 1.400 Euro, bei der Hackschnitzelheizung rund 2.000 Euro und bei der Getreideheizung fast 2.600 Euro. Werden die Brennstoffe auch künftig (während der angenommenen 15-jährigen Nutzungsdauer) zu den derzeitigen Marktpreisen beschafft, ergeben sich Gesamtkosten von jährlich rund 3.800 Euro bei der Pelletheizung, rund 3.900 Euro bei der Hackschnitzelheizung und rund 5.200 Euro bei der Getreideheizung. Bei den der Kalkulation zugrundeliegenden Brennstoffpreisen (je Tonne 200 Euro für Pellets, 70 Euro für Hackschnitzel, 140 Euro für Getreide) haben kapital- und betriebsgebundene Kosten einen Anteil von 43 % (Holzpelletvariante) bzw. ca. 68 % (Hackschnitzel- und Getreidevariante) an den jährlichen Gesamtkosten. Muss die Getreideheizung bereits nach 10 statt nach 15 Jahren ersetzt werden, so steigen die Jahreskapitalkosten auf rund 3.500 Euro und der Anteil der kapital- und betriebsgebundenen Kosten beträgt 72 % der Jahreskosten.

Bei Annahme von Bereitstellungskosten für Hackschnitzel von 70 €/t (2,2 Cent/kWh) gewinnt die Holzpelletheizung bei Pelletpreisen von unter 200 €/t an Vorzüglichkeit, die Getreideheizung allerdings erst bei Getreidepreisen unter 40 €/t. Aber selbst wenn Getreideabfälle kostenfrei zur Verfügung stehen, erreicht der Kostenvorteil gegenüber der Pelletheizungsvariante nicht einmal 500 Euro/Jahr.

Die Brotweizenpreise ex Ernte 2007 sind auf einem Rekordniveau von über 200 Euro/t. Die Preise für Futtergetreide

| BERECHNUNGSBEISPIEL 1 | Einheit | Pellets | Hackschnitzel | Getreide |
|---|----------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Investitionen | | | | |
| – Kessel mit Regelung | € | 8.000 | 11.000 | 15.000 |
| – Ausdehnungsgefäß, Puffer-/ Brauchwasserspeicher | € | 1.000 | 1.000 | 2.500 |
| – Lagerung/Austragung | € | 2.500 | 4.500 | 2.500 |
| – Schornstein/ Abgasleitung/ Staubfilter f. Getreide | € | 2.000 | 2.000 | 5.000 |
| – Elektroinstallation | € | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| – Lieferung, Montage, Inbetriebnahme | € | 2.000 | 3.000 | 2.500 |
| Summe | € | 16.500 | 22.500 | 28.500 |
| Förderung (Zuschuss BAFA, Stand 06/2007) | € | 1.000 | 500 | 0 |
| Summe Investition | € | 15.500 | 22.000 | 28.500 |
| Nutzungsdauern | | | | |
| Kesselanlage + Zubehör | Jahre | 15 | 15 | 15 |
| Kapitalgebundene Kosten | | | | |
| Zinssatz (vergünstigt, KfW/Rentenbank) | % | 4,00 % | 4,00 % | 4,00 % |
| Invest. p.a. | €/a | 1.394 | 1.979 | 2.563 |
| Summe kapitalgebundene Kosten | €/a | 1.394 | 1.979 | 2.563 |
| Betriebsgebundene Kosten | | | | |
| Wartung/Instandhaltung (Pellet 1 %, HS + Getreide 2 %) | €/a | 155 | 440 | 570 |
| Schornsteinfeger | €/a | 125 | 125 | 125 |
| Versicherung | €/a | 0 | 0 | 0 |
| Hilfsenergie | €/a | 60 | 80 | 60 |
| Summe betriebsgebundene Kosten | €/a | 340 | 645 | 755 |
| Jahreswärmebedarf | | | | |
| – Heizung u. Warmwasser | MWh | 45 | 45 | 45 |
| – Anlagenwirkungsgrad | % | 92 % | 90 % | 88 % |
| – Anlagennutzungsgrad | % | 87 % | 85 % | 83 % |
| Jahresbrennstoffbedarf | MWh | 51,7 | 52,9 | 54,2 |
| Verbrauchsgebundene Kosten | | | | |
| Hackschnitzel W35 | €/t | | 70 | |
| Hackschnitzel W35 | €-Cent/kWh | | 2,22 | |
| Getreide | €/t | | | 140,0 |
| Getreide | €-Cent/kWh | | | 3,50 |
| Pellets | €/t | 200 | | |
| Pellets | €-Cent/kWh | 4,00 | | |
| Verbrauchsgeb. Kosten (inkl. MwSt.) | €/a | 2.069 | 1.175 | 1.898 |
| Gesamtkosten (inkl. MwSt.) | €/a | 3.803 | 3.799 | 5.216 |

Tab. 2: (Berechnungsbeispiel 1) Heizkostenvergleich 25-kW-Anlagen, 1.800 Vollbenutzungstunden, Beträge in Euro inkl. MwSt.

de ab Hof liegen zwischen 140 und 160 Euro/t. Prognosen zufolge ist auch in den kommenden Jahren mit einem hohen Getreidepreisniveau zu rechnen. Landwirte, die selbst erzeugtes Getreide in Getreidefeuerungen einsetzen, können als Brennstoffpreis den Preis ansetzen, den sie bei Verkauf des Getreides zum Erntezeitpunkt erzielen würden, dies sind derzeit mindestens 140 Euro/t.

Die Ergebnisse aus dem 1. Berechnungsbeispiel lassen sich daher in der Weise interpretieren, dass eine Getreideheizung für Wärmeversorgungsaufgaben in Eigenheimen und kleineren Mehrfamilienhäusern nur dann eine wirtschaftliche Option darstellt, wenn Getreide als Brennstoff nahezu kostenfrei zur Verfügung steht. Marktpotenzial für kleinere Getreideheizungen ist daher vor allem in Landwirtschaftsbetrieben mit eigener Getreideaufbereitung sowie in Landhandelsunternehmen und Getreide verarbeitenden Betrieben gegeben, in denen anderweitig nicht besser verwertbare Getreidepartien bzw. Getreideabfälle zur Verfügung stehen.

Günstigere Ergebnisse sind aufgrund der deutlichen Kostendegression hinsichtlich der Investitionskosten bei größeren Nennwärmeleistungen und bei Wärmeversorgungsaufgaben mit höheren Vollbenutzungsstunden zu erwarten.

Mit dem **Berechnungsbeispiel 2** soll daher geprüft werden, ob eine Wärmeversorgungsaufgabe mit einer 99-kW-Heizung und 3.000 Vollbenutzungsstunden eine Vorzüglichkeit für die Getreide-

heizung aufweist. In diesem Beispiel beträgt der Jahres-Nutzwärmebedarf 297 MWh. Die jährlichen kapitalgebundenen Kosten summieren sich bei der Holzpellettheizung auf rund 2.500 Euro, bei der Hackschnitzelheizung auf ca. 3.200 Euro und bei der Getreideheizung auf ca. 3.300 Euro. Bei einem Bedarf von 70 Tonnen Holzpellets, 130 Tonnen Hackschnitzel (W35, ca. 490 Srm) und ca. 90 Tonnen Getreide sind jährliche Gesamtkosten von rund 17.300 Euro für die Holzpellettheizung, 11.900 Euro für die Hackschnitzelheizung und 16.800 Euro für die Getreideheizung zu veranschlagen. Bei den der Kalkulation zugrunde liegenden Brennstoffpreisen (je Tonne 200 Euro für Pellets, 70 Euro für Hackschnitzel, 140 Euro für Getreide) haben kapital- und betriebsgebundene Kosten einen Anteil an den jährlichen Gesamtkosten von 19% bei Holzpellettheizung bzw. 35% bei Hackschnitzelheizung und 25% bei Getreideheizung. Muss die Getreideheizung bereits nach 10 statt 15 Jahren ersetzt werden, steigen die Jahreskapitalkosten auf rund 4.500 Euro und der Anteil der kapital- und betriebsgebundenen Kosten beträgt 30% der Jahreskosten.

Bei Annahme von Bereitstellungskosten für Hackschnitzel (W35) in Höhe von 70 €/t (entspricht 2,2 Cent/kWh) würde die Holzpellettheizung erst bei Pelletpreisen unter 120 €/t an Vorzüglichkeit gewinnen, die Getreideheizung bei Getreidepreisen unter 85 €/t. Da die Prognosen zur künftigen Entwicklung der Getreidepreise für die kommenden Jahre keine Marktpreise von unter 85 €/t erwarten lassen, ist auch für dieses Be-

| BERECHNUNGSBEISPIEL 2 | Einheit | Pellets | Hackschnitzel | Getreide |
|--|----------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Investitionen | | | | |
| – Kessel mit Regelung | € | 20.000 | 22.000 | 20.000 |
| – Ausdehnungsgefäß, Puffer-/ Brauchwasserspeicher | € | 1.000 | 1.000 | 3.500 |
| – Lagerung/Austragung | € | 3.500 | 5.500 | 3.500 |
| – Schornstein/Abgasleitung/ Staubfilter f. Getreide | € | 2.500 | 2.500 | 6.000 |
| – Elektroinstallation | € | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| – Lieferung, Montage, Inbetriebnahme | € | 2.500 | 4.000 | 2.500 |
| Summe | € | 30.500 | 36.000 | 36.500 |
| Förderung (Zuschuss BAFA, Stand 06/2007) | € | 2.376 | 500 | 0 |
| Summe Investition | € | 28.124 | 35.500 | 36.500 |
| Nutzungsdauern | | | | |
| Kesselanlage + Zubehör | Jahre | 15 | 15 | 15 |
| Kapitalgebundene Kosten | | | | |
| Zinssatz (vergünstigt, KfW/Rentenbank) | % | 4,00 % | 4,00 % | 4,00 % |
| Invest. p.a. | €/a | 2.530 | 3.193 | 3.283 |
| Summe kapitalgebundene Kosten | €/a | 2.530 | 3.193 | 3.283 |
| Betriebsgebundene Kosten | | | | |
| Wartung/Instandhaltung (2 % der Invest.) | €/a | 562 | 710 | 730 |
| Schornsteinfeger | €/a | 125 | 125 | 125 |
| Versicherung | €/a | 0 | 0 | 0 |
| Hilfsenergie | €/a | 120 | 150 | 120 |
| Summe betriebsgebundene Kosten | €/a | 807 | 985 | 975 |
| Jahreswärmebedarf | | | | |
| – Heizung u. Warmwasser | MWh | 297 | 297 | 297 |
| – Anlagenwirkungsgrad | % | 90 % | 90 % | 88 % |
| – Anlagennutzungsgrad | % | 85 % | 85 % | 83 % |
| Jahresbrennstoffbedarf | MWh | 349,4 | 349,4 | 357,8 |
| Verbrauchsgebundene Kosten | | | | |
| Hackschnitzel W35 | €/t | | 70 | |
| Hackschnitzel W35 | €-Cent/kWh | | 2,22 | |
| Getreide | €/t | | | 140,0 |
| Getreide | €-Cent/kWh | | | 3,50 |
| Pellets | €/t | 200 | | |
| Pellets | €-Cent/kWh | 4,00 | | |
| Verbrauchsgeb. Kosten (inkl. MwSt.) | €/a | 13.976 | 7.740 | 12.524 |
| Gesamtkosten (inkl. MwSt.) | €/a | 17.313 | 11.918 | 16.782 |

Tab. 3: (Berechnungsbeispiel 2) Heizkostenvergleich 99-kW-Heizungsanlage, 3.000 Vollbenutzungsstunden, Beträge in Euro inkl. MwSt.

| BERECHNUNGSBEISPIEL 3 | Einheit | Pellets | Hackschnitzel | Getreide |
|---|----------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Investitionen | | | | |
| – Kessel mit Regelung | € | 20.000 | 22.000 | 20.000 |
| – Ausdehnungsgefäß, Puffer-/ Brauchwasserspeicher | € | 1.000 | 1.000 | 3.500 |
| – Lagerung/Austragung | € | 3.500 | 5.500 | 3.500 |
| – Schornstein/ Abgasleitung/ Staubfilter f. Getreide | € | 2.500 | 2.500 | 6.000 |
| – Elektroinstallation | € | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| – Lieferung, Montage, Inbetriebnahme | € | 2.500 | 4.000 | 2.500 |
| Summe | € | 30.500 | 36.000 | 36.500 |
| Förderung (Zuschuss BAFA, Stand 06/2007) | € | 2.376 | 500 | 0 |
| Summe Investition | € | 28.124 | 35.500 | 36.500 |
| Nutzungsdauern | | | | |
| Kesselanlage + Zubehör | Jahre | 15 | 15 | 15 |
| Kapitalgebundene Kosten | | | | |
| Zinssatz (vergünstigt, KfW/Rentenbank) | % | 4,00 % | 4,00 % | 4,00 % |
| Invest. p.a. | €/a | 2.530 | 3.193 | 3.283 |
| Summe kapitalgebundene Kosten | €/a | 2.530 | 3.193 | 3.283 |
| Betriebsgebundene Kosten | | | | |
| Wartung/Instandhaltung (2 % der Invest.) | €/a | 562 | 710 | 730 |
| Schornsteinfeger | €/a | 125 | 125 | 125 |
| Versicherung | €/a | 0 | 0 | 0 |
| Hilfsenergie | €/a | 120 | 150 | 120 |
| Summe betriebsgebundene Kosten | €/a | 807 | 985 | 975 |
| Jahreswärmebedarf | | | | |
| – Heizung u. Warmwasser | MWh | 495 | 495 | 495 |
| – Anlagenwirkungsgrad | % | 90 % | 90 % | 88 % |
| – Anlagennutzungsgrad | % | 85 % | 85 % | 83 % |
| Jahresbrennstoffbedarf | MWh | 582,4 | 582,4 | 596,4 |
| Verbrauchsgebundene Kosten | | | | |
| Hackschnitzel W35 | €/t | | 70 | |
| Hackschnitzel W35 | €-Cent/kWh | | 2,20 | |
| Getreide | €/t | | | 140,0 |
| Getreide | €-Cent/kWh | | | 3,50 |
| Pellets | €/t | 200 | | |
| Pellets | €-Cent/kWh | 4,00 | | |
| Verbrauchsgeb. Kosten (inkl. MwSt.) | €/a | 23.294 | 12.812 | 20.873 |
| Gesamtkosten (inkl. MwSt.) | €/a | 26.631 | 16.990 | 25.131 |

Tab. 4: (Berechnungsbeispiel 3) Heizkostenvergleich 99-kW-Heizungsanlage, 5.000 Vollbenutzungsstunden, Beträge in Euro inkl. MwSt.

rechnungsbeispiel festzustellen, dass die Marktpotenziale für den Einsatz von Getreideheizungen insbesondere im Bereich der Agrarwirtschaft liegen und den Einsatz von Getreideabfällen und minderwertigen Getreidepartien betreffen. Selbst bei einem Einsatz der Heizungsanlage über 5.000 Vollbenutzungsstunden (**Berechnungsbeispiel 3**) ist noch keine Vorzüglichkeit der Getreideheizung zu erreichen, da der Schwellenpreis für Getreide wie im vorigen Beispiel bei rd. 85 €/t liegt.

Weiterhin kann aus diesen Berechnungen gefolgert werden, dass ein Anbau von Energiegetreide für die Körnernutzung in Feuerungsanlagen keine Wettbewerbskraft gegenüber dem Anbau von Getreide bzw. Mais als Energiepflanzen für die Nutzung in Bioethanol- bzw. Biogasanlagen besitzt.

5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Kleinf Feuerungsanlagen (100 kW bis 1 MW)

Feuerungsanlagen für Biobrennstoffe wie Getreide und Stroh fallen ab einer Feuerungswärmeleistung von 100 kW in den Geltungsbereich der 4. BImSchV. Für die Errichtung und den Betrieb von solchen Feuerungsanlagen schreibt diese Verordnung ein Genehmigungsverfahren gemäß § 19 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vor, dass Kosten für Gebühren und Gutachten im mittleren 4-stelligen bis in den 5-stelligen Bereich bedingt. Weiterhin sind für die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach TA-



Luft erhebliche Anlageninvestitionen in die Entstaubung und ggf. Entstickung der Rauchgase erforderlich. Eine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Holzfeuerungen (die erst ab 1000 kW in den Geltungsbereich der 4. BImSchV fallen) ist daher auch in diesem Fall nur bei Einsatz von Stroh und preisgünstigen Getreidepartien zu erwarten. In diesem Leistungsbereich kommen bei Holzhackschnittelfeuerungen oft auch anteilig günstigere Altholzsortimente sowie bei Pelletfeuerungen günstigere Industriepellets zum Einsatz, so dass mit Getreidefeuerungen bei zu Marktpreisen zu beziehendem Getreide keine wirtschaftlichen Vorteile zu erreichen sind.

5.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Heizwerke ab 1 MW

Bei Biomasse-Heizwerken und Heizkraftwerken oberhalb 1 MW Feuerungsleistung fallen die grundsätzlichen Unterschiede in den Planungs- und Bau-

kosten von Getreide- und Halmgut-Feuerungsanlagen gegenüber Holzfeuerungsanlagen nicht mehr gravierend aus und werden vielfach durch standortspezifische Anforderungen, z.B. über die TA-Luft-Anforderungen hinausgehende, niedrigere Staubemissionen oder bauliche Besonderheiten, überlagert.

Je nach Verfügbarkeit verschiedener Holzhackschnitzelsortimente (z.B. Altholz, Waldrestholz, Hackschnitzel aus Landschaftspflege und landwirtschaftlichen Kurzumtriebsplantagen), von über-



schüssigem Stroh und preisgünstigen Getreidepartien bzw. Getreideabfällen ist für den jeweils günstigsten Brennstoff bzw. für Brennstoffmischungen eine Vorzüglichkeit zu erwarten. Mit Preisen zwischen etwa 40 und 80 Euro je Tonne wird Getreidestroh (Quader- bzw. Rundballen, auch Miscanthus) etwas günstiger bewertet als Waldholz-Hackschnitzel mit 50 bis 110 Euro je Tonne (bei 35 % Wassergehalt, Durchschnittspreis ca. 70 Euro je Tonne im 1. Quartal 2007). Die Entscheidung für oder gegen einzelne Biobrennstoffe wird u.a. auch davon abhängen, ob Liefer- und Preisgarantien für längere Zeiträume abgesichert werden können. Weiterhin erlangen Aspekte wie regionale Herkunft der Biobrennstoffe, Wertschöpfung und Arbeitsplätze sowie Nachhaltigkeit der Erzeugung eine zunehmende Bedeutung. Bei Planungen von Biomasse-Heizwerken und Heizkraftwerken wird daher empfohlen, die Einsatzmöglichkeit und Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biobrennstoffe in Machbarkeitsstudien zu prüfen.

6 Perspektiven

Die ursprünglich gegebenen technischen Probleme des Heizens mit Stroh oder Getreide sind für Kleinfeuerungsanlagen mittlerweile als weitgehend gelöst zu betrachten. Auch die geltenden Grenzwerte der aktuellen 1. BImSchV können mit Stroh- und Getreidekesseln eingehalten werden. Die Staub- und Kohlenmonoxidemissionen liegen bei bestimmten modernen Anlagen sogar noch deutlich darunter.

Da Stroh und Getreide in einigen Fällen auch in Kleinfeuerungskesseln sinnvoll für eine nachhaltige Energiebereitstellung sorgen können, setzt sich die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) dafür ein, diesen Anlagen auch rechtlich den Weg zu bahnen. Dazu wurden im Rahmen von Felduntersuchungen praxisrelevante Emissionsmessungen durchgeführt. Die Untersuchungen zeigen, dass moderne Getreideheizungen genehmigungsfähig sind. Konventionelle getreidedaugliche Anlagen bedürfen dazu zusätzlicher Maßnahmen, z.B. zur Staubemissionsminderung. Mit den Forschungsarbeiten wurde die Grundlage gelegt, um Getreide als Regelbrennstoff in die 1. BImSchV aufzunehmen.

Die Aufnahme von Getreide als Regelbrennstoff in die 1. BImSchV wird weitere Entwickler und Hersteller zu Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich animieren. Daran knüpft sich die Erwartung, dass diese Entwicklungen den Stand der Technik ganz we-

sentlich voranbringen und einen effizienten, emissionsarmen und sicheren Dauerbetrieb mit Getreide, Stroh und Energiepflanzen ermöglichen. Verbesserte rechtliche Rahmenbedingungen können schließlich zu höheren Stückzahlen und damit über Degressionseffekte auch zu niedrigeren Kosten für Stroh- und Getreidekessel führen.

Im Zuge der aktuellen Novellierung der 1. BImSchV plädiert die FNR nicht nur für die Aufnahme von Getreide als Regelbrennstoff, sondern auch für eine Anpassung der Grenzwerte für alle biogenen Brennstoffe an die jeweilige technische Entwicklung.

Unter Berücksichtigung der Forschungs- und Untersuchungsergebnisse aus den Projekten zum Heizen mit Getreide und Halmgut und mit Unterstützung der Teilnehmer des Fachseminars „Alternative Biobrennstoffe“ am 21.6.2007 in Berlin wurden Empfehlungen zur Änderung der geltenden Genehmigungspraxis abgeleitet. Um den Prozess der Aufnahme von Getreide als Regelbrennstoff in die 1. BImSchV zu beschleunigen, schlägt die FNR vor,

1. Getreide umgehend als Regelbrennstoff im Geltungsbereich der 1. BImSchV zuzulassen,
2. differenzierte Schadstoffgrenzwerte für Anlagen mit Getreide und nicht holzartigen Bioenergieträgern im Geltungsbereich der 1. BImSchV leistungsabhängig zu gestalten und dabei die technischen Entwicklungen der kommenden Jahre zu berücksichtigen und

3. die Leistungsgrenze genehmigungspflichtiger Anlagen gemäß 4. BImSchV mit Getreide und Stroh von 100 kW auf 1 MW anzuheben und sie damit generell an die Leistungsgrenzen für die Genehmigungspflicht von Anlagen mit Holzbrennstoffen anzupassen.

Der von der FNR empfohlene Stufenplan (als Änderungsvorschlag zu §5 „Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von vier Kilowatt oder mehr“ des Referentenentwurfs zur 1. BImSchV-Novelle) schlägt daher eine schrittweise Reduzierung der Emissionsgrenzwerte bis zum Jahr 2015 vor (siehe Tabelle).

Dieser Stufenplan kommt nicht nur dem Umweltschutz zugute, sondern bietet der Industrie Anreiz und Perspektive für die weitere Kesselentwicklung und -optimierung. Mit diesen Vorschlägen wird ein gangbarer Weg aufgezeigt, die rechtlichen Anforderungen an die Emissionen von Kleinf Feuerungsanlagen zu verschärfen, ohne die derzeitigen und künftigen technischen Möglichkeiten außer Acht zu lassen. Damit ergibt sich die Chance, weitere technische Entwicklungen auf dem Markt der Getreidefeuerungsanlagen zu initiieren und das Potenzial von Getreide als Brennstoff sukzessive zu nutzen.

| Zeitschiene 1. BImSchV-Novelle | Stufe | CO (Grenzwert, g/Nm ³ , 13 % O ₂) | Staub (Grenzwert, g/Nm ³ , 13 % O ₂) | NOx (Zielwert, g/Nm ³ , 13 % O ₂) |
|-----------------------------------|-------|---|--|---|
| ab Inkrafttreten | 1 | 2 | 0,13 | 1 |
| 4 Jahre nach Inkrafttreten | 2 | 1 | 0,10 | 0,8 |
| 9 Jahre nach Inkrafttreten | 3 | 0,6 | 0,075 | 0,6 |

Tab. 5: Stufenplan für Kleinf Feuerungsanlagen mit Getreide
Nennwärmeleistung > 4 kW, Feuerungswärmeleistung < 500 kW

| Zeitschiene 1. BImSchV-Novelle | Stufe | CO (Grenzwert, g/Nm ³ , 13 % O ₂) | Staub (Grenzwert, g/Nm ³ , 13 % O ₂) | NOx (Zielwert, g/Nm ³ , 13 % O ₂) |
|-----------------------------------|-------|---|--|---|
| ab Inkrafttreten | 1 | 1 | 0,10 | 0,8 |
| 4 Jahre nach Inkrafttreten | 2 | 0,6 | 0,075 | 0,6 |
| 9 Jahre nach Inkrafttreten | 3 | 0,4 | 0,05 | 0,5 |

Tab. 6: Stufenplan für Kleinf Feuerungsanlagen mit Getreide
Feuerungswärmeleistung > 500 kW und < 1 MW

7 Adressen und Links

Fachinformation

www.fnr.de
www.bio-energie.de
www.tll.de/ainfo
www.carmen-ev.de
www.tfz.bayern.de
www.lfu.bayern.de

Kesselhersteller und Planungsbüros

www.bio-energie.de » Datenbank

Förderung

www.kfw-foerderbank.de
www.rentenbank.de
www.foerderdatenbank.de





Herausgeber

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: 0 38 43 / 69 30-0
Fax: 0 38 43 / 69 30-1 02
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Gedruckt auf Papier aus Durchforstungsholz
mit Farben auf Leinölbasis