



Fachhochschule Trier



Fachbereich VEL

Studiengang Versorgungstechnik

**Studie über die Wärmeerzeugung mittels Getreideverbrennung in Kleinf Feuerungsanlagen
bis 100 kW**

Verfasser:

Dipl.- Ing. Christine Berens
Stengelhofstraße 61
68219 Mannheim

Gliederung

Danksagung	2
1 Einleitung	3
2 Getreideverbrennung unter ethischen Gesichtspunkten	6
3 Das Getreidekorn - wirtschaftliche und stoffliche Aspekte	8
3.1 Anbauflächen und Erträge	9
3.2 Stoffliche Eigenschaften	15
3.3 Energetische Eigenschaften	19
3.4 Brennstoffkosten	22
4 Rechtliche Situation – derzeitige Gesetzeslage	24
5 Technische Aspekte bei der Getreideverbrennung	27
5.1 Vorteile der Technik der Getreideverbrennung	28
5.2 Nachteile der Technik der Getreideverbrennung	30
6 Wirtschaftlichkeit von Getreideverbrennungsanlagen im Vergleich mit anderen biogenen Verbrennungsanlagen und konventionellen Kesselanlagen mit Ölfeuerung	35
6.1 Erklärung des Berechnungsverfahrens	35
6.2 Berechnung der Annuitäten	40
6.3 Ermittlung der Annuitäten und der Kilowattstundenpreise	42
7 Angebotene Anlagen der Kesselhersteller	45
8 Abschließende Bewertung	50
9 Quellenverzeichnis	54
10 Anhang	55

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Keilen vom Ministerium für Umwelt und Forsten für die Möglichkeit der Durchführung dieser Studie bedanken. Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Schlich von der Fachhochschule Trier, der mich während meiner Arbeit unterstützt hat.

1 Einleitung

Auftraggeber dieser Studie ist das Ministerium für Umwelt und Forsten in Mainz.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen allgemeinen Überblick über die Thematik der Getreideverbrennung, insbesondere in kleineren Kesselanlagen bis 100 kW Kesselleistung, zu geben.

Insbesondere folgende Fragen gilt es dabei zu klären:

- Welche Bedeutung kommt der Energiebereitstellung mittels Getreideverbrennung in der heutigen Zeit zu?
- Was sagt der Gesetzgeber?
- Welche Vor- und Nachteile hat diese Art der Verbrennung?
- Wie ist der derzeitige Stand der Technik?
- Welche Hersteller für Kessel zur Getreideverbrennung gibt es und welche Systeme bieten sie an?
- Welche Entwicklungen lassen sich für die Zukunft prognostizieren?

Seit den Ölkrisen in den 70er Jahren beschäftigt man sich intensiv mit der Wärme- und Stromerzeugung durch erneuerbare Energieträger. Dies lag zum einen an der Tatsache, dass primäre Rohstoffe wie Öl oder Kohle immer knapper wurden und in Bezug auf den Umweltschutz, sprich Schadstoffausstoß, ein Umdenken erfolgen musste. Die Alternativen liegen seither in der Solarenergie, Windenergie, Biomasse und Wasserkraft. In den letzten Jahren trat im Bereich der Biomassennutzung die Stroh- und Getreideverbrennung hinzu.

Die Entwicklung in der Technik Getreideverbrennung steht in Deutschland allerdings noch am Anfang. Vorreiter dieses Verfahrens sind die Länder Dänemark und Österreich. Warum es gerade diese beiden Länder sind, soll der folgende Abschnitt deutlich machen.

➤ **Dänemark:**

Stroh ist in Dänemark bereits seit 30 Jahren ein bekannter Brennstoff, der in vielen Fernheizwerken und bäuerlichen Kleinanlagen zum Einsatz kommt. Seit 10 Jahren ist auch die Getreideverbrennung bekannt. Verantwortlich für die rasche Entwicklung in Dänemark sind laut Dipl.-Ing. Claus Hermann Kühl von der Bio-Energietechnik Nord GmbH zwei Faktoren: Zum einen unterliegen die Biomasseanlagen in Dänemark keinen Abgasgrenzwerten und zum anderen liegt der Heizölpreis durch eine neu hinzugekommene CO₂-Steuer bei derzeit ca. 75 Cent/Liter. Diese hohen Primärenergiepreise treiben die Entwicklung in der Technik zur Nutzung alternativer Energiequellen zusätzlich voran.

Zurzeit gibt es in Dänemark ca. 10.000 Getreidefeuerungsanlagen (hauptsächlich bäuerliche Kleinanlagen bis 50 kW). [1]

Obwohl keine Abgasgrenzwerte existieren, fördert der Staat nur Anlagen mit einem Wirkungsgrad >80% und CO-Werten <3000 mg/m³.

➤ **Österreich:**

Zur Lage in Österreich hier nun eine Stellungnahme von Dipl.-Hilf. Ing. Josef Meisl von der landwirtschaftlichen Fachschule Tulln:

„Österreich treibt die Entwicklung in Sachen Getreideverbrennung ebenfalls aus zwei Gründen voran. Zum einen soll eine Entkopplung des Wirtschaftswachstums von einem Anstieg der fossilen Energieträger, und zum anderen die Forcierung, Bewusstseinsmachung und praxistaugliche Umsetzung von erneuerbaren Energieträgern erfolgen. Wie auch in Dänemark existieren keine Abgas- bzw. Emissionsgrenzwerte. Für die Inbetriebnahme ist die bundesländerspezifische Bautechnikverordnung zuständig. Der Betreiber muss bei der Baubehörde um Benützungsbewilligung ersuchen [1].

Da die Brennstoffe „kornartige Rohstoffe“ in der bundesländerübergreifenden „15a Artikelverordnung“ nicht definiert sind und daher keine Grenzwerte vorliegen, haben sich die Kesselhersteller auf Folgendes geeinigt:

Sie lassen ihre Anlagen analog der EU-Norm 303/5 auf Holz basierend vom TÜV prüfen. In den relevanten Prüfungsparametern haben die mit kornartigen Rohstoffen befeuerten Kesselanlagen der „Holzverordnung“, EU-Norm 303/5, Holz, entsprochen. Lediglich bei den Stickoxiden sind die Grenzwerte von 150 mg/m³ Rauchgas überschritten. Der Grund hierfür liegt im hohen Eiweißgehalt der Körnerpflanzen.

Derzeit sind im Bundesland Nordösterreich ca. 100 Getreideverbrennungsanlagen in Betrieb (bäuerliche Kleinanlagen) [1].“

Da in den beiden genannten Ländern bereits einiges an Entwicklungsarbeit geleistet wurde ist dies für Deutschland Grund genug nachzuziehen und die gewonnenen Erkenntnisse zu nutzen und weiter auszuarbeiten. Eine Hilfestellung dazu soll die hier vorliegende Studie geben.

An dieser Stelle muss aber hinzugefügt werden, dass die Ausgangssituation in Deutschland eine ganz andere ist. Die Rechtslage ist hier weitaus komplizierter. Die Anlagen zur Getreideverbrennung unterliegen den Bestimmungen der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV) und dem Anhang 1.3 der 4. BImSchV für genehmigungsbedürftige Anlagen. Da die Getreideverbrennungsanlagen noch nicht eindeutig zuzuordnen sind, ist ein Genehmigungsverfahren entsprechend aufwendig. Primär vorangetrieben wird eine Entwicklung der Getreideverbrennung nicht durch den Staat, sondern von landwirtschaftlicher Seite.

Grund dafür ist folgende Tatsache:

Infolge der reformierten Agrarpolitik wird der Getreidemarkt verstärkt vom Weltmarkt beeinflusst. Seit 1984 sind die Getreidepreise nahezu kontinuierlich gesunken. Infolgedessen liegt der Preis für Getreide als Nahrungsmittel heute unter seinem Wert als Brennstoff. Dieser an sich traurige Fakt hat viele Bauern dazu veranlasst über eine Verbrennung des Getreides nachzudenken. Da diese Bewegung der Politik nicht verborgen bleibt, ist zurzeit eine Diskussion über die Verbrennung von Getreide und das weitere Vorgehen, sprich gesetzliche Regelung, verstärkt im Gange.

2 Getreideverbrennung unter ethischen Gesichtspunkten

Im Rahmen des Themas Getreideverbrennung wird vornehmlich über die technischen Potentiale diskutiert, allerdings muss die Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz mitbedacht werden. Es ist zu befürchten, dass die energetische Nutzung von Getreide ebenfalls wie der Einsatz der grünen Gentechnik Gegenstand eines „ritualisierten Streits“ wird [1]. Es muss bedacht werden, dass es sich bei Getreide immer noch vorrangig um ein Nahrungsmittel handelt. Die Tatsache, dass auch unter dem Aspekt des Klima- bzw. Umweltschutzes ein Hauptnahrungsmittel verbrannt wird, löst bei großen Teilen der Bevölkerung ethische Bedenken aus.

Zurzeit leiden etwa 900 Millionen Menschen weltweit an Unterernährung. Hält die Bevölkerungsexplosion in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiter so an, werden es noch viel mehr Menschen werden, die vom Hungertod bedroht sind.

Für viele Menschen steht daher eine Frage im Mittelpunkt:

Wie können die Industrieländer Getreide verbrennen, wenn auf der Welt so viele Menschen Hunger leiden müssen?

Unter diesem Aspekt erscheint die Getreideverbrennung höchst unmoralisch [4].

Ausgangspunkt einer angemessenen ethischen Bewertung muss das Recht des Menschen sein, sein physisches und ökonomisches Überleben zu sichern. Zwar geht es nicht darum, dass das Überleben derer, die Getreide verbrennen akut bedroht ist, aber es geht darum, dass die Länder, die Getreide verbrennen vorrangig für den Klima- bzw. Umweltschutz verantwortlich sind, weil sie alleine die ausreichenden Mittel zur Verfügung haben. Fakt ist, dass in den Industrieländern ein Umdenken hinsichtlich der Emissionseinschränkung begonnen hat um das Leben auf der Erde auch in Zukunft sichern zu können. Des Weiteren ist auch Fakt, dass in den Industrienationen jährlich große Mengen an Getreide im Überschuss produziert werden, die, würden sie nicht verbrannt werden, anderweitig, z.B. durch Deponierung oder Alkoholproduktion, vernichtet bzw. umgewertet würden.

Befürworter der Getreideverbrennung argumentieren daher, dass es keinen Sinn macht Getreide zu vernichten, obwohl es als Energieträger genutzt werden kann.

Zwar wurde schon vereinzelt daran gedacht, den Getreideüberschuss in Drittweltländer zu schaffen, aber sah man bald wieder davon ab, da damit die dortigen Märkte zerstört und die Menschen vollends in die Abhängigkeit getrieben würden.

Auch wären dann beispielsweise der Anbau von Raps zur Treibstoffherstellung und die Getreidevergärung für die Herstellung von Alkohol ebenso fragwürdig. Hier werden ebenfalls Nahrungsmittel verwertet, die ursprünglich zur Nahrungserzeugung und als Futtermittel gedacht waren. Da diese Tatsache aber bis heute nicht Gegenstand einer ethischen Diskussion waren, sollte überlegt werden, ob die Verbrennung von Getreide wirklich so ethisch verwerflich ist.

Auch wenn die Ethik dieses Thema als höchst problematisch und schwer zu diskutieren erscheinen lässt, kann sie andererseits auch als Chance gesehen werden. Sie kann dazu beitragen die Kommunikation zum Thema sachgemäß zu strukturieren und die Diskussionsteilnehmer vor einem ständigen hin- und herspringen zwischen den Themenfeldern zu bewahren. Es bleibt also zu hoffen, dass es Politiker, sowie Wirtschaftleute schaffen eine vernünftige Diskussionsebene zu finden. Es kann schließlich ganz klar gesagt werden, dass die Zeichen der Zeit erkannt werden müssen, die dargebotenen Chancen zu nutzen sind und niemandem damit geholfen ist, das Thema in einer jahrelangen Diskussion breit zu reden.

3 Das Getreidekorn - wirtschaftliche und stoffliche Aspekte

Das nun folgende Kapitel 3 dient der Hinführung auf den Hauptteil dieser Studie, in dem die Getreideverbrennung auf ihre technischen Eigenschaften, ihre Durchführbarkeit und ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht wird.

Es wird aufgelistet, welche Arten von Getreide es derzeit auf dem Markt gibt, welche Mengen pro Jahr in Deutschland geerntet werden und welcher Prozentsatz davon einer Verbrennung zugeführt werden könnte. Des Weiteren erfolgt eine Diskussion der stofflichen Eigenschaften verschiedener Getreidesorten im Hinblick auf eine Verbrennung sowie ein Vergleich des Brennstoffs Getreide mit anderen biogenen Brennstoffen.

Das Ergebnis dieser Diskussion liefert schon vorab eine wichtige Erkenntnis:

Aus der Angabe, welche Mengen pro Jahr in Deutschland für die Verbrennung zur Verfügung stehen, und deren Vergleich mit dem Energieinhalt von konventionellen Brennstoffen wie Öl oder Gas, lässt sich abschätzen, welcher Prozentsatz des Energiebedarfs in Deutschland mittels Verbrennung von Getreide abgedeckt werden könnte. Dieses Potential erlaubt eine erste Abschätzung der Zukunftschancen dieser Art der Energiebereitstellung, zumal die Entwicklung dieser Technik in Deutschland erst am Anfang steht und zudem derzeit vom Gesetzgeber nicht eindeutig geregelt ist.

3.1 Anbauflächen und Erträge

Ausgangswert für die Ermittlung des Potentials der Getreideverbrennung sind die Anbauflächen und die Erträge, bezogen auf Gesamtdeutschland. Da aber nicht alles Getreide und jeder Art beliebig für die Verbrennung eingesetzt werden kann, gilt es anschließend zu klären, welcher Prozentsatz der gesamten Erntemenge für die Verbrennung zur Verfügung steht.

Folgende Hauptgetreidearten werden in Deutschland kultiviert und kommen für die Verbrennung in Frage:

- Weizen
- Gerste
- Hafer
- Roggen
- Triticale

Es gibt darüber hinaus selbstverständlich noch viele weitere Getreidearten, aber um eine gewisse Übersichtlichkeit in dieser Studie zu gewährleisten, werden nur diese fünf wichtigsten Arten betrachtet. Sie sind zudem auch die wichtigsten Getreidearten, sei es als Nahrungsmittel oder als Futtermittel. Alle anderen Arten kommen in solch geringen Prozentsätzen vor, dass sie in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet werden müssen. Durch den hohen Prozentanteil dieser Getreidearten an der Gesamtjahresproduktion ist auch ohne Betrachtung aller anderen Getreidearten eine zuverlässige Aussagekraft über das Energiepotential der Getreideverbrennung gewährleistet.

Die folgende Tabelle 3.1.1 stellt die Getreideanbauflächen für die oben genannten Hauptgetreidearten für das gesamte Bundesgebiet gegenüber. Die aufgeführten Daten stammen vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft in Bonn.

Bodennutzung 2001, 2002 und 2003 (vorläufig) (vorläufiges Ergebnis) Aufgliederung des Ackerlandes				
Fläche	2001	2002	2003 vorläufig	2003 vorläufig gegen 2002
	1000 ha			± %
Winterweizen (ohne Durum)	2 850	2 962	2 837	-4,2
Sommerweizen (ohne Durum)	43	48	123	+157,4
Hartweizen (Durum)	5	5	8	+58,1
Weizen zusammen	2 898	3 015	2 968	-1,6
Roggen	837	728	531	-27,2
Wintermenggetreide	9	10	11	+16,6
Brotgetreide zusammen	3 743	3 753	3 509	-6,5
Wintergerste	1 473	1 361	1 337	-1,8
Sommergerste	639	610	750	+23,1
Gerste zusammen	2 111	1 970	2 087	+5,9
Hafer	233	233	260	+11,6
Sommernenggetreide	27	25,8	32	+22,1
Triticale	534	561	501	-10,5
Futter- u. Industriegetreidearten zusammen	2 906	2 790	2 880	+3,2
Getreide zusammen (ohne Körnermais)	6 650	6 542	6 389	-2,3
Winterraps	1 116	1 276	1 221	-4,3

Tabelle 3.1.1: Auflistung der Getreideanbauflächen für die Jahre 2001, 2002 und 2003 (vorläufig) [8]

Die Tabelle stellt die Anbauflächen für die fünf wichtigsten Getreidearten Weizen , Hafer, Gerste, Roggen und Triticale gegenüber, allerdings erfolgt eine detailliertere Aufschlüsselung in Bezug auf die einzelnen Getreidesorten. Es erfolgt bei Weizen und Gerste eine Differenzierung zwischen Winter- und Sommergetreide. Des Weiteren gibt es eine Spalte für den Hartweizen.

Ebenfalls finden sich dort auch das Sommer- und Wintermenggetreide. Es handelt sich dabei um Anbauflächen auf denen mehrere Getreidearten als „Gemenge“ angebaut werden.

Abgesehen von den Getreidearten befindet sich in der letzten Zeile eine Anbauflächenangabe für den Winterraps. Es ist deshalb an dieser Stelle nur Winterraps angeführt, weil er den größten Teil der Rapsproduktion stellt und der Sommerraps zu selten angebaut wird um hier Berücksichtigung zu finden. Der Raps verdient es ebenfalls genannt zu werden, denn wie sich im Verlauf dieser Studie herausstellen wird, zeigt auch er hervorragende Eigenschaften in Bezug auf die Verbrennung zur Energiebereitstellung.

Um die oben genannten Zahlen für die Getreideanbauflächen genauer zu verdeutlichen, stellt Diagramm 3.1.1 die Anbauflächen der einzelnen Arten in einem Säulendiagramm gegenüber.

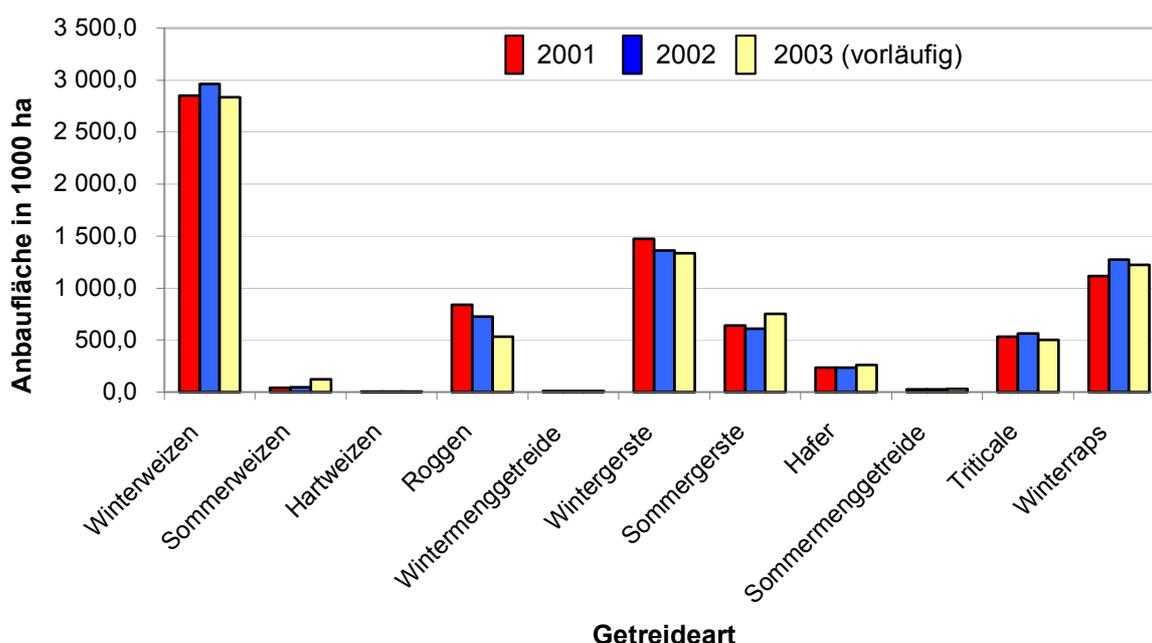


Diagramm 3.1.1: Übersicht über die Anbauflächen einzelner Getreidearten

Aus Tabelle 3.1.1 bzw. Diagramm 3.1.1 lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Die Größe der Anbaufläche der einzelnen Getreidearten variiert nicht sehr stark zwischen den Jahren 2001 und 2002. Die Zahlen für das Jahr 2003 werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da es sich dabei zum jetzigen Zeitpunkt um prognostizierte Werte handelt.
- Weizen ist die am häufigsten vorkommende Getreideart. Die Anbaufläche beträgt etwa 3.000.000 ha.
- Diejenigen Getreidearten, die aufgrund ihrer Anbaufläche wirklich ins Gewicht fallen sind der Winterweizen, Roggen, Winter- und Sommergerste, Hafer und Triticale. Die Größen der Anbauflächen bewegen sich zwischen 250.000 ha und 1.500.000 ha.
- Wie das Diagramm zeigt, kommen die Sorten Sommerweizen, Hartweizen, Wintermenggetreide und Sommermenggetreide jeweils auf einer maximalen Gesamtfläche von 100.000 ha zum Einsatz.

Interessant wird im nächsten Schritt die Klärung der Frage, wie viele Tonnen Getreide pro Jahr und Hektar anfallen (siehe nachfolgende Tabelle 3.1.2). Anhand dieser Werte kann beurteilt werden, welche Getreideart besonders ergiebig ist, sprich, pro Hektar den größten Ertrag erzielt. Erweist sich diese Sorte in Bezug auf die stofflichen Eigenschaften und der Güte des Korn für die Verbrennung als empfehlenswert, ließe sich eventuell eine erste Empfehlung für eine besonders geeignete Getreideart für die Verbrennung in Kesselanlagen aussprechen.

Anbau, Ertrag und Ernte 2001, 2002						
Fruchtart	Anbaufläche		Ertrag		Erntemenge	
	1 000 ha		dt* je ha		1 000 t	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Winterweizen (ohne Durum)	2 848	2 962	79,2	69,4	22 566	20 543
Sommerweizen (ohne Durum)	43	48	58,1	52,0	248	249
Hartweizen (Durum)	5	5	50,9	53,1	24	26
Weizen zusammen	2 896	3 015	78,9	69,1	22 838	20 818
Roggen	837	728	61,3	50,3	5 132	3 666
Wintermenggetreide	9	9	55,7	53,3	51	51
Brotgetreide zusammen	3 742	3 752	74,9	65,4	28 022	24 534
Wintergerste	1 473	1 361	70,9	60,7	10 441	8 265
Sommergerste	639	609	47,8	43,7	3 054	2 663
Gerste zusammen	2 112	1 970	63,9	55,5	13 495	10 928
Hafer	233	233	49,3	43,6	1 151	1 016
Sommermenggetreide	27	26	43,7	41,3	119	106
Triticale	533	560	64,1	54,8	3 419	3 068
Futter- und Industriegetreidearten zusammen	2 906	2 790	62,6	54,2	18 183	15 119
Getreide zusammen (ohne Körnermais)	6 648	6 542	69,5	60,6	46 205	39 653
Winterraps	1 116	1 276	36,9	29,7	4 112	3 795

Tabelle 3.1.2: Übersicht über die Anbaufläche, den Ertrag und die Erntemenge für die Getreideernte der Jahre 2001 und 2002 [8]

Folgende Ergebnisse lassen sich der obigen Tabelle entnehmen:

- Im Gegensatz zu den Anbauflächen weichen die Erträge des Jahres 2001 von denen des Jahres 2002 teilweise stark ab (Beispiel: Winterweizen, Ertrags-senkung 10,2 dt je ha).

* dt = Dezitonne, Doppelzentner oder 100 kg

- Generell fielen die Erträge im Jahr 2002 niedriger aus als im Vorjahr. Wo genau die Gründe liegen, soll an dieser Stelle nicht geklärt werden, da es den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Vermutlich aber liegt die Hauptursache in einer schlechteren Wetterlage.
- Der Winterweizen sticht mit der höchsten Ertragsquote heraus. Sie liegt bei durchschnittlich 75 dt je Hektar. An zweiter Stelle liegt die Wintergerste mit durchschnittlich 65 dt je Hektar. Alle anderen Sorten bewegen sich in einem Ertragsbereich zwischen 42 und 55 dt je Hektar.
- Aufgrund der größten Anbaufläche und den höchsten Erträgen stellen Winterweizen und Gerste auch den größten Anteil an der gesamten Getreideernte.
- Die Getreideernte beläuft sich auf durchschnittlich 47 Millionen Tonnen pro Jahr. Der Anteil von Winterweizen und Gerste an der Gesamternte beträgt 34 Millionen Tonnen.

An dieser Stelle fällt auf, dass es sich bei Weizen um ein auf die Ertragsquote bezogenes optimales Getreide handelt. Sollte in Zukunft gezielt Getreide für die Verbrennung angebaut werden, ist der Weizen als Brennstoff erste Wahl. Wie allerdings zu Beginn dieses Kapitels erläutert bleibt noch zu klären, ob sich der Weizen auch in Bezug auf seine Verbrennungseigenschaften als optimal erweist. Die hier vorliegende Studie wird Aufschluss über diesen Sachverhalt geben.

3.2 Stoffliche Eigenschaften

Hinführend auf das Hauptthema dieser Studie, die Getreideverbrennung, wird in diesem Kapitel eine weitere Klärung der Eignung verschiedener Getreidearten in Bezug auf eine eventuelle Verbrennung verfolgt.

In Kapitel 3.1 wurde gezeigt, welche Getreidearten hauptsächlich in Deutschland angebaut werden, sprich wie groß die Anbauflächen sind, und welche Erträge pro Jahr erzielt werden. Da sich diese Studie, wie dort erklärt, mit den fünf Hauptgetreidearten beschäftigt, werden in diesem Kapitel 3.2 die stofflichen Eigenschaften der einzelnen Getreidesorten behandelt. Es wird Aufschluss über den Proteingehalt, den Wassergehalt und die Konzentration diverser verbrennungsrelevanter Elemente wie Stickstoff, Chlor und Schwefel gegeben.

Für den Zusammenhang dieser Größen mit Verbrennungskennwerten bzw. der Abgaszusammensetzung gilt prinzipiell:

- Je höher der Proteingehalt, desto höher die Stickstoffoxidemissionen (NO_x)
- Je höher der Wassergehalt, desto unwahrscheinlicher eine vollständige Verbrennung (hoher CO-Gehalt im Abgas), vergleichbar mit dem schlechten Verbrennungsverhalten von nassem Holz
- Je höher der Stickstoffgehalt, desto höher die Stickstoffoxidemissionen (NO_x)
- Je höher der Chlorgehalt, desto höher die Bildung von Salzsäure bzw. die Kesselkorrosion durch die Salzsäure
- Je höher der Schwefelgehalt, desto höher die Schwefeloxidemissionen (SO_x)

Stickstoffoxidemissionen können folglich durch die von vornherein im Getreidekorn enthaltene Proteinmenge und den reinen Stickstoffgehalt entstehen. Proteine (Aminosäuren) bestehen zum Großteil aus Stickstoff. Zusätzlichen reinen Stickstoff nimmt die Pflanze während des Wachstums durch den aufs Feld aufgebrauchten nitrathaltigen Dünger auf [6].

Die folgende Tabelle 3.2 stellt die oben beschriebenen stofflichen Eigenschaften der einzelnen Getreidearten gegenüber. Leider konnten nicht über alle Getreidesorten detaillierte Informationen gefunden werden. Daher sind in der Tabelle einige Felder nicht ausgefüllt. Da aber alle Arten in ungefähr dem gleichen Wertebereich liegen, ist eine Aussagekraft trotzdem gegeben.

Getreideart	Wassergehalt in %	Proteingehalt in %	Stickstoffgehalt in %	Chlorgehalt in mg/kg TS	Schwefelgehalt in mg/kg TS
Weizen	15	13	2,28	426	1.025
Gerste	11,7	11	1,7	200	
Hafer	13	13	1,5	200	
Roggen	13,7	9	1,91	863	1.058
Triticale	~ 15%	10	1,68	692	1.067

Tabelle 3.2: Die Getreidearten in Bezug auf Wasser-, Protein-, Stickstoff-, Chlor- u. Schwefelgehalt [5] [7] [14]

Die obige Tabelle zeigt, dass keine großen Unterschiede zwischen den fünf Getreidearten bezüglich des Wassergehalts und des Schwefelgehalts bestehen. Alle angegebenen Werte beziehen sich auf die von vornherein im Getreidekorn befindlichen Elemente Stickstoff, Chlor und Schwefel. Bei den in der Tabelle angegebenen Werten handelt es sich um konventionell angebautes Getreide bei dem durch Düngung höhere Erträge erzielt werden. Auch handelt es sich hierbei um mit Spritzmitteln behandeltes Getreide zur Verhinderung von Ernteeinbußen durch Schädlinge. Selbstverständlich würden die Ausgangsbedingungen für eine Verbrennung von Getreide durch die Verwendung von ökologisch angebautem Getreide verbessert. Der Stickstoff- u. Schwefelgehalt wäre deutlich niedriger. Infolge dessen sinkt aber der Erntertrag, weil ein höherer Prozentsatz der Getreidepflanzen Schädlingen zu Opfer fällt und ein wegfallende Düngung den Ertrag schmälert.

Ob es sinnvoller ist auf eine maximale Ertragsmasse von geerntetem Getreide oder die stoffliche Qualität des zu verbrennenden Getreides hinzuarbeiten, bleibt in Zukunft zu klären. Da die Technik der Getreideverbrennung in Deutschland noch am

Anfang steht, kann darüber erst anhand von Testläufen von Getreideverbrennungsanlagen und den mit der Zeit gesammelten Erkenntnissen entschieden werden.

Ideal für die Verbrennung ist ein biogener Brennstoff, der kein Wasser enthält, also in völlig trockenem Zustand vorliegt. Dies ist der gleiche Zusammenhang, der sich mit der guten bzw. weniger guten Brenneigenschaft von nassem und feuchtem Holz vergleichen lässt. Durch eine lange genug andauernde Trocknungszeit kann die Brennbarkeit von Holz erheblich gesteigert werden. Allerdings wird es niemals möglich sein, absolut trockenes Brenngut zu erzeugen. Ein gewisser Wasseranteil ist immer im Brennstoff vorhanden. Dieser Trockenvorgang entfällt bei der Vorbereitung der Getreidekörner für die Verbrennung. Erntereifes Getreide besitzt einen Wasseranteil von ca. 11-15% (siehe Tabelle 3.2). Dieser Wassergehalt lässt sich auch durch eine anschließende Trockenphase nicht weiter senken.

Dies ist aber auch nicht von Nöten. Einen weiteren Aspekt in Bezug auf den Wassergehalt stellt die Lagerfähigkeit biogener Brennstoffe dar. Als Faustregel kann ein Wert von 15% Wasser in der zu lagernden Biomasse als oberer Grenzwert angesetzt werden [6]. Dieser Wert gilt für alle biogenen Stoffe, die lagerfähig gemacht werden sollen. Die Bevorratung von Getreidekörnern ist folglich unproblematisch. Die Defizite, die durch den Wasseranteil bei der Verbrennung entstehen sind technisch zu klären und zu beheben (Verbrennungsoptimierung).

In Kapitel 3.1 wurde die Getreideart Weizen wegen seines hohen Ertrages als besonders geeignet empfohlen. Wie Tabelle 3.2 zeigt, erweist sich der Weizen in Bezug auf die stofflichen Eigenschaften nicht als optimale Getreideart. Der Wassergehalt liegt beim Höchstwert 15% und der Protein- u. Stickstoffgehalt ist ebenfalls sehr hoch. Folglich werden die Stickstoffemissionen bei der Verbrennung von Weizen Höchstwerte erreichen.

Besser geeignet bezüglich der Stoffeigenschaften ist die Gerste.

An dieser Stelle muss ganz klar gesagt werden, dass sich mit der Empfehlung einzelner Getreidearten aus der Betrachtung ihrer Eigenschaften einige Gefahren bzw. Unrichtigkeiten auf tun.

Letzten Endes kann diese Studie nicht eindeutig klären welches Getreide für eine Verbrennung besonders geeignet ist, weil zum einen zum jetzigen Zeitpunkt die nötigen praktischen Erkenntnisse bzw. Erfahrungen fehlen und zum anderen eine exakte Untersuchung dieses Sachverhalts den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Des Weiteren ist dies auch nicht Ziel der Arbeit. Fraglich ist zudem auch, ob es „die“ am besten geeignete Getreideart überhaupt gibt. Die hier ausgesprochenen Empfehlungen sollen lediglich eine Hilfestellung und einen möglichen Untersuchungsansatz für die weitere technische Entwicklung in der Getreideverbrennung liefern.

3.3 Energetische Eigenschaften

Mit der Untersuchung der energetischen Eigenschaften der fünf Getreidearten kommt ein vollkommen neuer Aspekt in Bezug auf die Einsatzfähigkeit als Brennstoff hinzu. In diesem Kapitel werden die Getreidearten in Bezug auf ihren Heizwert überprüft und mit anderen biogenen Brennstoffen wie z.B. Holz und konventionellen Brennstoffen wie z.B. Öl oder Gas verglichen. An dieser Stelle muss das Getreidekorn einen ersten Härte-test bestehen. Es wird sich zeigen, ob es energetisch gesehen mit anderen Brennstoffen in Konkurrenz treten kann oder ob es als weniger gut einsetzbar gilt.

Die folgende Tabelle 3.3 vergleicht den Heizwert von Getreide im Vergleich zu anderen biogenen Brennstoffen. Ein Vergleich mit konventionellen Brennstoffe erfolgt anschließend.

Biobrennstoff	Heizwert in kWh/kg*
Getreidekörner	3,91
Holzhackschnitzel	3 bis 4
Holzpellets	4,9
Getreidestroh	3,96
Rapskörner	6,64

Tabelle 3.3: Vergleich der Heizwerte verschiedener biogener Brennstoffe [3]

* Masse im Lager- bzw. Gebrauchzustand, d.h. keine Trockenmasse

Die Heizwerte bestätigen eine seit längerem bekannte Aussage in Bezug auf das Energiepotential von Getreidekörnern. Die in Getreidekörnern enthaltene Verbrennungsenergie ist vergleichbar mit der von Holzbrennstoffen, sprich Holzhackschnitzeln und Holzpellets. Energetisch betrachtet bieten Getreidekörner dann beste Voraussetzungen für eine Verbrennung. Sie stehen auf gleicher Stufe mit Holzbrennstoffen.

Des Weiteren ist in Tabelle 3.3 der Heizwert von Getreidestroh aufgelistet. Die Verbrennung von Getreidestroh ist zwar keine Technik, die in bisher in Deutschland zur Anwendung kommt, jedoch gehört sie in Dänemark bereits seit Jahren zum Standard. Dort existieren mehrere Heizkraftwerke, die mit der erzeugten Wärme aus der Strohverbrennung ganze Nah- u. Fernwärmenetze speisen [1]. Diese Tatsache ist lediglich als Anregung gedacht, denn auf der Suche nach weiteren alternativen Energiegewinnungsmöglichkeiten sollte die Strohverbrennung nicht außer Acht gelassen werden.

Der markanteste Wert, der in Tabelle 3.3 zu finden ist, ist der Heizwert von Rapskörnern mit 6,64 kWh/kg. Diese Studie beschäftigt sich zwar hauptsächlich mit der Getreideverbrennung, aber in Anbetracht dieses bemerkenswerten Ergebnisses kommt dem Raps auch eine besondere Bedeutung zu. Sein Heizwert liegt um 50% höher als der anderer biogener Brennstoffe. Damit wäre ein weiterer Ansatz für zukünftige Untersuchungen in Hinblick auf alternative Brennstoffe gegeben.

Eine Aussagekraft bezüglich des Energiepotentials von Getreidekörnern kann erst durch den Vergleich mit konventionellen fossilen Brennstoffen wie Öl oder Gas erfolgen. Ziel des Einsatzes alternativer Brennstoffe ist es den Bedarf an fossilen Brennstoffen zu minimieren. Deshalb ist ein Vergleich der Eignung von Getreidekörnern mit fossilen Brennstoffen zwingend notwendig.

Ein Liter Heizöl besitzt einen Heizwert von 10 kWh. Im Vergleich mit Getreide bedeutet dies Folgendes: Mit 2,5 kg Getreide lässt sich ein Liter Heizöl ersetzen. Die Verbrennung von der auf einem Hektar geerntetem Weizen (ca. 7500 kg bzw. 75dt/ha) erzeugt die gleiche Wärmemenge wie die Verbrennung von 3000 Litern Heizöl.

Anhand eines Beispiels aus der Praxis soll dieser Sachverhalt näher verdeutlicht werden:

Wieviel Getreide muss angebaut werden, um die Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses für ein Jahr zu sichern (Wärmebedarf nach EnEV *)?

Annahme: Für die Beheizung und die Trinkwasserbereitstellung ist ein 12 kW-Kessel von Nöten. Der Kessel läuft mit 2000 Volllaststunden pro Jahr.

Dies ergibt eine erforderliche Wärmemenge von 24.000 kWh/Jahr. Daraus resultiert eine Heizölmenge von 2.400 Litern.

Die benötigte Getreideanbaufläche liegt somit bei 0,8 ha. Dies entspricht einer Feldgröße von ca. 90x90 m.

Dies macht deutlich, dass bei allen positiven Seiten, die die Getreideverbrennung zunächst hat, hier eine Schattenseite sichtbar wird. Wenn allein für die Beheizung eines Einfamilienhauses eine Anbaufläche von ca. 8000 m² benötigt wird, lässt sich in etwa ausmalen, wie groß die Anbaufläche für die Beheizung einer ganzen Ortschaft wäre. Dies lässt schon an dieser Stelle sichtbar werden, dass eine Energiebereitstellung mittels Getreideverbrennung kaum im großen Stil durchzuführen ist. Sollte es in naher Zukunft möglich sein speziell Getreide für die Energiegewinnung zu kultivieren, so bleibt zu prüfen, ob die benötigten Anbauflächen von der Landwirtschaft zur Verfügung gestellt werden könnten.

* EnEV = Energieeinsparverordnung (Energiestandard für Neubauten seit 2002)

3.4 Brennstoffkosten

Der Vergleich von Getreide mit anderen biogenen und fossilen Brennstoffen wird in diesem Kapitel einen Schritt weitergeführt. Nach der Betrachtung der energetischen Eigenschaften kommt nun die Kostenseite hinzu. Konkret heißt das: Wie teuer sind die einzelnen Brennstoffe im Einkauf und wie schneiden sie im Vergleich untereinander ab.

Erst durch den Vergleich alternativer Brennstoffe mit fossilen Brennstoffen kann eine Aussage über die Zukunftsfähigkeit einer neuen Methode alternativer Energieerzeugung getroffen werden. Das Maß aller Dinge ist in diesem Fall ein Vergleich mit dem Brennstoff Heizöl. Dies ist die aussagekräftigste Vergleichsmethode, da zum einen das Ziel alternativer Verbrennungstechnologien in der Einsparung fossiler Energieträger liegt, und zum anderen Heizöl der bis heute am häufigsten verwendete fossile Brennstoff zur Energieerzeugung ist.

Tabelle 3.4 zeigt auf, wie hoch sich momentan die Kosten für einen Liter Heizöl bzw. je ein kg biogenen Brennstoffs belaufen. Des Weiteren wurde errechnet, welche Menge des jeweiligen biogenen Brennstoffs nötig ist, um einen Liter Heizöl zu ersetzen. Den entscheidenden Vergleich liefert die letzte Spalte. Dort sind die Preise je kWh des entsprechenden Brennstoffs angegeben.

Brennstoff	Masse*	Kosten je kg bzw. l	erforderliche Masse zum Ersatz von 1 l Heizöl	Preis der Ersatzmenge für 1 l Heizöl	Kosten je kWh
Heizöl	1 l	0,35 €			0,035 €
Getreide	1 kg	0,10 €	2,5 kg	0,25 €	0,025 €
Holzhack-schnitzel	1 kg	0,035	2,9 kg	0,10 €	0,01 €
Holzpellets	1 kg	0,16 €	2 kg	0,32 €	0,032 €
Stroh	1 kg	0,04 €	2,5 kg	0,12 €	0,01 €

Tabelle 3.4: Vergleich der Brennstoffkosten von biogenen Brennstoffen mit Heizöl

* Masse im Lagerzustand mit einem Wassergehalt von ca. 15 %

Für alle Holzbrennstoffe, sowie für Getreide und Stroh gilt: Es sind 2 bis 3 kg nötig um einen Liter Heizöl zu ersetzen. Also ist auch hier das Getreide in die gleiche Kategorie wie die Holzbrennstoffe einzuordnen.

Die Tabelle macht eine sehr erfreuliche Feststellung. Alle biogenen Brennstoffe sind in Bezug auf die Kosten je kWh günstiger als Heizöl. Dieses liegt momentan bei einem Einkaufspreis von ca. 0,035 €/kWh. Holzhackschnitzel und Stroh sind zusammen am günstigsten. Der Preis liegt bei 0,01 €/kWh. Heizöl ist im Vergleich also dreieinhalb Mal teurer.

Holzpellets sind nach Heizöl mit 0,03 €/kWh der teuerste Brennstoff. Es handelt sich hier um einen Rohstoff, der zwar meist aus Holzabfällen gewonnen wird, aber doch einer gewissen Aufbereitung bedarf um ihn in die „Pelletform“ zu bringen. Durch eine solche kostensteigernde Vorbereitung wird der Brennstoff qualitativ aufgewertet. Damit lassen sich auch die Mehrkosten im Brennstoffeinkauf erklären.

Getreide erreicht mit 0,025 €/kWh einen sehr akzeptablen Mittelwert. Damit wäre der Beweis erbracht, dass Getreide zumindest in Bezug auf die Brennstoffkosten eine Alternative zu Heizöl darstellt. In Kapitel 6 dieser Arbeit wird geklärt, ob nicht die Mehrkosten für eine aufwändigere Anlagentechnik die Einsparung beim Brennstoffeinkauf aufheben.

4 Rechtliche Situation – derzeitige Gesetzeslage

Am 26.03.2001 trat die EU-Verordnung Nr. 587/2001 in Kraft. Sie bildet auf EU-Ebene eine rechtliche Grundlage für den Anbau von Getreide auf Stilllegungsflächen und die anschließende Verbrennung in landwirtschaftlichen Betrieben. Jedoch ist es trotz dieser Verordnung nicht ohne weiteres möglich Getreide in Feuerungsanlagen in Deutschland zu verbrennen, da die gesetzlichen Rahmenbedingungen bis heute nicht eindeutig geklärt sind.

In diesem Kapitel 4 wird die derzeitige rechtliche Situation analysiert, auch wenn die Gesetzeslage noch sehr undurchsichtig ist.

In Deutschland werden die zulässigen Brennstoffe für Feuerungsanlagen in den Bundes-Immissions-Schutz-Verordnungen (BImSchV) geregelt. Getreidekörner sind jedoch keine Regelbrennstoffe im Sinn der BImSchV. Fraglich ist daher welcher Brennstoffgruppe die Getreidekörner im weitesten Sinne zuzuordnen sind.

Diese Studie befasst sich mit der Verbrennung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen bis 100 kW und für diese Anlagen ist die 1. BImSchV zuständig. Unter anderem werden dort neben verschiedenen Holzbrennstoffen „Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe“ als Regelbrennstoffe aufgeführt. Unter diesen Stoffen versteht man beispielsweise Schilf, Elefantengras, Heu und Maisspindeln. Da die Zugehörigkeit von Getreide nicht eindeutig zu klären ist, ist dies die Stoffgruppe zu der es am ehesten passt.

Da jedoch Getreidekörner nicht als Regelbrennstoff in der 1. BImSchV aufgeführt sind, ist es grundsätzlich nicht erlaubt Getreide in Kleinfeuerungsanlagen zu verbrennen. „§ 20 der 1 BImSchV lässt allerdings Ausnahmen zu, solange die Anforderungen der 1. BImSchV im Einzelfall wegen besonderer Umstände durch einen unangemessenen Aufwand oder in sonstiger Weise zu einer unbilligen Härte führen und schädliche Umwelteinwirkungen nicht zu befürchten sind“ [1].

Der Einsatz von Stroh in Kleinfeuerungsanlagen ist nach der 1. BImSchV jederzeit zulässig.

Für Anlagengrößen zwischen 100 kW und 1000 kW gilt der Anhang 1.3 der 4. BImSchV. Dort wird das Thema Getreideverbrennung etwas toleranter behandelt. Der Einsatz von Stroh und Getreidekörnern ist allerdings nur in Verbindung mit einer Sondergenehmigung erlaubt. Der angegebene Leistungsbereich bezieht sich auf die Feuerungswärmeleistung. Da diese nicht mit der geringeren Nennwärmeleistung gleichzusetzen ist, sollte vorab geklärt werden welche Anlagengröße für den vorgesehen Einsatz in Frage kommt und welches Genehmigungsverfahren die Anlage durchlaufen muss (Vom Kesselhersteller wird die Nennwärmeleistung angegeben.).

Die Umsetzung und Auslegung der BImSchV ist Sache der Länder. Die Länder Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Sachsen, Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg und das Bundesumweltministerium lehnen den Einsatz von Getreidekörnern in Kleinfeuerungsanlagen ab. Auf Antrag kann die zuständige Landesbehörde eine Ausnahmegenehmigung zum Betrieb von Getreideverbrennungsanlagen erteilen. In Bayern besteht noch keine eindeutige Regelung.

Die aktuelle Sachlage zeigt deutlich, dass der Bau einer Getreideverbrennungsanlage ein risikobehaftetes Unterfangen ist. Zum einen bleibt zu beachten, wie die Gesetzeslage in dem Bundesland ist, in dem die Anlage errichtet werden soll, und zum anderen wird jede Anlage explizit vor ihrer Inbetriebnahme geprüft, wobei der Ausgang über die Erlaubnis zum Betrieb fraglich bleibt.

Obwohl die aktuelle Gesetzeslage die Entwicklung in der Technik der Getreideverbrennung mehr hemmt als fördert, sollen an dieser Stelle zwei Fakten Erwähnung finden, die in den nächsten Jahren der Technik der Getreideverbrennung positiv entgegenkommen werden:

- Mit dem Inkrafttreten der zu Beginn dieses Kapitels erwähnten EU-Verordnung darf seitdem Getreide für die energetische Verwertung auf eigenen Stilllegungsflächen angebaut werden. Zur Durchführung kommt diese Praktik derzeit noch nicht, da es sinnlos ist, Energiegetreide anzubauen, wenn die benötigten Verbrennungsanlagen nicht in ausreichender Zahl vorhanden sind. Um jedoch eine missbräuchliche Verwendung im Nahrungs- und Futtermittelbereich zu vermeiden, muss das Getreide denaturiert werden. Hierzu werden

zurzeit Lösungsmöglichkeiten gesucht (z.B. Beimischung von Holzpellets), die den Verbrennungsverlauf und die Emissionen nicht negativ beeinflussen und die Handhabung des Brennstoffes nicht beeinträchtigen.

- Laut TA Siedlungsabfall (Technische Anleitung Siedlungsabfall) ist „die Deposition von nicht mehr verwertbarem Getreide ab 2005 verboten, so dass hier neue Verwertungswege geschaffen werden müssen“ [2].

„Nicht verwertbares Getreide“ ist definiert als von Pilzen befallenes Getreide (hauptsächlich der Fusarien-Pilz) und solches, dass bei der Saatgutauswahl als nicht brauchbar eingestuft wird. Derzeit ist in Deutschland nur nicht verwertbares Getreide zur Verbrennung zugelassen (Getreide, das nicht als Nahrungs- oder Futtermittel genutzt werden kann) [1].

Tritt diese oben erwähnte Vorschrift der TA Siedlungsabfall in zwei Jahren in Kraft, wird dies einen Aufschwung für die Technik der Getreideverbrennung bedeuten. Da dieses Ausschussgetreide auf jeden Fall verbrannt werden muss, in der Regel in Müllverbrennungsanlagen, könnte dies genauso gut in Getreideverbrennungsanlagen erfolgen.

Nach einer weiteren Anfrage beim Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft lag ein Anhaltswert für die Menge des jährlich anfallenden Ausschussgetreides vor. Der Prozentsatz, bezogen auf die jährliche Gesamterntemenge, liegt bei ca. 0,2 % [9]. Diesem Prozentsatz entspricht eine Getreidemasse (errechnet aus Tabelle 3.1.1) von ca. 92.000 t. Diese Menge wäre ausreichend um zehn Getreideverbrennungsanlagen mit einer Leistung von ca. 20 MW über ein Jahr mit Brennstoff bzw. um ca. 15.000 Einfamilienhäuser (EFH) mit Heizwärme zu versorgen.

Laut Statistik werden in Rheinland-Pfalz im Jahr 2003 voraussichtlich 1,27 Millionen Tonnen Getreide geerntet. Geht man auch hier von einem Prozentsatz von 0,2 % für die Menge des Ausschussgetreides aus, fällt eine Menge von 2540 t an. Allein mit der jährlichen in Rheinland-Pfalz anfallenden Ausschussgetreidemenge könnte eine Getreideverbrennungsanlage mit einer Leistung von 6 MW betrieben bzw. ca. 420 EFH mit Heizwärme versorgt werden [13].

5 Technische Aspekte bei der Getreideverbrennung

Nach der Vorstellung der einzelnen Getreidearten in Bezug auf ihre stofflichen Eigenschaften, ihre Eignung für die Verbrennung und die Darstellung der derzeitigen Rechtslage, werden in Kapitel 5 die technischen Aspekte des Themas Getreideverbrennung betrachtet. Dieses Kapitel bildet den Kern dieser Studie.

Die Frage, ob die Getreideverbrennung in Zukunft Chancen hat sich auf dem Energiemarkt zu etablieren, kann nicht alleine durch eine entsprechende Gesetzesregelung und die Akzeptanz bezüglich der ethischen Gesichtspunkte beantwortet werden. In manchen Fällen kam es in der Vergangenheit vor, dass Forschung und Wissenschaft an ihre Grenzen stießen. So groß und unerschütterlich die Bemühungen Techniken für den Masseneinsatz zu entwickeln, scheiterten sie letzten Endes daran, dass manche technischen Probleme nicht in den Griff zu bekommen waren. Ein gutes Beispiel hierfür ist die „Speicherung von Strom“. Die Forschung sucht heute immer noch nach Methoden Strom, der z.B. durch Windkraft erzeugt wird, dauerhaft zu speichern. Es handelt sich dabei um eine „kostenlose“ Energiequelle. „Wind kostet nichts!“ Es wäre wünschenswert in Zeiten, in denen Strom im Übermaß produziert wird, diesen speichern zu können, um ihn in Bedarfszeiten einsetzen zu können. Dies beweist, dass die besten Absichten nichts nützen, wenn eine technische Realisierung schlichtweg unmöglich ist.

Die Erwähnung dieser Fakten soll kein negatives Bild auf die Getreideverbrennung werfen, geschweige denn vorab eine Wertung dieser in Bezug auf ihre Durchführbarkeit werfen. Es soll lediglich davor bewahren in Euphorie zu verfallen und abwarten lassen, ob das technische Potential groß genug ist, aus der Getreideverbrennung in Zukunft eine „Technik für die Massen“ werden zu lassen.

5.1 Vorteile der Technik der Getreideverbrennung

▪ Nachwachsender Rohstoff:

Das erste Argument für die Getreideverbrennung ist die Tatsache, dass es sich dabei um einen nachwachsenden Rohstoff handelt. Er kann damit nicht nur nachhaltig für die Energieerzeugung zur Verfügung stehen, sondern es ist auch über die Verbrennung ein geschlossener CO₂-Kreislauf gegeben. In Kapitel 3 wurde gezeigt, dass Getreide mit Holzbrennstoffen vergleichbar ist. Der große Vorteil liegt jedoch darin, dass Getreide weitaus schneller nachwächst, als Holz. Während Holz mehrere Jahrzehnte benötigt, um geerntet werden zu können, ist Getreide zweimal pro Jahr erntereif. Des Weiteren handelt es sich um einen CO₂-neutralen Brennstoff. Neutral bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Getreidepflanzen während ihres Wachstums genauso viel CO₂ in Sauerstoff umwandeln, wie bei der Verbrennung wieder als CO₂-Emission entsteht. Dies gleicht die CO₂-Bilanz wieder aus und empfiehlt den Brennstoff Getreide für eine Reduzierung des Treibhauseffektes. Darin liegt nach der Schonung der Ressourcen fossiler Brennstoffe das zweite große Zukunftsziel der Energiepolitik.

▪ Preiswerter Brennstoff:

Der derzeitige Getreidepreis liegt bei ca. 10 €/dt. Auf den Heizwert bezogen entspricht dies einem Kilowattstundenpreis von ca. 0,025 € (siehe auch Tabelle 3.4).

Hinzu kommt ein großer Anfall von Abfall- und Ausputzgetreide (nicht verwertbares Getreide), das ab 2005 nicht mehr deponiert werden darf. Bei Einsparung der Entsorgungskosten oder günstigen Zukauf dieser Getreidereste lässt sich der Preis für die Kilowattstunde noch weiter senken.

▪ **Gute mechanische und physikalische Eigenschaften:**

Getreide hat für einen biogenen Brennstoff eine relativ hohe Dichte, besitzt eine große Homogenität und eine gute Rieselfähigkeit. Somit sind optimale Dosier- und Transportfähigkeiten gegeben. Sogar der Begriff „Naturpellets“ kommt in diesem Zusammenhang vor. Ähnlich wie bei den Pellets stellen Lagerung und Transport kein Problem dar. Getreide kann entweder in Bunkern, in die es eingeblasen wird, oder in entsprechenden Silos gelagert werden. Durch die Homogenität der Masse ergeben sich auch keine Probleme im Transport der Körner vom Bunker bzw. Silo zur Kesselanlage. Bei Holzhackschnitzeln kann die unterschiedliche Größe der Holzstücke die Förderschnecken verstopfen. Führt man das Getreide über ein Silo dem Kessel zu, besteht die Möglichkeit die Körner in den Brennraum einrieseln zu lassen.

Einen nicht zu vernachlässigender Fakt, der eine Kostenersparnis zur Folge hat, ist die Tatsache, dass die Gerätschaften zum Ernten des Getreides bereits in der Landwirtschaft vorhanden sind und seit langem Stand der Technik sind. Anders als bei der Herstellung von Holzhackschnitzeln werden keine speziellen Erntemaschinen benötigt und es müssen abgesehen vom normalen Verschleiß keine Neuanschaffungen getätigt werden.

5.2 Nachteile der Technik der Getreideverbrennung

Der größte Nachteil liegt in den von vornherein im Getreidekorn vorhandenen Inhaltsstoffen.

- **Asche:**

Im Vergleich zu den Holzbrennstoffen ist es generell schwieriger Halmgüter zu verbrennen. Dabei ist es unerheblich, ob es sich dabei um Stroh oder Getreide handelt. Die Ursache hierfür liegt in den unterschiedlichen Brennstoffeigenschaften. Beim Getreide ist es hauptsächlich der hohe Mineral- und Aschegehalt, der einen sauberen Ausbrand mit geringen Emissionen verhindert.

In Tabelle 5.2 ist der Vergleich des Aschegehalts und des Ascheerweichungspunktes von Halmgütern und Holzbrennstoffen zu finden.

Brennstoff	Aschegehalt in %	Erweichungspunkt in °C
Getreide	2-2,7	700
Stroh	5,7	960
Holzhackschnitzel	0,55-0,8	1.300

Tabelle 5.2: Vergleich des Aschegehalts und des Ascheerweichungspunktes von Halmgütern und Holzbrennstoffen

Der Aschegehalt von Halmgütern ist etwa 4-5mal so hoch wie bei Holz. Die Problematik liegt nicht in dem hohen Ascheanfall alleine. Dieser könnte durch einen entsprechenden Wartungs- und Reinigungsaufwand oder einem automatischen Entschungssystem ausgeglichen werden. Einhergehend mit einem hohen Aschegehalt steigt jedoch der Anteil der Staubemissionen (Staub besteht neben unverbrannten Partikeln hauptsächlich aus Aschepartikeln). Diese Staubemissionen liegen im Fall der Getreideverbrennungsanlagen zumeist über den zulässigen Grenzwerten.

In Diagramm 5.2.1 ist der Vergleich der Staubemissionen von verschiedenen Getreidesorten dargestellt.

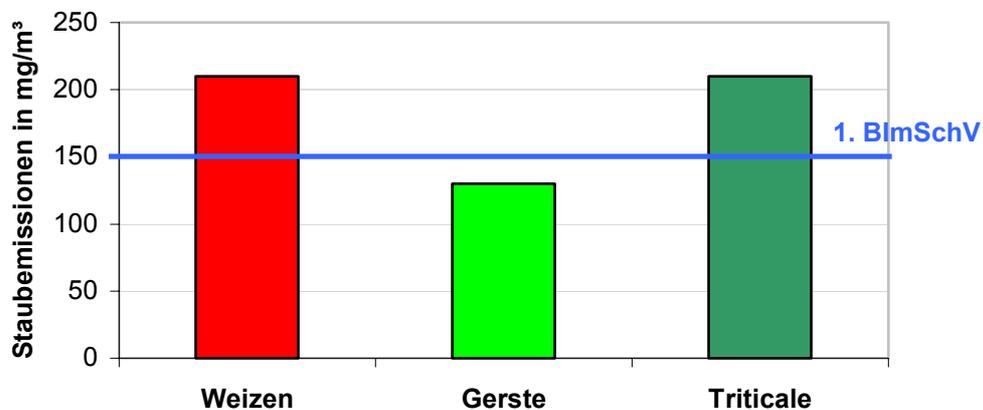


Diagramm 5.2.1: Vergleich der Staubemissionen von verschiedenen Getreidesorten

Alle Getreidearten außer Gerste übersteigen den Staub-Grenzwert der 1. BImSchV von $150 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$. Weizen und Triticale liegen mit jeweils $210 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$ deutlich über und Gerste mit $130 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$ unter dem zulässigen Grenzwert. Die Gerste hat damit nach ihrem guten Abschneiden bei den Brennstoffeigenschaften einen weiteren Pluspunkt erhalten.

Werden dennoch Getreideverbrennungsanlagen mit anderen Getreidearten als Gerste befeuert, besteht die Gefahr der Stilllegung nach einem mehrmaligen Überschreiten des Grenzwertes. Die einzige Möglichkeit den Betrieb einer solchen Anlage sicherzustellen liegt in der Installation einer sekundären Rauchgasreinigung. Dies bedeutet selbstverständlich einen erheblichen Mehraufwand bei den Investitionskosten einer Kesselanlage.

▪ **Verschlackung:**

Die Asche, die bei der Verbrennung von Getreide entsteht, fängt bei ca. 700 °C an zu schmelzen (Ascheerweichungspunkt). Zurzeit arbeiten die Kesselhersteller an Anlagen, die in einer Kombifahrweise beschickt werden können. Dies bedeutet, dass die Kessel wahlweise mit Holzhackschnitzeln, Holzpellets oder Getreide befeuert werden. Im Brennraum solcher Kessel herrscht in der Regel eine Temperatur von 1000 °C und es kommt daher weit- aus schneller zu den angesprochenen Verschlackungen. Besonders kritisch kann sich die Lage entwickeln, wenn die Brennstoffzufuhr unterbrochen wird und die Asche zur Ruhe kommt. Dann können sich große feste Schlacke- klumpen bilden. Eine Entfernung ist dann nur noch mit Hammer und Meißel möglich, und der Brennbetrieb steht während der Reinigung still. Solche ho- hen Stillstandszeiten und Häufigkeiten der Betriebsstörungen können sich Kesselbetreiber besonders zur Winterzeit nicht erlauben.

Durch folgende Maßnahmen versuchen die Kesselhersteller die Verschla- ckung in den Griff zu bekommen:

- 1) Zusatz von 1-2 % Brandkalk und anderer Stoffe. Die Ascheerweichungs- temperatur ist vom Verhältnis Calcium zu Kalium abhängig. Durch Zugabe von Calcium steigt der Ascheerweichungspunkt und somit sinkt die Ver- schlackung.
- 2) Einbau von Ascheschiebern für einen automatischen, kontinuierlichen Ascheaustragung.
- 3) Wasserkühlung der Roste und Brennkammern, um an diesen Stellen die Temperatur unter dem Ascheerweichungspunkt zu halten. Dies ermöglicht ein leichteres Austragen der Schlacke.

▪ **Stickoxidemissionen:**

Für Kleinanlagen bis 100 kW (es gilt die 1. BImSchV), existiert kein Grenzwert für Stickoxidemissionen. Bei größeren Anlagen greift die 4. BImSchV und damit einhergehend die Grenzwerte der TA Luft. Der dort angegebene NO_x -Grenzwert liegt bei $250 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$.

Messungen in Versuchsanlagen haben ergeben, dass die Grenzwerte der TA Luft ohne zusätzliche technische Maßnahmen (Einsatz von sekundären Rauchgasreinigungen) nicht einhaltbar sind.

Überlegungen zur Problemlösung schlugen vor spezielle Getreidesorten mit einem niedrigen Stickstoffgehalt zu züchten. Dies wurde jedoch bald wieder verworfen, da der im Korn (speziell Protein) enthaltene Stickstoffanteil nicht wegzuzüchten ist. Grundvoraussetzung für eine Zulassung der Getreideverbrennungsanlagen bei der Bundesumweltbehörde wird es sein, eine Lösung zur Reduzierung der Stickstoffemissionen zu finden.

Das folgende Diagramm 5.2.2 zeigt die NO_x -Emissionen für einige bereits bekannte Verbrennungsversuche.

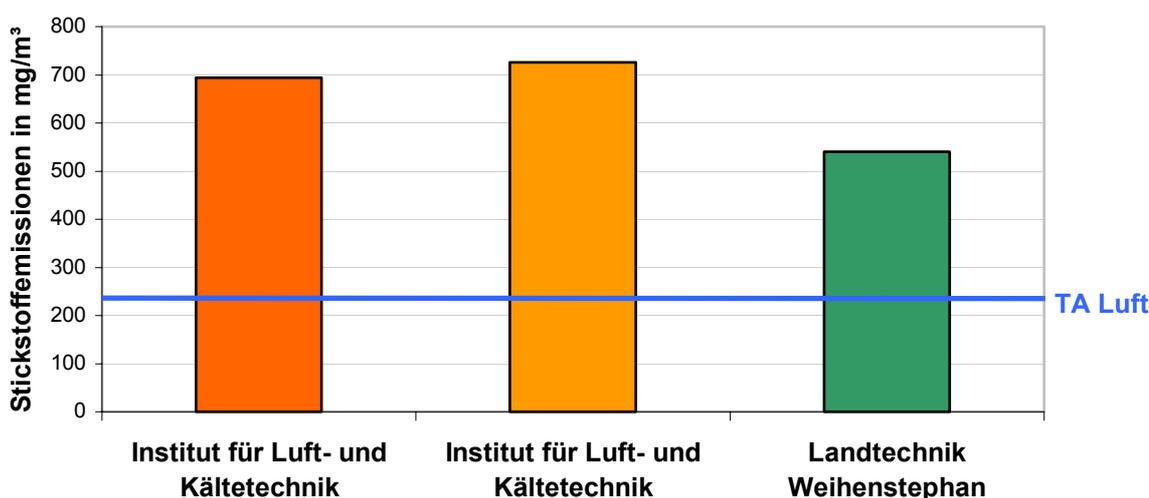


Diagramm 5.2.2: Stickoxidmessungen bei drei verschiedenen Testläufen

Die durchgeführten Versuche vom Institut für Luft- und Kältetechnik und der Landtechnik Weihenstephan belegen, dass die NO_x -Emissionen ca. dreimal so hoch sind wie es der Grenzwert der TA Luft erlaubt.

- **Chlor:**

Während des Wachstums nimmt Getreide Chlor aus chloridhaltigen Düngemitteln auf, welches sich dann in der Pflanze ablagert. Vorwiegend jedoch lagert es sich im Halm und nicht im Korn ab. Trotzdem können auch geringe Chlorkonzentrationen im Korn zu Problemen bei der Verbrennung führen. Es kommt während des Verbrennungsprozesses zu einer Aufkonzentration mit anschließender Salzsäurebildung. Diese führt zwangsläufig zur Kesselkorrosion.

Des Weiteren können Chloremissionen entstehen, aus denen sich schädliche Dioxine bilden. Dieses Problem wäre wiederum nur durch eine aufwändige Rauchgasreinigung zu lösen.

Fazit:

Es überwiegen derzeit noch die Nachteile bei der Verbrennung von Getreide. Es muss noch sehr viel Entwicklungsarbeit geleistet werden, um diese Technik zur Serienreife zu bringen. Daher wird es auch fraglich, ob durch die zusätzlich entstehenden Kosten einer aufwändigen Rauchgasreinigung die Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann. Dieser Sachverhalt wird im folgenden Kapitel 6 geklärt.

6 Wirtschaftlichkeit von Getreideverbrennungsanlagen im Vergleich mit anderen biogenen Verbrennungsanlagen und konventionellen Kesselanlagen mit Ölfeuerung

In Kapitel 6 wird die Frage geklärt, wie Getreideverbrennungsanlagen, wirtschaftlich betrachtet, im Vergleich zu anderen Verbrennungsanlagen abschneiden. Zur Kostenanalyse und der anschließenden Berechnung der Annuität wird die VDI 2067 herangezogen. In dieser VDI 2067 werden die gängigsten Verfahren zur Ermittlung der Rentabilität technischer Anlagen beschrieben.

VDI 2067 bietet neben der Möglichkeit der Annuitätsberechnung noch andere Berechnungsverfahren an [11]. Im Fall dieser Studie ist die Annuitätsberechnung jedoch das am besten geeignete Verfahren, da für die jeweiligen Anlagen die pro Jahr anfallenden Gesamtkosten errechnet werden und aufbauend darauf ein Kilowattstundenpreis für die Heizwärme ermittelt werden kann.

Betrachtet wird jeweils eine Kesselanlage mit einer Leistung von 50 kW, 1900 Vollbenutzungsstunden pro Jahr und einer geforderten Wärmemenge von 95.000 kWh/a. Variiert wird lediglich die Art des eingesetzten Brennstoffs.

6.1 Erklärung des Berechnungsverfahrens

In der VDI 2067 befindet sich ein Formblatt, das die Berechnung der Annuität ermöglicht und gleichzeitig eine entsprechende Übersichtlichkeit gewährleistet. Im Anhang dieser Studie (Anhang 1) befinden sich 5 solcher Formblätter. Auf jedem dieser Formblätter wurde die Annuität für einen anderen Kesselanlagentyp berechnet. Wie auch schon im bisherigen Verlauf dieser Studie, erfolgt ein Vergleich einer Getreideverbrennungsanlage mit einer Kesselanlage mit Holzhackschnitzel (HHS),- Holzpellet- und Strohfeuerung. Als fünftes aufgeführt wurde das Formblatt zur Berechnung der Annuität einer konventionellen Kesselanlage mit Ölfeuerung. Auf ihr liegt das

Hauptaugenmerk, da diese über eine Konkurrenzfähigkeit der Getreideverbrennungsanlage mit der Ölfeuerungsanlage entscheidet. Die Grundvoraussetzung, um eine Getreideverbrennungsanlage rentabel betreiben zu können, liegt in dieser Konkurrenzfähigkeit. Erst, wenn sich alternative Möglichkeiten der Energiegewinnung mit den derzeitig gängigen Systemen messen können, werden sie langfristig gesehen zum Einsatz kommen.

Die folgende Abbildung 6.1 dient der Erklärung des Berechnungsverfahrens der VDI 2067.

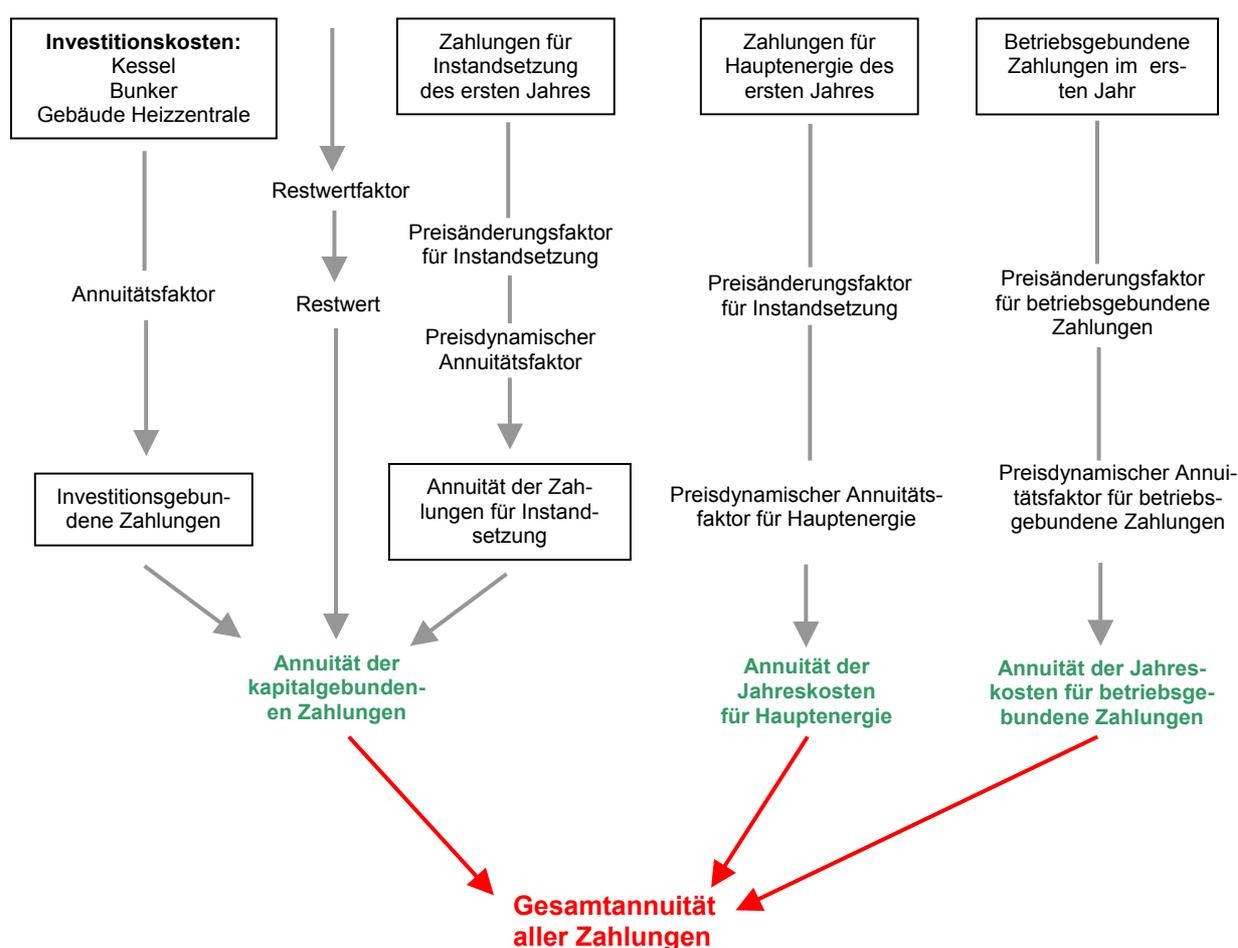


Abbildung 6.1: Fließschema zur Annuitätsberechnung [1]

Die rot dargestellte Gesamtjahresannuität ist das Ergebnis dieser Berechnung. Sie setzt sich aus verschiedenen Einzelannuitäten zusammen. Diese sind unten stehend in grüner Farbe zu finden. Wie sich die Einzelannuitäten berechnen lassen, ergibt sich aus den jeweils darüber aufgeführten Faktoren.

Einige Werte müssen von Hand eingegeben werden, andere ergeben sich aufgrund von Berechnungsformeln und wiederum andere sind Tabellenwerte (dem Anhang der VDI 2067 entnommen).

Einzugebende Werte:	Investitionsbetrag
	Preisänderungsfaktoren
	Zahlungen der Hauptenergie
	Betriebsgebundene Zahlungen
Berechnete Werte:	Einzelannuitäten
	Restwert
	Gesamtannuität
Tabellenwerte:	Annuitätsfaktor
	Restwertfaktor
	Preisdynamischer Annuitätsfaktor

Die VDI-Richtlinie 2067 führt an jeder erforderlichen Stelle auf, ob der Wert in einer Tabelle zu finden ist, ob er eingegeben werden muss, oder ob er berechnet wird. Es können deshalb bei der Berechnung der Annuität keine gravierenden Fehler gemacht werden. Das korrekte Ergebnis hängt im Wesentlichen von der richtigen Eingabe der Kosten ab.

Um weiterhin eine Übersichtlichkeit über das Berechnungsverfahren gewährleisten zu können, ist in folgender Tabelle 6.1 aufgelistet, bei welchem Anlagentyp welche Kosten und Berechnungsfaktoren in das Formblatt eingesetzt wurden.

	Feuerungsart				
	Heizöl	Getreide	Stroh	HHS	Pellets
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung	2 %/a	2 %/a	2 %/a	2 %/a	2 %/a
Preisänderungsfaktor für Hauptenergie	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %

Tabelle 6.1: Preisänderungsfaktoren der Annuitätsberechnung Erläuterung der Tabellenpositionen von Tabelle 6.1:

- Preisänderungsfaktoren beschreiben die zu erwartenden Preissteigerungen für die einzelnen Kostenpositionen des Berechnungsverfahrens
- Der Preisänderungsfaktor für die Instandhaltung definiert die zukünftige Preissteigerung für Anlagenersatzteile. Muss ein Jahr nach Inbetriebnahme der Anlage eine Anlagenkomponente erneuert werden, ist schon jetzt zur Annuitätsermittlung eine prognostizierte Preissteigerung einzutragen. Das betreffende Bauteil wird dann um einen bestimmten Prozentsatz teurer sein als im Vorjahr. Im Fall dieser Studie wird von einem Preisänderungsfaktor für die Instandhaltung von 2 %/a ausgegangen [11]. Dieser Wert ist allgemeingültig und somit für alle fünf Feuerungsvarianten gleich.
- Beim Preisänderungsfaktor für Hauptenergie wird nur bei der Anlagenvariante mit Ölfeuerung eine Preissteigerung von 3 % angenommen. Diese Preissteigerungsrate entstammt langjährigen Beobachtungen [11].

An dieser Stelle wird auch kostenseitig ein wichtiger Vorteil der alternativen gegenüber den konventionellen Brennstoffen sichtbar. Bei allen biogenen Brennstoffen handelt es sich um nachwachsende Rohstoffe. Es kommt hier nicht wie beim Heizöl, durch die zunehmende Rohstoffknappheit, zu einer Verteuerung. HHS und Holzpellets werden in Zukunft bei gezielter Kultivierung in

ausreichendem Maße und gleichbleibender Qualität verfügbar sein [11]. Lediglich die Getreidearten sind saisonalen Qualitätsschwankungen unterlegen. Da aber die Option besteht, entsprechend des Bedarfs ausreichend Energiegetreide anzubauen, und die Technik fähig ist auf Qualitätsschwankungen angemessen zu reagieren, sind von dieser Seite keine Bedenken einzuräumen.

- Wie schon beim Preisänderungsfaktor für die Instandsetzung liegt auch der Preisänderungsfaktor für die betriebsgebundenen Kosten bei allen fünf Feuerungsvarianten bei 2 %.

Die Kostenposition der betriebsgebundenen Zahlungen beinhaltet Personalkosten für Wartung und Reinigung, bei Anlagen mit biogener Brennstoffnutzung die Ascheentsorgung und zusätzlich bei allen Feuerungsvarianten einen Anteil von einem Prozent der Investkosten für Versicherungen.

6.2 Berechnung der Annuitäten

Für alle Feuerungsvarianten wurde eine Annuitätsberechnung durchgeführt. Wie in Abbildung 6.1 dargestellt, errechnet sich die Gesamtannuität aus drei Einzelannuitäten (grün). Hierzu zählen die Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen, der Kosten für den Brennstoff und der betriebsgebundenen Zahlungen.

In der unten stehenden Tabelle 6.2 sind für alle Feuerungsvarianten die Höhe der Investkosten, der Brennstoffkosten und der betriebsgebundenen Zahlungen dargestellt. Diese Werte stellen die Ausgangsbasis für die Berechnung der Einzelannuitäten und der anschließenden Gesamtannuität dar.

Feuerungsvariante 50 kW-Kessel	Investkosten Kesselanlage in €	Betriebskosten in €/a	Brennstoffkosten in €/a
Heizöl	11.500	460	3.325
Getreide	30.000	2.100	2.375
Stroh	30.000	2.100	950
HHS	25.000	1.375	950
Pellets	25.000	1.000	3.040

Tabelle 6.2: Auflistung der Investkosten, der Betriebskosten und der Brennstoffkosten der fünf Feuerungsvarianten

- Die Investkosten für eine Kesselanlage mit Ölfeuerung sind mit 11.500 € im Vergleich zu Kesselanlagen mit biogener Brennstofffeuerung mit 25.000 € bzw. 30.000 € vergleichsweise gering [5] [9]. An Kesselanlagen mit biogener Brennstoffzufuhr werden höhere technische Anforderungen gestellt, als an herkömmliche Ölkessel. Dies liegt zum einen daran, dass die Anlage und insbesondere die Regelanlage jederzeit auf unterschiedliche Brennstoffqualitäten reagieren muss und zum anderen am höheren Schadstoffausstoß. Die Investkosten für Getreide- und Strohverbrennungsanlagen sind nochmals um 5.000 € höher, weil bei diesen Anlagen ein höherer technischer Aufwand zur

- Rauchgasreinigung erforderlich ist (siehe Kapitel 5, Ascheanfall). Beide Kesselanlagen kosten 30.000 €, weil es sich um die gleiche Kesselanlage handelt. Wie bereits vorher beschrieben, ist es noch nicht üblich Kessel nur für die Verbrennung von Getreide herzustellen. Es sind Kessel die im Verbund mit mehreren biogenen Brennstoffen gefahren werden können.
- Auch im Fall der Betriebskosten liegt der Ölkessel am kostengünstigsten. Der Wartungsaufwand ist gering und kein Personal erforderlich, das regelmäßig die Ascheaustragung beseitigt.

Der HHS-Kessel und der Pelletkessel liegen ebenfalls mit 1.000 € bis 1.400 € Betriebskosten pro Jahr relativ günstig. Bei HHS-Kesseln besteht die Gefahr, dass das Brennstoffaustragungssystem durch das oftmals sperrige und unterschiedlich feuchte Brenngut Schaden nimmt.

Die mit Abstand höchsten Betriebskosten fallen bei den Getreide- und Strohverbrennungsanlagen an. Wie Kapitel 5 gezeigt hat, ist die bei der Verbrennung anfallende Aschemenge sehr groß. Des Weiteren tragen die Schlackebildung und die Kesselkorrosion dazu bei, dass diese Kesseltyp intensiver gewartet werden müssen.

- Im Fall der Brennstoffkosten lässt sich ein gegensätzlicher Trend erkennen. Als Grundlage für die Berechnung der Brennstoffkosten wurde Tabelle 3.4 herangezogen.

Die Brennstoffkosten liegen beim Ölkessel mit 3.325 € am höchsten. Dies folgt aus der Tatsache, dass Öl im Einkauf der teuerste Brennstoff ist. Im oberen Mittelfeld liegen mit 2.375 € und 3.040 € der Getreidekessel und der Pelletkessel.

HHS-Kessel und Strohkessel liegen mit 950 € Brennstoffkosten mit Abstand am günstigsten.

Nachdem mit der Ermittlung der einzelnen Investkosten die Grundlage für die Annuitätsberechnung geschaffen wurde, werden in folgendem Abschnitt 6.3 die Gesamtannuitäten der fünf Feuerungsvarianten verglichen.

6.3 Ermittlung der Annuitäten und der Kilowattstundenpreise

Entsprechend der Angaben aus Abbildung 6.1 und Anhang 1 dieser Studie stellt die folgende Tabelle 6.3 die errechnete Gesamtannuität der fünf Feuerungsvarianten gegenüber. Teilt man im nächsten Schritt die Gesamtannuität durch die Anzahl der pro Jahr benötigten Kilowattstunden Wärmeenergie, lässt sich beurteilen, welche der Feuerungsarten gegenüber der konventionellen Ölfeuerung konkurrenzfähig sind. Bei den aufgeführten Kilowattstundenpreisen handelt es sich um Selbstkostenpreise. Würde ein Anbieter die Kilowattstunde Wärmeenergie zu diesem Preis verkaufen, wären lediglich die jährlich anfallenden Kosten für die Kesselanlage gedeckt. In diesen Preisen ist kein Gewinn eingerechnet!

Feuerungsvariante 50 kW-Kessel	Gesamtannuität in €/a	kWh-Preis in €/kWh
Heizöl	5.903	0,062
Getreide	9.416	0,1
Stroh	7.720	0,081
HHS	6.062	0,064
Pellets	7.989	0,084

Tabelle 6.3: Gesamtannuität und errechneter Kilowattstundenpreises für alle Feuerungsvarianten

An dieser Stelle soll darauf verzichtet werden die Einzelannuitäten aufzuführen. Sie können Anhang 1 entnommen werden.

- In Bezug auf die Gesamtannuität ist der Ölkessel mit 5.903 €/a nach wie vor die kostengünstigste Feuerungsvariante.
- An zweiter Stelle mit 6.062 €/a liegt der HHS-Kessel. Der Stroh- und der Pelletkessel liegen bei 7.720 €/a und 7.989 €/a. Bei ihnen fallen zwar deutlich mehr Kosten pro Jahr an, aber sie bewegen sich noch in einem akzeptablen Rahmen.

- Weit abgeschlagen in Bezug auf die Gesamtannuität, befindet sich der Getreidekessel an letzter Stelle. Sie beträgt 9.416 €/a.
- Für Heizöl liegt der errechnete Kilowattstundenpreis bei 0,062 €/kWh. Erfolgt der Brennstoffeinkauf für 0,035 €/kWh, beträgt der Endpreis unter Hinzunahme der jährlich anfallenden Anlagenkosten in etwa das Doppelte.
- Entgegen den Erwartungen erweist sich der HHS-Kessel als die mit dem Ölkessel gleichwertige Feuerungsvariante. Der Wärmepreis liegt bei 0,064 €/kWh. Obwohl bei der Feuerungsvariante HHS die Investkosten weit über denen des Ölkessels liegen, bewirken die sich entgegengesetzt verhaltenden Brennstoffkosten eine annähernde Gleichheit der Gesamtannuität und somit auch des Kilowattstundenpreises.
- Der Strohkessel liegt, aufgrund der höheren Investkosten und die durch den größeren Wartungsaufwand anfallenden Betriebskosten, bei einem Kilowattstundenpreis von 0,081 €.
- Der Pelletkessel liegt mit 0,084 €/kWh auf gleicher Preisebene mit dem Strohkessel. Hier liegt die Ursache in den hohen Brennstoffkosten.
- Weit abgeschlagen liegt der Preis für die Wärmeenergie aus einer Getreidefeuerung bei 0,1 €. Dieser Wert macht leider keine Werbung für die Getreideverbrennung. Es fallen leider zu hohe Investkosten und zu hohe Brennstoffkosten an. Das macht ihn verglichen mit dem Ölkessel um ca. 40 % teurer.

Im folgenden Abschnitt soll darauf hinwiesen werden, dass man sich keineswegs von den schlechten Ergebnissen des Getreidekessels abschrecken lassen soll. In Kapitel 4 wurde erwähnt, dass in Deutschland jährlich 92.000 t Ausschussgetreide anfallen. Dieser Denkansatz soll an dieser Stelle weiterverfolgt werden.

Wenn die Landwirte nach der TA Siedlungsabfall ab 2005 dazu verpflichtet werden ihr Ausschussgetreide entsprechend entsorgen zu lassen, besteht die Möglichkeit kostenloses Getreide für eine Verbrennung zu beziehen. Man kann davon ausgehen, dass die Landwirte eher ihr Ausschussgetreide verschenken, als selbst hohe Entsorgungskosten zahlen zu müssen.

Im Hinblick darauf wurde die Annuitätsberechnung für den Fall des kostenlosen Brennstoffbezugs durchgeführt (siehe Anhang 1).

Unter der Voraussetzung eines kostenlosen Brennstoffbezugs sinkt die Gesamtannuität auf 6.590 € und erzielt einen Kilowattstundenpreis von ca. 0,07 €. Dies bedeutet eine Preisreduzierung von ca. 30 %.

Unter den aufgeführten Umständen bestehen durchaus Chancen eine Getreideverbrennungsanlage rentabel betreiben zu können.

Des Weiteren muss auch gesagt werden, dass in der Annuitätsberechnung einige Unsicherheitsfaktoren verborgen sind, gerade auch, weil die Erfahrung im Umgang mit Getreidekesseln derzeit noch fehlt. Es ist durchaus vorstellbar, dass die Investkosten für die Kesselanlagen ein wenig sinken werden, wenn die Kesselhersteller mit ihren Getreideverbrennungsanlagen in Serienfertigung gehen. Der angesetzte Wert für die betriebsgebundenen Zahlungen erfolgt in Anlehnung an die Wartungskosten des Holzpelletkessels und der Option, dass aufgrund des Ascheanfalls und der Korrosion die Kosten beim Getreidekessel etwas höher sein werden. Hier wird erst die in Zukunft zu sammelnde Erfahrung für solche Zwecke zuverlässige Pauschalwerte anbieten können.

7 Angebotene Anlagen der Kesselhersteller

Im bisherigen Verlauf dieser Studie wurde deutlich, dass die Entwicklung in der Technik der Getreideverbrennung noch am Anfang steht. Deshalb liegt seitens der Kesselhersteller noch kein großes Angebot an Getreideverbrennungsanlagen vor. Durch die ungeklärte Rechtslage ist es für sie daher nicht erstrebenswert die Kesselanlagen bis zur Serienreife zu entwickeln. Die Herstellerfirmen haben zwar sehr wohl auf die aufkommende Diskussion zum Thema Getreideverbrennung reagiert, jedoch laufen viele ihrer Anlagen derzeit noch auf dem Prüfstand.

Es wäre begrüßenswert gewesen, wenn die hier angefertigte Studie ein entsprechend großes Angebot an herstellenden Firmen hätte aufführen können, die auch derzeit schon Getreideverbrennungsanlagen herstellen und verkaufen. Leider war es nur möglich 3 in Frage kommende Kesselhersteller zu finden.

Die folgenden Abschnitte zeigen auf welche Firmen für die Lieferung eines Getreidekessels in Frage kommen, in welchen Leistungsgrößen sie angeboten werden, wie die Kessel von technischer Seite betrieben werden und welche Emissionswerte erzielt werden (Detaillierte Unterlagen siehe Anhang 2).

- **Firma Biokompakt (Österreich)**

Da in Österreich schon seit einigen Jahren Getreideverbrennungsanlagen zum Einsatz kommen und dort viel in die Erforschung dieser Anlagen investiert wurde, ist es der Firma Gerlinger gelungen mit ihrem Biokompakt-Kessel (Modell AWK 20) eine problemlose Verbrennung von Getreide zu ermöglichen. Es handelt sich dabei um einen Kombi-Kessel, in dem sowohl Holzbrennstoffe, wie HHS und Pellets, als auch Getreide verbrannt werden können. Um in jedem Leistungsbereich eine optimale Verbrennung zu erreichen, wird die Brennstoffzufuhr ständig überwacht und korrigiert. Die Regelanlage passt so die unterschiedlichen Brennstoffqualitäten und Wassergehalte dem Verbrennungsprozess an.

Die Regelung arbeitet mit einer Lambdasonde in Verbindung mit der Biokompakt-Mikroprozessorreglung. Sie ermittelt den Sauerstoffgehalt, die Abgas

temperatur, die Kesseltemperatur und die Aufheizgeschwindigkeit, wertet sie anschließend aus, und reguliert auf diese Weise die Höhe der Brennstoffzufuhr.

Die Getreideverbrennungsanlage kann in verschiedensten Varianten gebaut werden. Durch eine Modulbauweise ist es möglich verschiedene Fördersysteme, wie Getreidesilo und Raumaustragung zu kombinieren. Dies ist die Grundvoraussetzung für eine unkomplizierte Kombifahrweise. Alle Brennstoffe, die in der betreffenden Kesselanlage verbrannt werden, stehen in verschiedenen „Bunkersystemen“ für die Verbrennung bereit. So kann ein unkomplizierter und vollautomatischer Betrieb der Anlage gewährleistet werden. Das Getreidesilo funktioniert genau wie das von den Holzpellets bekannte Pelletsilo. Durch die gute Homogenität der Getreidemasse können die Körner in dieses Silo eingeblasen werden und nach Bedarf in die Brennkammer eingerieselt werden.

Unter der Raumaustragung versteht man die sogenannte Unterbodenschubaustragung. Wie bei den HHS werden die Getreidekörner in einem Bunker gelagert. Auf dem Grund dieses Bunkers befindet eine Art Transportband, das bei Bedarf den Brennstoff in die Brennkammer befördert.

Der Getreidekessel Biokompakt AWK 20 ist in den Leistungsgrößen 20 kW bis 130 kW erhältlich. Dieser Leistungsbereich deckt den hier in dieser Studie angesprochenen Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen ab. Im Fall des Biokompaktkessels wird ein unproblematischer Betrieb einer Getreideverbrennungsanlage ermöglicht. Durch die automatische Regelung von Brennstoffzufuhr und Verbrennungsoptimierung erreicht diese Kesselanlage annähernd den Komfort einer Öl- oder Gasfeuerung. Ein Mehraufwand liegt lediglich in der Entsorgung der Asche und des Beimischens eines Verbrennungsindikators auf Kalkbasis in die Brennstoffmasse zur Verminderung der Schlackebildung.

Der Biokompakt-Kessel AWK 20 wurde vom TÜV München auf seine Abgaswerte hin untersucht. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

$\text{CO}=20 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$, $\text{NO}_x=585 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$, $\text{Staub}=78 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$

Der Wert für die Stickoxide überschreitet den geforderten Grenzwert von $250 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$ nach der TA Luft um $335 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$. Die Staubemissio

nen liegen mit einem beachtlichen Wert von $78 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$ deutlich unter dem nach 1. BImSchV geforderten Grenzwert von $150 \text{ mg/m}^3_{\text{Rauchgas}}$.

- **Firma Ferro Wärmetechnik (Deutschland)**

Die von der Firma Ferro Wärmetechnik angebotene Kesselanlage zur Getreideverbrennung trägt die Bezeichnung „Ferro Biomat“. Sie ist in den Leistungsgrößen 11 kW bis 185 kW erhältlich.

Dieser Leistungsbereich ist in zwei Kesselgruppen unterteilt. Die Kessel mit der Leistung 11 kW, 23 kW und 42 kW bestehen aus folgenden Anlagenkomponenten: Brennstofftank, Förderschubrost, Holzvergaserkessel und automatische Beschickung.

Die Standardversion ist mit einer Dreistufenregelung versehen. Die Brennstoffzufuhr und die Verbrennungsluft werden dabei drehzahl geregelt für 25 %, 60 % oder 100 % der Nennleistung, je nach Wärmebedarf angesteuert.

Die Version -L-, für den Leistungsbereich von 70 kW bis 185 kW, besitzt eine Lambdasonde zum stufenlosen Betrieb. Sie wird in einem Leistungsbereich von 25 % bis 100 % der Nennleistung vollautomatisch geregelt.

Im Preis dieser Kesselanlage beinhaltet sind ein Brennstofftank und eine Lambdasonde. Alle Kesselanlagen dieses Typs werden mit Hilfe der Lambdasonde stufenlos drehzahl geregelt.

Individuell abhängig von der benötigten Kesselleistung und der Art des zu beheizenden Gebäudes, sollte die Auswahl eines geeigneten Kesselmodells erfolgen. Muss die Anlage jederzeit schnell auf veränderte Wärmeanforderungen reagieren, sind die stufenlos regelbaren Kesselmodelle zu empfehlen.

- **Firma Passat (Dänemark)**

Bei der Firma Passat handelt es sich um den führenden Hersteller von Getreideverbrennungsanlagen in Dänemark. Zwar sind dort die Gesetze über die Schadstoffausstöße solcher Anlagen nicht so streng geregelt wie in Deutschland und entsprechen nicht den hierzulande geforderten Abgasgrenzwerten, jedoch kann von der über nun bereits viele Jahre erprobten Verbrennungs

technik profitiert werden. Diese Anlagen laufen mit einer hohen Zuverlässigkeit, da bereits genug Zeit für die Verbrennungsoptimierung solcher Anlagen zur Verfügung stand.

Die Firma Passat bietet Kessel in den Leistungsgrößen von 32 kW bis 70 kW an. Das Funktionsprinzip dieser Kessel muss an dieser Stelle nicht näher erläutert werden, da sie nach dem gleichen Prinzip arbeiten wie die Anlagen der beiden vorher genannten Kesselhersteller.

- **Andere Kesselhersteller**

In der Informationsbroschüre des Biomasse-Info-Zentrums sind auf der letzten Seite alle führenden Anbieter von Getreideverbrennungsanlagen in Deutschland aufgelistet [3]. Lediglich die Firmen Gerlinger und Ferro Wärmetechnik haben ihre Getreideverbrennungsanlagen bis zur Serienreife weiterentwickelt. Bei der Firma Bioflam laufen die Kessel zur Verbrennung von Getreide noch auf dem Prüfstand. Die Firma Brötje GmbH hat ihre Entwicklung von Getreideverbrennungsanlagen eingestellt.

Fazit

Wie in diesem Kapitel 7 bestätigt wurde, gibt es weitaus weniger Anbieter von Getreidekesseln als von bisher gängigen Kesselanlagen wie Ölkesseln, HHS-Kesseln oder Holzpelletkesseln. In Anbetracht der derzeitigen Lage in Deutschland und der noch stellenweise sehr verhaltenen Reaktion auf diese neue alternative Energietechnik, reicht dieses Angebot an Kesselherstellern aus. Sollte in Zukunft eine Klärung der Gesetzeslage erfolgen, werden sich auch andere Kesselhersteller dieser Technik annehmen, entsprechende Verbrennungsanlagen entwickeln und diese anschließend auf den Markt bringen.

Die oben aufgeführten Beschreibungen der Kesselanlagen der einzelnen Anbieter haben gezeigt, dass diese nur im Kleinlastbereich hergestellt werden. Dies geht einher mit der in Kapitel 1 getroffenen Aussage über den hauptsächlichen Einsatz von Getreideverbrennungsanlagen in bäuerlichen Betrieben. Für diesen Zweck sind die

Kesselanlagen im Kleinanlagenbereich bis 100 kW Kesselleistung durchaus ausreichend.

Bisher existieren noch keine Getreideverbrennungsanlagen in Leistungsbereichen über 500 kW. Dies mag zum einen daran liegen, dass es wesentlich einfacher ist, wenn die Landwirte direkt an Ort und Stelle das Getreide verbrennen und zum anderen an der aufwendigeren Anlagentechnik, die für solche Anlagengrößen benötigt wird.

8 Abschließende Bewertung

Die hier vorliegende Studie wurde mit der Absicht angefertigt, einen Überblick über die Thematik der Getreideverbrennung zu geben und den derzeitigen Stand der Technik zu analysieren. Nach der Erteilung des Auftrags, seitens des Ministerium für Umwelt und Forsten in Mainz, zur Durchführung dieser Studie, bestand der Wunsch die hier erzielten Ergebnisse konkret zur Umsetzung zu bringen. Die Gemeinde Kaisersesch spielt mit dem Gedanken kommunale Gebäude, wie Schulen, Kindergärten und Gemeindehäuser mittels Getreideverbrennungsanlagen zu beheizen.

Aus folgendem Grund wird in dieser Studie aber nicht näher darauf eingegangen:

In Anbetracht der noch ungeklärten Gesetzeslage und der Schwierigkeit der Genehmigung solcher Anlagen ist es nicht empfehlenswert die Technik der Getreideverbrennung schon jetzt in großem Stil zum Einsatz zu bringen. Dies soll nicht bedeuten, dass nicht über den Einsatz von Getreideverbrennungsanlagen nachgedacht werden soll und sie nicht bei einzelnen Gebäuden einzusetzen. Es wäre aber ratsam eine Klärung der Gesetzeslage abzuwarten. Das Risiko, eine solche Anlage zu installieren und sie nach der Abnahme und Emissionsprüfung nicht genehmigt zu bekommen ist derzeit noch sehr groß. Es muss ganz klar gesagt werden, dass in Anbetracht der kritischen Haushaltsslage der Kommunen und der teuren Technik dieser Verbrennungsanlagen die Umsetzung einer solchen Anlage sehr schwierig ist. Erschwerend kommt hinzu, dass seitens des Bundes und der Länder keine Fördermaßnahmen für Getreideverbrennungsanlagen zu erwarten sind. Diese Zuschüsse können allerdings beim Bau anderer biogener Verbrennungsanlagen wie z.B. Holzpelletkessel bezogen werden.

Um jedoch dem Auftraggeber dieser Studie und der Gemeinde Kaisersesch entgegenzukommen, wurde in dieser Studie Kapitel 7 ausgearbeitet. Sollten sich in Zukunft die Pläne der Gemeinde Kaisersesch konkretisieren, und die Umsetzung des Baus einer Getreideverbrennungsanlage in die erste Planungsphase gehen, kann in Kapitel 7 und in Anhang zwei nachgeschlagen werden, welche Kesselhersteller eine entsprechende Anlage anbieten und welche Kesselleistungsgrößen in Betracht kommen.

Abschließend kann gesagt werden, dass diese Studie zu einigen sehr erfreulichen Ergebnissen gekommen ist. Auch wenn es sich bei der Getreideverbrennung derzeit noch nicht um eine etablierte Art der Wärmebereitstellung handelt, sind Politik und Wirtschaft schon seit längerem auf diese Thematik aufmerksam geworden und beschäftigen sich intensiv mit dieser neuen Technologie. Die Zeichen der Zeit wurden erkannt und die Bemühungen zur Entwicklung neuer alternativer Verbrennungstechniken sind mehr als begrüßenswert. Es bleibt zu hoffen, dass in Bezug auf die Erlassung entsprechender Gesetze sehr bald eine Einigung erfolgt.

Das schwierige Thema der ethischen Seite dieser Verbrennungstechnik, die noch bei großen Teilen der Bevölkerung Bedenken auslöst, sollten nicht unberücksichtigt bleiben, aber auch nicht zu stark ins Gewicht fallen. Zwar ist es dramatisch, dass so viele Menschen auf dieser Erde Hunger leiden müssen, aber wer wenn nicht die Industrieländer, welche die entsprechenden Mittel zur Verfügung haben, müssen sich um den Klimaschutz bemühen und nachhaltig zum Leben und Überleben auf diesem Planeten beitragen.

Der in Bezug auf diese Diskussion gefundene Kompromiss könnte wie folgt lauten: Wie in Kapitel 4 erläutert fällt pro Jahr in Deutschland eine sehr große Menge an Ausschussgetreide an, das laut TA Siedlungsabfall ab dem Jahr 2005 nicht mehr deponiert werden darf. Die Regierungen könnten es generell gestatten, dieses Getreide, das ohnehin einem Verbrennungsprozess zugeführt werden muss, in privaten Verbrennungsanlagen zu verfeuern. Dieses Angebot würden hierzulande, wie die Länder Dänemark und Österreich bereits gezeigt haben, mit hoher Wahrscheinlichkeit viele bäuerliche Betriebe in Anspruch nehmen. Derzeit müssen 150 €/t Ausschussgetreide Entsorgungskosten gezahlt werden (Anhang 2). Landwirte, die dieses Getreide in ihren hauseigenen Verbrennungsanlagen zur Wärmeenergiegewinnung nutzen würden, hätten zum einen diese Entsorgungskosten gespart und zum anderen würde dieser Bevölkerungsanteil automatisch auf die Nutzung fossiler Energieträger verzichten. Damit wäre bereits ein großer Beitrag zum Klimaschutz geleistet.

Eine anderer schwierig zu handhabender Umstand ist die Tatsache, dass in einigen Jahren der Anbau von Energiegetreide auf Stilllegungsflächen erlaubt ist. Wie bereits bekannt ist, liegt der Wert des Getreides als Nahrungsmittel derzeit unter seinem

Wert als Brennstoff. Jährlich erfolgt eine Überproduktion an Getreide und die Landwirte beziehen staatliche Subventionen, um Äcker brachliegen lassen zu können und der Getreideüberproduktion somit entgegenzuwirken. Käme es mit dem Anbau von Energiegetreide zu einem ganz neuen Wirtschaftszweig, würden viele Landwirte, die derzeit Getreide zur Nahrungsmittelerzeugung kultivieren, in den Anbau von Energiegetreide wechseln. Es wird dann schwierig werden, den Überblick über die Energiegetreideproduktion zu bewahren und zu verhindern, dass es nicht auch hier zu einer Überproduktion kommt. Um den Anbau von Energiegetreide eindeutig zu regeln, wären auch hier neue Gesetze nötig. Dies würde die Thematik der Getreideverbrennung unnötig kompliziert machen.

Von technischer und wirtschaftlicher Seite bleibt abschließend zu sagen, dass die Diskussion der technischen Vor- und Nachteile sowie der Kostenermittlung einige vielversprechende Ergebnisse geliefert hat. Für das Problem der Schlackebildung konnte durch die Beimischung eines Verbrennungsindikators eine Lösung gefunden werden. Die Emissionen, die derzeit noch über den geforderten Werten der 1. BImSchV und der TA Luft liegen, sind zurzeit zwar nicht weiter zu reduzieren, aber mit dem Einsatz einer sekundären Rauchgasreinigung können sie auf akzeptable Werte gesenkt werden. Sind die entsprechenden Gelder zum Bau einer solchen Anlage vorhanden, dürfte es nicht sehr schwierig sein eine Genehmigung zum Betrieb einer solchen Anlage zu erhalten.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung hat für eine 50 kW-Kesselanlage einen Kilowattstundenpreis für dem Getreidekessel ergeben, der bei 0,1 €/kWh liegt. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Anlagentypen ist dieser Preis nicht konkurrenzfähig. Er liegt um ca. 40 % höher als der Kilowattstundenpreis bei der Wärmebereitstellung mittels eines Ölkessels (0,062 €/kWh). Geht man aber davon aus, dass Ausschussgetreide verbrannt wird, das ohnehin entsorgt werden muss, kann der Brennstoff gratis bezogen werden. Unter dieser Bedingung sinkt der Preis für die Kilowattstunde Getreideenergie auf ca. 0,07 €/kWh. Der Wert ist damit dem des Ölkessels in etwa gleichwertig. Dieser Sachverhalt bestätigt die Schwierigkeit, die beim gezielten Anbau von Energiegetreide entstehen würde.

Stellt der Energiegetreideanbau einen eigenen Wirtschaftszweig, in dem Löhne und Arbeitsaufwand bezahlt werden müssen, wäre es nicht möglich das Getreide kostenlos zu beziehen und somit den Kilowattstundenpreis konkurrenzfähig zu halten.

Fazit:

Zum jetzigen Zeitpunkt deutet alles darauf hin, dass die Technik der Getreideverbrennung nur in Bezug auf die Verbrennung von Ausschussgetreide rentabel betrieben werden kann. Auf diesem Aspekten sollte in Zukunft der Schwerpunkt der Diskussion des Themas Getreideverbrennung liegen. Wie errechnet, können mit dieser Getreidemenge in Deutschland insgesamt 10 Verbrennungsanlagen mit einer Leistung von ca. 20 MW betrieben werden. Legt man dies nun auf einen reinen Einsatz in bäuerlichen Kleinanlagen um, kommt dies einem Bau und Betrieb von ca. 5000 Kleinanlagen gleich (40 kW je Kleinanlage). Dies ist ohne viel Aufwand eine beachtliche Menge.

Abschließend bleibt zu sagen, dass der Technik der Getreideverbrennung eine große Zukunft bevor steht. Es bleibt zu hoffen, dass alle Beteiligten verantwortungsbewusst mit diesem Thema umgehen, die Gesetzgeber sehr bald eine Einigung erzielen und die Technik der Getreideverbrennung sehr bald angemessen zum Einsatz kommen kann.

9 Quellenverzeichnis

- [1] KTBL-Fachgespräch „Energetische Nutzung von Getreide in Kleinf Feuerungsanlagen“ Petersberg-Almendorf, 12./13. Februar 2003. Kurzfassung der Beiträge. Herausgeber: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt
- [2] C.A.R.M.E.N. e.V. Broschüre: „Heizen mit Getreide“ www.carmen-ev.de
Stand: 20.11.2002
- [3] Biomasse-Info-Zentrum (BIZ) Broschüre: „Getreideheizung“ Rechtliche und technische Aspekte www.biomasse-info.net
- [4] geoscience online Springer Verlag, Heilelberg www.g-o.de
- [5] Paul Schweiger, Klaus Mastel „Körner geben Kraft“ Landesanstalt für Pflanzenbau Stand: 29.10.2001 Informationen über Ansprüche, Anbau, Nahrungswert und Nutzung der wichtigsten Körnerfruchtarten. Präsentation auf dem Landwirtschaftlichen Hauptfest 2001 in Stuttgart
- [6] Konrad Scheffer Energie aus der Vielfalt der Pflanzenarten „Ein neuer Ansatz zur ökonomischen und ökologischen Optimierung der Biomassenutzung“ Universität Kassel, FB 11, Institut für Pflanzenkunde (INK) www.bioenergiehof.de
- [7] Wassergehalt von Getreidearten www.landwirtschaft.freepage.de
- [8] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft Telefonische und schriftliche Auskunft, Frau Bieler
- [10] Planungsbüro für Versorgungstechnik Berens & Friedrich 54516 Wittlich Telefonische Auskunft, Herr Berens Auskunft über Kosten Kesselanlage 50 kW mit Ölfeuerung
- [13] www.statistik.rlp.de Getreideernte 2003: Anbauflächen und Erträge in Rheinland-Pfalz

10 Anhang

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL)
DARMSTADT (Hrsg) (2003): *KTBL-Fachgespräch „Energetische Nutzung von Getreide in Kleinf Feuerungsanlagen“*. Darmstadt: KTBL. 26 S.

**KTBL-Fachgespräch
„Energetische Nutzung von
Getreide in Kleinfeuerungsanlagen“**

Kurzfassungen der Beiträge

**Petersberg-Almendorf (bei Fulda)
12./13. Februar 2003**



Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt

Inhalt

Kurzfassungen

Gesamtwirtschaftliche Rahmenbedingungen für die energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen	4
---	----------

DR. HERBERT FUNK

Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen, Anforderungen des Immissionsschutzes	5
---	----------

DR. MICHAEL RÖSSERT

Halmgutverdichtung und die Verbrennung von Strohpresslingen in den 80er Jahren	6
---	----------

DIPL.-ING. MICHAEL BRENDÖRFER, DR. RAINER VON OHEIMB

Technische Verfahren und Neuentwicklungen bei der Halmgutverdichtung	7
---	----------

PROF. DR.-ING. KLAUS NENDEL, DR.-ING. BRIT CLAUß

Pelletierung von Stroh mit Zuschlagstoffen und Bindemitteln	8
--	----------

DIPL.-ING. (FH) SOPHIA KIESEWALTER, DR. HABIL. CHRISTIAN RÖHRICHT

Technik der Verbrennung von Korn und Stroh	9
---	----------

DR. HABIL. ARMIN VETTER, THOMAS HERING

Verbrennungsverhalten und Emissionen bei der Nutzung von Getreidekörnern und Strohpellets als Brennstoff in Kleinfeuerungen	10
--	-----------

DR. HANS HARTMANN

Verbrennung von Strohpellets und Getreidekörnern in kleinen Kesseln	11
--	-----------

DIPL.-ING. RALF HEIDENREICH; DIPL.-ING. MANFRED LIST

Zur ethischen Bewertung der energetischen Nutzung von Getreide: Weizen zum Verheizen ?	12
---	-----------

DR. ROGER J. BUSCH

Energetische Nutzung von Getreide in Bayern	13
--	-----------

DR. RUTH BRÖKELAND

Stand der Entwicklung bei der Strohpelletierung, Getreidekorn- und Strohverbrennung in Nordrhein-Westfalen	14
DR. KARSTEN BLOCK	
Energetische Nutzung von Getreide in Schleswig-Holstein	15
DIPL.-ING. WALTER EGGERSGLÜß	
Stand der Entwicklung bei der Stropelletierung, Getreidekorn- und Strohverbrennung in Österreich	16
DIPL.-HLFL ING. JOSEF MEISL	
Stand der Entwicklung bei der Strohpelletierung, Getreidekorn- und Strohverbrennung in Dänemark	18
DIPL.-ING. CLAUS HERMANN KÜHL	
Wirtschaftlichkeit der Verbrennung von Energiegetreide und Strohpellets in Kleinanlagen	19
DIPL.-ING. AGR. ULRICH KEYMER	
Vergleichende Bewertung von Getreideverbrennung und -vergärung	21
DR.-ING. GERD REINHOLD, DIPL.-ING. THOMAS HERING	
Verzeichnis der Moderatoren und Refertenten	22
Verzeichnis der Hersteller	24
Verzeichnis der Teilnehmer	25
Programm	

Gesamtwirtschaftliche Rahmenbedingungen für die energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen

DR. HERBERT FUNK, LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER

Infolge der reformierten Agrarpolitik wird der EU-Getreidemarkt verstärkt vom Weltmarkt beeinflusst. Von 1984 an sind die Getreidepreise in der Europäischen Union nahezu kontinuierlich gesunken. Seit 1999/2000 ist leichtes Heizöl für Verbraucher in Deutschland schon teurer als Futtermittel, gemessen an dessen Verbrennungswert. Im Osten Deutschlands wird Getreide im EU-Vergleich in der Regel am niedrigsten bewertet.

Derzeit beträgt die Differenz zwischen dem energetischen Wert und dem Marktwert von Futtermitteln in Überschussgebieten ca. 42 €/t. Damit errechnen sich tragbare Mehrkosten für Investitionen in eine Getreideheizung von 4.750 € (25 kW) bis 24.340 € (100 kW).

Die Strohpreise haben sich in den vergangenen Jahren nur vergleichsweise wenig verändert. Für Stroh ab Feld gibt es in Ackerbaugebieten kaum Preisspielraum nach unten, wenn Nährstoffentzug und Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit angemessen berücksichtigt werden.

Seit 2002 besteht unter bestimmten Bedingungen auch die Möglichkeit zur Verbrennung von auf Stilllegungsflächen erzeugtem Getreide in betriebseigenen Heizungsanlagen. Dabei sind detaillierte Auflagen und Vorgaben zu beachten. Um eine Verwendung im Nahrungs- und Futtermittelbereich auszuschließen, muss das Getreide durch Einfärbung denaturiert werden. Zukünftig werden voraussichtlich erhöhte Mengen von Getreide-Ausputz (Reinigungsabgang) anfallen die zu entsorgen sind oder nach Möglichkeit auch einer energetischen Verwertung zugeführt werden können. Ab 2005 dürfen Reinigungsabgänge nicht mehr deponiert werden.

In Jahren mit schwierigen Wachstums- und/oder Erntebedingungen können in größerem Umfang mykotoxinhaltige Partien anfallen, deren Vermarktung sich als zunehmend problematisch gestalten wird, wenn auch für Fusarientoxine (z.B. DON) gesetzliche Höchstmengen eingeführt werden, für die es bislang nur einen Orientierungswert gibt. Die Verbrennung betroffener Partien ist neben einer eventuellen Verwertung in Biogasanlagen oder in der Ethanolherstellung eine mögliche Option, deren Erzeugernähe vorteilhaft sein kann.

Die Vorschläge der EU-Kommission zur erneuten Reform der gemeinsamen Agrarpolitik („mid-term-review“) beinhalten eine weitere Absenkung der Preisstützung für Getreide ab 2004/05 um insgesamt 9,2 % und den Wegfall der Roggenintervention. Ein Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen soll dann nicht mehr zulässig sein. Die vorgeschlagenen frühzeitigen Einschnitte (vor 2006) werden mit der bevorstehenden EU-Osterweiterung begründet.

Es ist davon auszugehen, dass wesentliche Teile des Vorschlagspakets beschlossen werden. Eine der indirekten Folgen wird ein ebenfalls verringerter Außenschutz und ein noch etwas niedrigeres Preisniveau für Getreide auf dem EU-Binnenmarkt sein. Auch mit tendenziell größeren Preisschwankungen ist zu rechnen.

Die energetische Verwertung von Getreide ist bei vorurteilsfreier Einschätzung nicht nur legitim, sondern gerade im Hinblick auf die Sicherung der Ernährungsgrundlagen sogar erstrebenswert, weil sie Anbauflächen auch auf Grenzertragsstandorten in Produktion halten kann, die bei veränderter Marktlage (Preisanstieg für Brot- und Futtermittel) sehr schnell wieder für die Nahrungsmittelherstellung zu mobilisieren sind. In diesem Zusammenhang wäre die Entwicklung kombinierbarer Verbrennungstechniken, die die Beschickung mit unterschiedlichen Brennstoffen (z. B. Getreide und Holzpellets) zulassen, vorteilhaft. Damit könnte wechselnden Marktbedingungen besser entsprochen und zugleich das Investitionsrisiko verringert werden.

Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen; Anforderungen des Immissionsschutzes

DR. RER. NAT. MICHAEL RÖSSERT, BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ,
AUGSBURG

Der Einsatz von Getreidekorn als Brennstoff hatte in der Vergangenheit keine allzu große Bedeutung. Die vergleichsweise hohen Chlor- und Stickstoffgehalte sowie hohen Ascheanteile mit der Gefahr hoher Staubemissionen und der Neigung der Asche zur Verschlackung bremsten den verstärkten Einsatz von Getreidekorn. Verstärkt ins Gespräch kam die energetische Nutzung von Getreidekorn in letztem Herbst durch den erhöhten Anfall an witterungsbedingt geschädigtem, minderwertigem Getreide. Getreidekorn ist kein Regelbrennstoff im Sinne der Ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV). Getreidekorn kann damit in Kleinfeuerungsanlagen nicht eingesetzt werden. § 20 der 1. BImSchV lässt allerdings Ausnahmen zu, soweit die Anforderungen der 1. BImSchV im Einzelfall wegen besonderer Umstände durch einen unangemessenen Aufwand oder in sonstiger Weise zu einer unbilligen Härte führen und schädliche Umwelteinwirkungen nicht zu befürchten sind. Hingegen ist der Einsatz von Stroh in Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV in Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 15 Kilowatt bis zu einer Feuerungswärmeleistung von 100 Kilowatt (entsprechend ca. 85 Kilowatt Nennwärmeleistung) zulässig. Die Anforderungen der 1. BImSchV an Strohf Feuerungen sind nahezu identisch mit denen an stückiges Holz (Staub $0,15 \text{ g/m}^3$, Kohlenmonoxid 4 g/m^3 , jeweils bezogen auf 13 % O_2).

Ab einer Feuerungswärmeleistung von 100 Kilowatt ist sowohl der Einsatz von Stroh als auch von Getreidekorn nur in genehmigungsbedürftigen Anlagen nach Nr. 1.3 des Anhangs der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) zulässig. Die Anforderungen zur Luftreinhaltung sind für diese Anlagen grundsätzlich in der TA Luft 2002 geregelt. Da das Emissionsverhalten von Getreidekorn eher dem Emissionsverhalten von Stroh ähnelt als dem von Holz und die besonderen Anforderungen der TA Luft 2002 an Strohf Feuerungen auch dem Verhalten von Getreidekorn im Verbrennungsprozess gerecht werden, können diese besonderen Anforderungen aus fachtechnischer Sicht auch für den Einsatz von Getreidekorn herangezogen werden. Beim Vergleich mit den Anforderungen an die Verbrennung von naturbelassenem Holz fällt auf, dass die TA Luft 2002 bei der Strohverbrennung zwar deutlich schärfere Anforderungen an die Begrenzung der Gesamtstaubemissionen kleinerer Anlagen stellt, aber zum Teil sogar deutlich geringere Anforderungen an die Begrenzung der Kohlenmonoxid-, Stickstoffoxid- und Gesamt-C-Emissionen.

Von Seiten der Landwirtschaft kam im Herbst 2002 der dringende Wunsch, witterungsbedingt geschädigtes bzw. minderwertiges Getreidekorn auch als Brennstoff einsetzen zu können. Nach Prüfung der rechtlichen Möglichkeiten hat daher das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) kurzfristig den zuständigen Behörden (in Bayern sind dies die Kreisverwaltungsbehörden) Hinweise für den Erlass von befristeten Ausnahmegenehmigungen bzw. befristeten Änderungsbescheiden gegeben für bestehende immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 15 Kilowatt bis zu einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 1 MW, die bisher mit Regelbrennstoffen im Sinne der 1. BImSchV betrieben werden und bestehende, nach Nr. 1.3 des Anhangs der 4. BImSchV genehmigte Anlagen, die keine Genehmigung für Getreideeinsatz haben. Zur Gewinnung von Erkenntnissen über die Auswirkungen des Einsatzes von Getreidekorn werden die Ausnahmegenehmigungen durch ein staatlich finanziertes Messprogramm begleitet.

Halmgutverdichtung und die Verbrennung von Strohpresslingen in den 80er Jahren

DIPL.-ING. MICHAEL BRENNDÖRFER, DR. RAINER VON OHEIMB, KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V., DARMSTADT

Verknappung und Verteuerung fossiler Brennstoffe, ausgelöst durch die Energiekrisen der 70er und 80er Jahre, waren der Anlass nach Möglichkeiten zu suchen, wie die leicht handhabbaren Brennstoffe Heizöl und Gas durch alternative Energieträger ersetzt werden konnten.

Für die Landwirtschaft ergab sich zwangsläufig die Überlegung Strohrückstände aus der Pflanzenproduktion auch zur Wärmeerzeugung heranzuziehen. Aufgrund der Besonderheiten die mit dem Stroh verbunden waren, schien es damals naheliegend, Stroh als Hochdruckpressling herzustellen und einzusetzen. Das waren Briketts oder Pellets. Umgesetzt wurde in den 80er Jahren die Brikett Herstellung und -verwendung; in den 90er Jahren wurden Versuche zur Pelletierung durchgeführt.

Von den über 50 Anbietern von Brikettier- und Pelletierpressen konnten nur wenige, die für die Strohverarbeitung gestellten Anforderungen erfüllen und den Nachweis der Funktionstüchtigkeit erbringen. Nur drei Hersteller boten ein funktionstüchtiges Konzept für die Herstellung und Verarbeitung von Strohpresslingen an. Insgesamt wurden in den 80er Jahren in Deutschland (West) sieben stationäre und zwei umsetzbare Brikettieranlagen betrieben. Eine der stationären Anlagen war eine von zehn Landwirten gemeinschaftlich betriebene Anlage. Anfang der 90er Jahre wurden zwei Prototypen einer selbstfahrenden Pelletiermaschine konzipiert und erprobt.

Die Herstellung von Strohriketts war aus technischer Sicht kein Problem, auch ohne Bindemittel, solange trockenes, sauberes und vor allem sandfreies Stroh eingesetzt wurde. Bei Pressdichten von $1,1 - 1,3 \text{ t/m}^3$ betrug der Verfahrensenergiebedarf nur 3 % des Briketttheizwertes, der elektrische Leistungsbedarf, war allerdings sehr hoch, insbesondere für die notwendige Strohaufbereitung.

Die damaligen Verbrennungsversuche machten aber deutlich, dass nicht jeder Kessel für die Verfeuerung von Briketts geeignet war. Aus Gründen der Handhabung, des Emissionsschutzes (gültig war die 1. BImSchV in der Fassung von 1979, für Feuerungsleistungen bis 1 MW), und des Wirkungsgrades wurden Unterbrandkessel mit ausschamotierter Brennkammer, wassergekühltem Rost, Nachbrennkammer und getrennt steuerbarer Primär- und Sekundärluft empfohlen. Spezialkessel für Strohpresslinge gab es nicht.

Die geringe Verbreitung dieser Technologie lag neben den organisatorischen und logistischen Problemen letztendlich im ökonomischen und marktstrukturellen Bereich. Die hohen Produktionskosten, das Desinteresse des Brennstoffhandels für neue Vermarktungswege sowie die geringe Nachfrage führten dazu, dass nach und nach die Anlagen wieder stillgelegt wurden. Der wieder sinkende Heizölpreis machte den Heizöleinsatz günstiger als die Strohrikettnutzung.

Technische Verfahren und Neuentwicklungen bei der Halmgutverdichtung

PROF. DR.-ING. KLAUS NENDEL, DR.-ING. BRIT CLAUß, TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ, INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK

Zielstellung der eigenen Forschungsarbeiten in letzter Zeit war es, für die Herstellung von hochverdichteten Brennstoffen (Schüttgüter kleiner Abmessung) das Verdichtungsverhalten von Halmgut zu analysieren, daraus Anforderungen für mögliche Kompaktierverfahren abzuleiten und die Qualität der hergestellten Preßlinge (Pellets, Briketts) zu bestimmen sowie die Zusammenhänge zwischen der Aufbereitung und thermischen Verwertung näher zu untersuchen.

Vor der eigentlichen Pelletherstellung erfolgt eine Aufbereitung bzw. Zerkleinerung des Gutes, um eine bessere Fließfähigkeit sowie im besonderen bei Getreidestroh eine Zerstörung der auf der Halmoberfläche befindlichen Wachsschicht zu bewirken. Als Verfahren stehen die herkömmliche Zerkleinerung mit Schneid- oder Hammermühlen sowie als Neuentwicklung die sog. Zerkleinerung mit einem Doppelschneckenextruder zur Verfügung. Bei letzterem Verfahren entsteht ein gut fließfähiger Faserstoff mit einer mittleren Korngröße von 3 - 6 mm, einer Schüttdichte von $0,06 \text{ g/cm}^3$, einem Feuchtegehalt von ca. 20 % und einer für das Bindungsverhalten vorteilhaften Temperatur von 70 - 80° C.

Die Verarbeitung von unzerkleinertem Langgut erfordert einen erhöhten Aufwand beim Preßverfahren durch Elemente der Strangformung, dafür entstehen sehr feste Preßlinge mit regelmäßiger Geometrie.

Für die Herstellung von kompakten Preßlingen hoher Dichte stehen für die unterschiedlichen Ausgangszustände des Halmgutes verschiedene Verfahren zur Verfügung. Aus der Futtermittelherstellung bekannte Kollergangpressen sind ebenso einsetzbar, wie das neu entwickelte Verfahrensprinzip der Hohlwalzenpresse. Beide Verfahren sind hochproduktiv für die Herstellung von Preßlingen kleiner Abmessung. Das aufbereitete (vorzerkleinerte) Gut wird durch Bohrungen gedrückt und dabei verfestigt. Zur Regulierung und Vergleichmäßigung der Preßlingslängen sind spezielle Abschneideeinrichtungen erforderlich.

Dagegen erfolgt bei einer Stempelpresse die Verdichtung in einem geschlossenen Werkzeug, die Druckeinleitung findet zwischen Preßstempel und Gegenstempel statt. Durch Strangführungselemente entsteht ein erhöhter verfahrenstechnischer und konstruktiver Aufwand, der jedoch das Verfahren auch für Langstroh nutzbar macht. Es entstehen exakte, geometrisch definierte Preßlingsformen (z. B. Zylinder) mit einer glatten Oberfläche und sehr geringem Abrieb (bis max. 5%). Stempelpressen sind für größere Brikettabmessungen geeignet. Eine vertretbare Produktivität der Anlage erfordert Brikettdurchmesser $\geq 40 \text{ mm}$.

Die Leistung der Heizungsanlage bedingt die Masse und damit die Abmessungen des zugeführten Brennstoffes. Danach wird die Herstellungstechnologie vorgegeben. Matrizenpressen, die vor allem für die Verdichtung von Grüngut ausgelegt sind, bieten sich zur Produktion von Pellets kleinerer Abmessungen an, wobei noch Forschungsbedarf bei der Verarbeitung von Stroh besteht (optimale Matrizen- bzw. Bohrungsgeometrie, Zugabe von Hilfsstoffen u.a.). Hohlwalzenpressen stellen ebenfalls ein produktives Verdichtungsverfahren dar, wobei die o.g. Punkte gleichfalls noch abzuklären sind. Zudem haben die nach den vorab genannten Prinzipien hergestellten Preßlinge gegenwärtig noch z. T. indiskutabel hohe Abriebwerte (mit Einrechnung des produktionsbedingten Abriebes bis zu 50 %). Besonders für die Verarbeitung von Getreidestroh könnte durch die Zugabe geeigneter Zusatzstoffe eine Festigkeitsverbesserung erreicht werden.

Pelletierung von Stroh mit Zuschlagstoffen und Bindemitteln

DIPL.-ING. (FH) SOPHIA KIESEWALTER, DR. HABIL. CHRISTIAN RÖHRICHT,
SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, LEIPZIG

Im Rahmen eines durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft bearbeiteten Forschungs- und Entwicklungsprojektes wurde der Einfluss spezieller Zuschläge beim Pelletieren von Stroh auf die Festigkeit und Abbrandeigenschaften der Brennstoffpellets untersucht.

Es wurden zehn verschiedene Pelletvarianten mit unterschiedlichen Zusätzen (Melasse, Stärke, Kleinkörner, Dolomitzkalk) aus Weizenstroh bzw. einem speziell aufbereiteten Strohfasermaterial hergestellt. Das Pelletieren erfolgte an einer Kollergangflachmatrizenpresse der Landwirtschaftlichen Dienstleistungs- und Trocknungs GmbH in Grimma.

Die Pelletvarianten wurden hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie des Abbrand- und Emissionsverhaltens geprüft. Die Abbrandversuche erfolgten in einem Biomassekessel der Fa. ÖkoTherm, Typ CO, mit 49 kW therm und wassergekühlter Brennmulde (Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden) sowie einem Pelletkessel der Fa. Ferro, Typ BIOMAT, mit 23 kW therm (Institut für Energetik und Umwelt GmbH Leipzig). Eine Bewertung der Emissionen erfolgte nach 1. BImSchV als Viertelstundenmittelwert mit 13 % O₂ als Bezugswert.

Es zeigte sich, dass bereits ohne jegliche Bindemittel eine gute Festigkeit und Energiedichte der Weizenstrohpellets erreicht wird. Durch Beimischen von 3 % Melasse konnten diese Parameter noch optimiert werden. Stärke erwies sich in den Untersuchungen als ungeeignet, da eine Verbesserung der Festigkeit nicht beobachtet werden konnte und das Anrühren des Getreidemehls einen erhöhten Aufwand im Verfahrensprozess darstellt.

Die Zumischung von 4 % und 6 % Dolomitzkalk beim Pelletieren führte zu einer Zunahme des Ascheschmelzpunktes, jedoch nahm die Festigkeit ab. Im Abbrand zeigten sich bei allen Pelletvarianten auf Grund hoher Feuerraumtemperaturen in den unterschiedlichen Anlagen Verschlackungen. Die geringen Kalkzumischungen konnten dem nicht entgegenwirken.

Das vorherige Zerfasern und Entstauben des Strohs stellt ein sehr aussichtsreiches Verfahren dar. Dadurch konnten die Staubemissionen drastisch unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes für Kleinf Feuerungsanlagen bis 100 kW (1. BImSchV) gesenkt werden. Der entstaubte Stroh-fasermaterial weist eine durch den Zerfaserungsprozess bedingte weichere Struktur auf, was sich auf den Pelletiervorgang positiv auswirkte. Die Pellets erzielten die höchste Festigkeit und den geringsten Abrieb. Dem Einsatz des Verfahrens in der Praxis stehen derzeit jedoch die entstehenden Kosten entgegen.

Nach Angaben der Hersteller ist bei einem Stroheinkaufspreis von 50 €/t mit einem Pelletpreis von ca. 150 €/t zu rechnen. Für eine vorherige Aufbereitung (Zerfasern und Entstauben) fallen zusätzlich Kosten von ca. 40 €/t an.

In den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass durch das Pelletieren aus Stroh ein qualitativ hochwertiger Brennstoff hergestellt werden kann, welcher verbesserte Eigenschaften (Dosierfähigkeit, sauberes Handling, hohe Energiedichte) aufweist. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Stroh auch in kleinen Heizanlagen und auch außerhalb des landwirtschaftlichen Bereichs als Brennstoff einzusetzen.

Technik der Verbrennung von Korn und Stroh

DR. A. VETTER, DIPL-ING. THOMAS HERING, THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, JENA

Die Anforderungen an die Technik für die Verbrennung von Korn, Stroh und Ganzpflanzengetreide werden zum einen von den chemischen Inhaltsstoffen, wie z. B. N, K, Cl als auch von den physikalischen Eigenschaften, hierbei vor allem Wassergehalt, Struktur und Dichte bestimmt. Naturgemäß wird dabei oft der Vergleich zu Holz und dessen verbrennungstechnisch relevanten Inhaltsstoffen gezogen. Bei der Verbrennung prinzipielle Ziele sind hohe Wirkungsgrade und geringe brennstoff- und verbrennungstechnisch bedingte Emissionen. Der niedrige Ascheschmelzpunkt von Getreide erfordert möglichst tiefe Verbrennungstemperaturen, welche durch wassergekühlte Feuerräume gewährleistet werden können. Geringe Verbrennungstemperaturen können zu erhöhten CO-Emissionen führen, die zum Beispiel durch eine entsprechend heiße Nachverbrennung reduziert werden können.

Der hohe Aschegehalt muss bei der Dimensionierung der Ascheaustragssysteme beachtet werden. Weiterhin besteht die Gefahr erhöhter Staubemissionen. Dies ist durch Primär- bzw. Sekundärmaßnahmen jedoch weitestgehend beherrschbar. Hinsichtlich der Korrosion und der HCl- Emissionen sind vor allem bei Stroh die Chlorgehalte zu beachten.

Stroh wird vorrangig in Ballen an die Feuerungsanlage angeliefert und dieser in verschiedenster Form zugeführt:

Zigarrenbrand	(Vollund-Verfahren)	- kontinuierlich
Ballenscheiben	(unverdichtet, verdichtet)	- quasi kontinuierlich
Ganzballen	(Rund- und Quaderballen)	- diskontinuierlich
Häcksel	(Einblasen, Schnecke?)	- kontinuierlich

Es handelt sich dabei vorrangig um dänische und z. T. österreichische Anbieter. Eine interessante Lösung für kleinere Anlagen stellen die von der Firma „Herlt“ (Deutschland) angebotenen Strohvergaser dar. Des Weiteren ist eine Beimischung von losem Stroh bis zu 30 % in Hackgutfeuerungen (mit Vorschubrost) unproblematisch. Kleinfeuerungsanlagen sollten aufgrund der besseren Steuer- und Regelbarkeit mit Strohpellets oder Getreidekörnern betrieben werden. Bewährt haben sich z.B. wassergekühlte Brennmuldenfeuerungen für Pellets. Stroh und Ganzpflanzenpellets können die DIN 51731 in Bezug auf Aschegehalt und Chlorgehalt nicht einhalten. Entscheidender als diese beiden Werte ist allerdings aus Sicherheitsgründen (Verpuffung) eine möglichst große Festigkeit und ein geringer Abrieb. Der einzige Vorteil von Strohpellets gegenüber Getreidekörnern besteht in ihren geringeren Stickstoffgehalten. Die Preise dürften sich aber auf einem ähnlichen Niveau wie bei Holzpellets bewegen und damit um ca. 50 % über Körnern liegen. Gegenwärtig sind drei Hersteller aus Österreich und definitiv zwei Hersteller aus Deutschland bekannt, die Getreidekornverbrennungsanlagen anbieten, welche die Grenzwerte der ersten BImSchV für Holz einhalten sollen. Zu beachten ist weiterhin, dass durch die hohen Stickstoffgehalte des Getreidekorns erhöhte NO_x-Emission auftreten, für die allerdings in der 1. BImSchV kein Grenzwert existiert. Eine Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft, bei der Getreidekörner als Regelbrennstoff eingeordnet werden, sind mit einem sehr hohen technischen Aufwand verbunden.

In Dänemark gibt es mehrere Anbieter, die Anlagen zur Getreidekornverbrennung in mehreren hundert landwirtschaftlichen Betrieben errichtet haben. Aussagen über die Emissionswerte dieser Anlagen liegen nur unzureichend vor. Entsprechende Eignungsprüfungen über die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte werden gegenwärtig durchgeführt.

Verbrennungsverhalten und Emissionen bei der Nutzung von Getreidekörnern und Strohpellets als Brennstoff in Kleinf Feuerungen

DR. HANS HARTMANN, TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, DIENSTSTELLE FREISING

Feuerungen für (schüttfähige) Halmgutbrennstoffe (Körner, Häckselgut, Pellets) sind auch für Holzhackschnitzel oder Holzpellets geeignet, umgekehrt ist dies jedoch nicht der Fall. Das liegt daran, dass landwirtschaftliche Festbrennstoffe wie Stroh, Gras, Ganzpflanzengetreide aber auch Getreidekörner gegenüber Holzbrennstoffen vielerlei Nachteile aufweisen. Dadurch wird einerseits eine aufwändigere und teurere Feuerungstechnik erforderlich und andererseits das Einhalten der derzeit gültigen Emissionsbegrenzungen erschwert.

Die Brennstoffnachteile von Körnern und Stroh sind vielfältig. Der Heizwert ist zwar nur geringfügig niedriger als beim Holz, jedoch liegt der Aschegehalt in der Regel um etwa das Fünf- bis Zehnfache höher. Auch beim Stickstoff-, Kalium- und Chlorgehalt weisen Getreidekörner oder Halmgut stets um ein Vielfaches höhere Werte als Holz auf. Die genannten Stoffe sind nicht nur an der Bildung von Luftschadstoffen beteiligt, sie wirken auch bei der Korrosion und Verschlackung von Feuerraum- oder Wärmeübertragerflächen mit. Sie sind dadurch für die Feuerungskonstruktion von besonderer Bedeutung.

Brennstoffinhaltsstoffe wirken zum Teil direkt auf das Emissionsverhalten. Bei den Körnern lässt sich der hohe Stickstoffgehalt (ca. 2 % i. d. TM) beispielsweise direkt am NO_x-Ausstoß bei der Verbrennung ablesen (Abbildung). Auch der Staubausstoß ist in der Regel mit dem Aschegehalt korreliert. Allerdings unterscheiden sich die Ascherückstände von Holz und Halmgut- bzw. Körneraschen erheblich. Durch Ihre Feinheit ist die Abscheidung der Körner- und Strohflugaschen (z. B. durch Sedimentation im Feuerraum) deutlich erschwert. Staubemissionen stellen somit auch das Hauptproblem bei der Körner- und Strohverbrennung dar. Die Emission an Kohlenmonoxid ist dagegen auf einem ähnlichen Niveau wie bei Holzfeuerungen. Bei Kohlenwasserstoffausstoß ergibt sich dagegen ein leichter Anstieg.

Fazit: Ohne Zusätzliche Maßnahmen ist beim Einsatz von Körnern und Stroh in Kleinanlagen grundsätzlich von einem höheren Schadstoffausstoß auszugehen. Gleichzeitig bestehen erhöhte technische Risiken (Ascheanbackungen, Störungen in der Luftführung durch Agglomerationen im Glutbett, Korrosion). Mögliche Abhilfe ist hierbei durch die Verwendung von Zuschlagsstoffen zum Brennstoff, durch Brennstoffmischungen oder durch den Einsatz von sekundären Emissionsminderungsmaßnahmen denkbar.

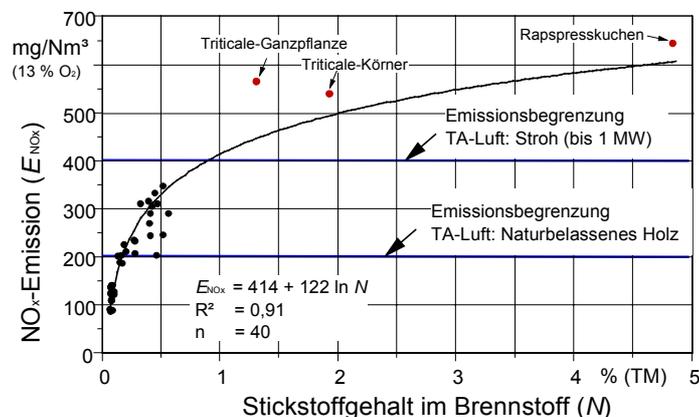


Abbildung: Einfluss des Stickstoffgehalts im Brennstoff auf den NO_x-Ausstoß (angegeben als NO₂). Messungen an einer 49 kW-Hackschnitzelfeuerung (Mittelwerte aus mindestens je 3 Wiederholungsmessungen, Grenzwerte nach novellierter TA Luft 2002)

Verbrennung von Strohpellets und Getreidekörnern in kleinen Kesseln

DIPL.-ING. RALF HEIDENREICH; DIPL.-ING. MANFRED LIST, INSTITUT FÜR LUFT- UND KÄLTETECHNIK GMBH, BEREICH LUFTREINHALTUNG, DRESDEN

Angeregt durch die in Sachsen jährlich für die thermische Nutzung zur Verfügung stehende Menge von über 700 000 t Stroh begannen im Jahre 1999 im ILK Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten von biogenen Brennstoffen (Hackschnitzel, Strohpellets unterschiedlicher Art) in Kleinkesseln. Eine größere Zahl Kleinkessel bis 100 kW Leistung könnten einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Nutzung von regenerativen Energien leisten. Die Verbrennung von halmartigen Brennstoffen in Pelletform stellt jedoch an die Verbrennungsanlage besondere Anforderungen, die den Verbrennungsraum und die Betriebsführung betreffen.

Für experimentelle Untersuchungen zum Verbrennungs- und Emissionsverhalten wurde ein Kesselprüfstand nach DIN 4702, Blatt 2, errichtet. Eingesetzt wurde ein 49 kW-Biomassekessel mit wassergekühlter Brennzone (Muldenfeuerung), Luftsplittung und Lambda-Regelung. Erste Messungen mit den als Vergleichsbrennstoff ausgewählten Holzhackschnitzeln zeigten gutes Verbrennungsverhalten mit hohem Kesselwirkungsgrad und Emissionen im Rahmen der zulässigen Grenzwerte. Verbrannt wurden Hackschnitzel aus Fichtenholz.

Die Ergebnisse der Verbrennungsversuche mit aus unterschiedlichem Getreidestroh hergestellten Pellets zeigten, dass die Funktion des ausgewählten Kessels stark von deren Eigenschaften beeinflusst wird. Über den Einsatz eines modifizierten Ascheschiebers mit Luftverteilerdüse konnten das Verbrennungsverhalten und der Wirkungsgrad wesentlich verbessert werden. Eine vollständige Verhinderung der Verschlackung war bei reinen Strohpellets nicht zu erreichen.

Im Hinblick auf die partikelförmigen Luftschadstoffe ist festzustellen, dass die Grenzwerte für Gesamtstaub eindeutig überschritten werden. Die Staubgehalte im Rauchgas lagen zwischen 170 und 300 mg/Nm³ bezogen auf 13 Vol.-% Sauerstoff und trockenes Abgas. Die Hauptmasse der Emission ist im Partikelgrößenbereich unterhalb von 0,5 µm anzusiedeln. In diesem Bereich sind Abscheideverfahren auf der Basis von Schwer- oder Zentrifugalkraft wirkungslos. Hier müssen Sekundärmaßnahmen zur Staubabscheidung getroffen werden.

Weitere Untersuchungen erfolgten im Auftrag der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Leipzig. Sie umfassten umfangreiche Verbrennungsversuche mit 10 Sorten Strohpellets aus Winterweizenstroh und unterschiedlichen Zuschlagstoffen. Bei der Verbrennung von Winterweizenstroh zeigte sich insgesamt eine geringere Emission als beispielsweise bei Triticale und Heu. Günstig wirkte sich offensichtlich eine Vorbehandlung („Entstaubung“) des Strohes aus. Die ermittelten Wirkungsgrade lagen insgesamt in der Größenordnung von nur 70 %.

Die Verbrennung von gekennzeichnetem Getreide im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, erforderte einen Umbau der Brennstoffzuführung zum Kessel (Schnecke mit geringerem Querschnitt). Für die Kesseleinstellung musste ein erheblicher zeitlicher Aufwand getrieben werden.

Zur ethischen Bewertung der energetischen Nutzung von Getreide: Weizen zum Verheizen ?

DR. ROGER J. BUSCH, INSTITUT TECHNIK-THEOLOGIE- NATURWISSENSCHAFTEN
(TTN), MÜNCHEN

Im Rahmen dieser Tagung wird über technologische Potenziale diskutiert. Die Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz jedoch muss mitbedacht werden. Es steht nämlich zu befürchten, dass die energetische Nutzung von Getreide in ähnlicher Weise wie der Einsatz der Grünen Gentechnik Gegenstand eines „ritualisierten Streits“ (AEU 2000) werden wird.

Ausgangspunkt einer dem Thema angemessenen ethischen Bewertung muss das Recht des Menschen sein, Maßnahmen zur Sicherung seines physischen und ökonomischen (Über-)Lebens zu treffen. Im Blick auf die menschliche Nutzung von Getreide muss dabei festgestellt werden, dass es seit jeher in vielen Bereichen Verwendung fand. Menschen – als Personen und moralische Subjekte – haben ein unhintergebares Recht auf Leben und Wohlergehen. Sie sind ethisch legitimiert, die Natur zu nutzen. Sie leben aber auch einen Vertrag mit denen, die gleichzeitig leben und mit denen, die nach ihnen leben werden. Sachgemäß kann dieser Vertrag in der Systemlogik der Nachhaltigen Entwicklung (Rio 1992) diskutiert werden.

Die energetische Nutzung von Getreide ist thematisch eng mit Gerechtigkeits-Vorstellungen verknüpft. „Gerechtigkeit“ in ihren beiden Dimensionen „intragenerationelle“ (d.h. synchrone) und „intergenerationelle“ (d.h. diachrone) Gerechtigkeit ist Gegenstand weltweiter wirtschafts- und sozialetischer Diskurse. Hier geht es um die Angemessenheit unterschiedlicher Wirtschafts-systeme und politischer Rahmenbedingungen. Im Kontext der Diskussion von Wirtschafts-systemen wird dann auch das Spektrum von Agrarsystemen verhandelt.

Eine konkrete Güterabwägung der energetischen Getreidenutzung setzt im günstigsten Fall voraus, dass auf der eben genannten Ebene Übereinstimmung zwischen den Dialogpartnern erreicht wurde oder doch möglich erscheint. Im Blick auf die drei Zieldimensionen nachhaltigen Handelns ist im Rahmen einer Güterabwägung zu fragen, (1) ob die energetische Nutzung von Getreide im allgemeinen ökologisch unbedenklich ist, (2) ob sie ökonomisch – und hier durchaus auch in globaler Hinsicht – vertretbar ist und (3) ob sie sozial verträglich ist.

Eine ethische Bewertung muss die Solidität der vorgelegten Daten voraussetzen können. Setzt man diese im gegebenen Fall voraus, so kann im Blick auf die energetische Nutzung von Getreide davon gesprochen werden, dass diese Nutzung ethisch vertretbar ist.

Eine solche ethische Bewertung ist stets nur eine vorläufige. Ändern sich die Daten, ändert sich auch die Bewertung. Die Ethik hat ja auch vorrangig die Aufgabe, Kriterien zur Güterabwägung zu entwickeln – Fragehinsichten ebenso wie Maßstäbe für eine Bewertung. Auf diese Weise kann sie einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die Kommunikation zum Thema sachgemäß zu strukturieren und damit die Beteiligten auf allen Ebenen davon zu entlasten, zwischen den Themenfeldern permanent hin- und herzuspringen und Bewertungsebenen zu vermengen. Vorausgesetzt werden sollte dabei grundsätzlich, dass die Dialogpartner einander die persönliche moralische Legitimation nicht absprechen und sich im Falle des Dissenses darauf konzentrieren, die Tragfähigkeit der vorgebrachten Argumente zu prüfen.

Energetische Nutzung von Getreide in Bayern

DR. RUTH BRÖKELAND, C.A.R.M.E.N. E. V., STRAUBING

Länderspezifische Regelungen bei der Genehmigung (Bayern)

- **Regelung zum dauerhaften Einsatz von Getreide**

In Bayern besteht grundsätzlich die Möglichkeit, eine Ausnahmegenehmigung für den dauerhaften Einsatz von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen zu erhalten. In der Vergangenheit wurden einige Ausnahmegenehmigungen erteilt. Seit bekannt werden der Entscheidung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), der sich gegen Getreide als Regelbrennstoff ausgesprochen hat, werden auch in Bayern Ausnahmegenehmigungen seltener erteilt.

- **Ausnahmeregelung für befristete Beimischung von Getreide**

Einer weiteren Ausnahmeregelung wurde in Bayern durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung zugestimmt. Danach können in der Betriebsperiode 2002/2003 für höchstens 6 Monate maximal 30 % schadhaftes Getreide in Holzfeuerungsanlagen zugemischt werden. Hierfür müssen im Einzelfall eine Ausnahmegenehmigung beim zuständigen Landratsamt beantragt werden, wobei bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden müssen.

Anlagenanzahl und Kesselbauarten

Die genaue Anzahl aller Feuerungsanlagen, in denen Getreide verbrannt wird, ist unbekannt. Es ist davon auszugehen, dass neben den Anlagen, für die eine Ausnahmegenehmigung erteilt wurde, viele Kessel mit Getreide betrieben werden, ohne dass die zuständigen Behörden darüber informiert sind. Zum Teil werden auch nur zeitweise Getreide, Ausputz oder ähnliche Brennstoffe (mit-)verbrannt.

Erfahrungen und Beispiele aus der Praxis

Neben großen Aschemengen, die bei der Verbrennung von Getreide anfallen, kommt es in unterschiedlichem Maße zur Schlackebildung und zu Geruchsbelästigungen. Gleichzeitig wurden verschieden stark ausgeprägte Kesselkorrosionen und eine verminderte Kesselleistung im Vergleich zur Verbrennung von Holzbrennstoffen festgestellt.

Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf die Getreideverbrennung ist noch sehr groß. In Bayern wird derzeit an der Entwicklung eines kleinen Elektrofilters gearbeitet, der auch für Kleinfeuerungsanlagen einsetzbar und wirtschaftlich tragbar sein soll. In einem weiteren Forschungsprojekt, das sich in der Vorbereitung befindet, sollen unterschiedliche Holz-Getreide-Mischungsverhältnisse in verschiedenen Feuerungsanlagen auf ihre Emissionen untersucht werden. Weitere Projektinhalte sind voraussichtlich die Untersuchung verschiedener Zuschlagsstoffe zum Brennstoff, die geeignet erscheinen, einen günstigen Einfluss auf den Verbrennungsverlauf und das Emissionsverhalten zu haben.

Stand der Entwicklung bei der Strohpelletierung, Getreidekorn- und Strohverbrennung in Nordrhein-Westfalen

DR. KARSTEN BLOCK, ZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE NRW IM LANDWIRTSCHAFTSZENTRUM HAUS DÜSSE, BAD SASSENDORF

Bedingt durch steigende Energiepreise, sinkende Getreidepreise und das Verschneidungsverbot von fusariumbelastetem Weizen in der Fütterung, sollten diese Mengen zusammen mit Produktionsabfällen möglichst in der Landwirtschaft betriebsintern verbrannt werden. Eine groß angelegte Kampagne zur Versorgung von Endverbrauchern kommt bei den dafür notwendigen Mengen nicht in Frage und würde mit Sicherheit zu einem Imageschaden in der Landwirtschaft führen.

In Richtung Endverbraucher sind eher andere Ressourcen, insbesondere das Stroh, als Brennstoff, verfügbar zu machen um es in Form von Strohpellets bereitzustellen. Die Logistik für die Endkundenbelieferung ist im landwirtschaftlichen Umfeld vorhanden. Stroh in Form von Großballen, wie es in Österreich oder Dänemark eingesetzt wird, ist in Deutschland aufgrund der fehlenden Wärmenetze eher in Ausnahmefällen einsetzbar und bietet somit kein breites Anwendungsspektrum. Da die Anforderungen an die Verbrennungstechnik bei Getreide und Stroh nahezu identisch sind, ist es notwendig, ein rechtliches Umfeld zu schaffen, in dem sich eine ausgereifte Verbrennungstechnik entwickeln kann.

Da man Abgaswerte von Gasheizungen nicht für die Beurteilung von Holzfeuerungen heranzieht, ist es auch nicht sinnvoll, Grenzwerte für die Holzfeuerung für landwirtschaftliche Biomasse heranzuziehen. Benötigt werden Grenzwerte für landwirtschaftliche Biomasse und diese Grenzwerte müssen sich, ebenso wie in anderen Bereichen, mit ausgereifter Technik verschärfen. Derzeit ist die gesetzliche Lage derart unbefriedigend, dass man Getreidefeuerungen generell und Strohfeuerungen über 100 kW praktisch nicht legal betreiben kann.

Gegenüber Holz sind die Ascheschmelzpunkte von Getreide niedriger (ca. 800 °C). Dies führt zu einer anderen Kesselkonstruktion, denn in Holzkesseln führt Getreide als Brennstoff in der Regel zu einer starken Schlackebildung. Die Kessel, die für Getreide oder auch Strohpellets als Brennstoff geeignet sind, stammen in der Regel aus dänischen Entwicklungen. In NRW sind praktisch alle bekannten Kesseltypen in der Landwirtschaft im Einsatz, so dass Erfahrungen mit dem Betrieb bestehen. Auch die speziellen Getreidekessel sind oft wartungsintensiver als normale Holzkessel. Weiterhin kommt es bei Getreide zu höheren Staubbelastungen im Abgasstrom, die z.T. durch einfache konstruktive Maßnahmen verringert werden könnten. Geringe Staubwerte im Abgas sind eine zwingende Notwendigkeit, da an den Feinstaub auch die wichtigsten Schadstoffe angelagert sind. Hier besteht noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf.

Da landwirtschaftliche Biomasse immer höhere Stickstoffgehalte aufweist als Holz, kommt es brennstoffbedingt zu höheren NO_x-Werten. NO_x wird in Form von Stickstoff mit Niederschlägen wieder auf den Boden zurückgeführt. Weiterhin ist Chlor (Cl) ein Problem. Vegetative Pflanzenteile enthalten in der Regel höhere Mengen an NaCl und KCl. Je frischer die Biomasse ist, desto höher sind in der Regel auch die Cl-Gehalte. Cl führt bei der Verbrennung zu Salzsäure, die auf Stahl äußerst aggressiv wirkt. Es kommt daher speziell bei Stillstandzeiten zu einer hohen Korrosion. Auch hier ist durch geeignete Materialien oder Beschichtungen Abhilfe zu schaffen. Aus den bisherigen praktischen Erfahrungen sind Korrosionserscheinungen bekannt, die Kessel sind aber noch nicht so alt, dass es zu Undichtigkeiten führte.

Für eine Verwertung ldw. Biomasse sind also noch einige gesetzliche Rahmenbedingungen zu gestalten, um die Brennstoffressource zu erschließen. Parallel ist es wichtig, die Kesseltechnik für diese Brennstoffe zu optimieren. Eine sachlich gestaltete umfassende Info-Broschüre zur Getreideverbrennung ist über das BIZ zu beziehen oder auch herunterzuladen (www.biomasse-info.net).

Energetische Nutzung von Getreide in Schleswig-Holstein

DIPL.-ING. WALTER EGGERSGLÜB, LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, RENDSBURG

In Schleswig-Holstein wird seit 1979 auf Ackerflächen nachwachsende Biomasse energetisch genutzt. Anfangs waren es zahlreiche Strohfeuerungsanlagen und zwei Strohbrickettieranlagen. Die Mehrzahl war aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen Ende der achtziger Jahre nicht mehr in Betrieb.

1995 führte die Landwirtschaftskammer einzelne Versuche zur Nutzung von Getreide und Rapskörnern als Brennstoff für Holzhackschnitzelf Feuerungen durch. Ein Demonstrationsvorhaben zur Nutzung von Rapsschrot und später zur Verfeuerung von aus Getreidereinigungsabfällen hergestellte Getreide-Nachprodukt-Pellets (GNP-Pellets) folgten. Seit 2001 laufen Feuerungsversuche mit unterschiedlichen Biomassepellets und Getreidekörnern auf dem Gelände der DEULA in Rendsburg, wo auch die Land- und Umwelttechnik beheimatet ist.

Als Kesseltechnik werden vorrangig sogenannte Magazinkessel dänischer Hersteller (PASSAT, BAXI) eingesetzt, bei denen ein Tages-Brennstoff-Vorratsbehälter und Kessel eine kompakte Einheit bilden. Per Schieber oder Schnecke wird der Brennstoff dosiert in den Feuerraum eingeschoben. Die Kessel arbeiten mehrstufig mit variabler Verbrennungsluft- und Brennstoffmengen zuzufuhr. Neuere Varianten werden über Lamda-Sonden geregelt.

Die hohe Schüttdichte der Pellets und Getreidekörner mit $500 - 800 \text{ kg/m}^3$ erleichtert die Handhabung und lässt relativ kleine Brennstoff-Vorratsbälter zu.

Zum Anzünden sind Hackschnitzel, Holzpellets o.ä. leicht entzündliche Brennstoffe von Vorteil. Getreidekörner sind schwer zu entzünden, besonders Weizen und Roggen. Vollastbetrieb ist von Vorteil.

Besonders Weizen neigt zur Schlackebildung, die beim Versuchskessel der DEULA Rendsburg (PASSAT C4) vereinzelt auch schon zur Behinderung der Zuluffführung und damit zu steigenden Kohlenmonoxidwerten geführt hat. Bei Gerste sind die Erfahrungen deutlich positiver, störende Schlackebildung trat bisher nicht auf.

Insgesamt sind bei Getreide und auch bei GNP-Pellets die Grenzwerte für Kohlenmonoxid (CO) einzuhalten, solange der Kessel mit hoher Leistung betrieben wird. Die Staubgehalte im Abgas lagen in der Mehrzahl der Messungen mit Getreide im zulässigen Bereich.

Für Stickoxide gibt es in der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung keinen Grenzwert. Die Messwerte liegen bei Getreide und GNP-Pellets mehrheitlich im Bereich zwischen 600 und 1.000 mg/m^3 Abgas (bez. auf $13 \% \text{ O}_2$) und damit über den Grenzwerten der TA-Luft.

Bei Vergleichsmessungen lagen Holzpellets etwa um den Faktor 3 unter den Werten von Getreide. Durch Optimierungen der Kesseltechnik und evtl. Brennstoffzusätze oder auch Brennstoffgemische können die Emissionswerte sicher noch deutlich reduziert werden.

Die Verwertung von minderwertigen Getreidepartien und auch von Energiegetreide von Stilllegungsflächen zu Heizzwecken wäre, neben der Restholznutzung, eine weitere Möglichkeit, um Erdöl- und Erdgasvorräte zu schonen.

Interessant für die Heizwärmeversorgung landwirtschaftlicher Betriebsgebäude erscheint besonders der Leistungsbereich bis 100 kW . Ausnahmegenehmigungen für den Einsatz dieser Energieträger für die Landwirtschaft würden auch das Interesse der Kesselhersteller steigen lassen, die Technik zu optimieren.

Stand der Entwicklung bei der Strohpelletierung, Getreidekorn- und Strohverbrennung in Österreich

DIPL.-HLFL ING. JOSEF MEISL, LANDWIRTSCHAFTLICHE FACHSCHULE TULLN, A-TULLN

Aufgrund der internationalen (völkerrechtlichen) Vereinbarungen von Rio 1992, Kyoto 1997 und Johannesburg 2002 haben sich die Nationen zum Schutze des Klimas für die Senkung der schädlichen Treibhausgase, die eine der Hauptverursacher des Treibhauseffektes sind, ausgesprochen. Im Weisbuch der Europäischen Union ist der europäische Durchschnittswert mit einer 8 %igen Senkung vereinbart. Für Österreich hat sich damit eine 13 %ige Senkung ergeben. Diese Zielvorgabe ist im österreichischen Weisbuch - Strategie Österreichs zur Erreichung des Kyotozieles - niedergeschrieben und von der Österreichischen Bundesregierung im Juni 2002 verabschiedet worden.

Die Kernelemente dieser Vereinbarung sind:

- Politik und Maßnahmen zur Emissionsreduktion
- Kyotomaßnahmenpaket
 - Maßnahmenbereich Raumwärme und sonstige Kleinverbraucher
 - Maßnahmenbereich Energieaufbringung
 1. Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energieträger
 2. Abfallwirtschaft
 3. Verkehr
 4. Industrie und produzierendes Gewerbe
 5. Land- und Forstwirtschaft
 6. Fluorierte Gase
- Horizontale Unterstützung der sektoralen Programme
- Finanzierung und gesamtwirtschaftliche Effekte

Aus diesem Grund ergeben sich für Österreich einerseits die Überlegungen einer Entkoppelung des Wirtschaftswachstums von einem Anstieg der fossilen Energieträger und andererseits die Forcierung, Bewusstseinsmachung und praxistaugliche Umsetzung von erneuerbaren Energieträgern.

Damit man der Forderung einer nachhaltigen, zukunftsbeständigen Entwicklung und einer nachhaltigen Energiewirtschaft nachkommt, werden verstärkte Bemühungen auf die regionale Energieversorgung und damit die Nutzung von Biomassen als Energieträger vor Ort - Wertschöpfung aus der Region für die Region - forciert.

Für die Ackerbaugelände ergibt sich daraus, dass die nicht benötigten Flächen für Lebensmittel und Futtermittelbereitstellung - Brachflächennutzung - als Energieproduktionsflächen genutzt werden. Aus diesen Überlegungen heraus haben wir an der Landwirtschaftlichen Fachschule Tulln das Projekt „Kornartige Rohstoffe als Energieträger“ zu nutzen, gestartet.

In der gegenwärtigen Rechtssituation gilt daher Folgendes:

1. Da die Brennstoffe kornartige Rohstoffe in der bundesländerübergreifenden 15a Artikelverordnung nicht definiert sind und daher auch keine Emissionsgrenzwerte vorhanden sind, können die Kesselherstellungs- und -vertriebsfirmen ihre Heizungsanlagen auf diese Brennstoffe typisieren. Die Firmen haben daher ihre Anlagen analog der EU-Norm 303/5 auf Holz basierend TÜV prüfen lassen. In den relevanten Prüfungsparametern haben die mit kornartigen Rohstoffen betriebenen Feuerungsanlagen der Holzverordnung entsprochen. Lediglich beim Stickoxyd (NO_x) sind die Grenzwerte von 150 mg/m^3 Rauchgas überschritten. Der Grund hierfür liegt im höheren Eiweißgehalt der Energiepflanzen und kornartigen Rohstoffen im Vergleich zu Holz.
2. Für die Inbetriebnahme einer Kleinf Feuerungsanlage ist daher die bundesländerspezifische Bautechnikverordnung zuständig. Der Betreiber muss bei der Baubehörde um Benützungsbewilligung ansuchen. Dieser muss beigelegt werden:
 - Ansuchen
 - Beschreibung der Kesselanlage
 - Beschreibung des verwendeten Brennstoffes
 - Emissionsgutachten über den verwendeten Brennstoff
 - Immissionsgutachten im laufenden Nennlastbetrieb der Anlage

Die Verwendung von kornartigen Rohstoffen als feste Brennstoffe ist unter Beachtung des Immissionsschutzes nach § 173 Abs. 2 NÖ BVT zulässig. Die kritischen Stickoxydwerte liegen unter dem erlaubten Grenzwert von $0,6 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$ Rauchgas.

Zur Zeit gibt es im Bundesland NÖ ca. 100 Kleinf Feuerungsanlagen (bäuerliche Anlagen) lt. Partnerfirmengabe. Die eingesetzten Brennstoffe sind unbespelzte und bespelzte Stärke-sämereien sowie zum Teil Ölsaaten wie Saflordistelkorn.

Die eingesetzte Feuerungstechnik ist je nach Firmenfabrikat sehr unterschiedlich. Die verwendeten Heizungsanlagen kommen aus dem Hackgut- und Pelletbereich. Für einen reibungslosen, automatisierten und funktionssicheren Betrieb muss die Ofensteuerung, Brennkammertemperatur und Verweilzeit des Brennstoffes aufeinander abgestimmt werden.

So gibt es Anlagen, die die Brennkammernsohle mittels Wasser oder Luft kühlen und das Brennmaterial kurz und heiß verbrennen oder die Brennkammer splitten in eine kühlere Brennstoffverbrennungskammer und in eine heiße Rauchgasnachverbrennungskammer. Die Phänomene der Ascheerweichung und damit Aschesteinbildung (Verschlackung) lassen sich dadurch ausschalten.

Die Wirkungsgrade bei den einzelnen Ofenfabrikaten liegen ca. zwischen 85 und 93 %. Die Forderung an die Landwirtschaft ist dahingehend, dass an die Produktionstechnik von kornartigen Energiesämereien entsprechende Sortenwahl und Produktionsweise in Hinblick auf niedrigen Eiweißgehalt und trotzdem hohen Energieertrag/ha produziert werden muss. Das Interesse der heimischen Landwirtschaft nach dem Begriff „Der Bauer als Energiewirt“ - energieautarker Bauernhof sowie der Bauer als unumdingbarer Kooperationspartner in einer nachhaltigen, zukunftsbeständigen Energiewirtschaft ist sehr hoch.

Stand der Entwicklung bei der Strohpelletierung, Getreidekorn- und Strohverbrennung in Dänemark

DIPL.-ING. CLAUS HERMANN KÜHL, BIO-ENERGIETECHNIK NORD GMBH,
ELLINGSTEDT/ PASSAT ENERGI A/S, DK-TJELE

Stroh ist in Dänemark seit ca. 30 Jahren ein bekannter Brennstoff der sowohl in zahlreichen Fernwärmeheizwerken als auch in einer Vielzahl von bäuerlichen Kleinanlagen eingesetzt wird. Da es in Dänemark keine Abgasbestimmungen für Heizanlagen mit Biobrennstoffen gibt, gab es bei den Anlagen unterschiedliche Entwicklungen. Bei den Großanlagen (1 bis 10 MW) hat sich der Ballenauflöser mit automatischer Beschickung durchgesetzt. Bei den Kleinanlagen sind die Leistungsgrößen unter 100 kW (Verbrennung von Kleinballen) zugunsten der Großballen (Großballenkessel) zurückgegangen. Da die Strohheizungen fast ausschließlich im landwirtschaftlichen Bereich zu finden sind und Abgasgrenzwerte nicht bestehen sind die in Ansätzen bis ca. 1990 vorhandenen Strohpelletieranlagen nicht mehr in Betrieb. Besondere Entwicklungen an Strohpelletkesseln sind aus diesem Grunde nicht durchgeführt worden.

Seit nunmehr 10 Jahren ist in Dänemark die Getreideverbrennung bekannt. Einige Firmen haben hier Entwicklungsarbeit geleistet und eine hohe Betriebssicherheit erreicht. Da Abgasnormen nicht existieren stand und steht die Funktionssicherheit und Haltbarkeit im Vordergrund. Zur Zeit werden in Dänemark ca. 10 000 Anlagen mit Getreide befeuert. Davon hat die Fa. Passat ca. 30 % geliefert. Bisher sind trotz der großen Anzahl von Anlagen keine besonderen Korrosionsprobleme bekannt. Zur Verminderung der Schlackebildung und der Korrosion werden dem Getreide häufig 1-2 % Kalk beigemischt.

Die Energiepreise für Heizenergie liegen in Dänemark wesentlich über denen in Deutschland. Der Heizölpreis lag in DK bis 2001 bei ca. 45 – 50 Cent/Liter. Im Moment beträgt der Preis durch die CO₂-Steuer ca. 75 Cent. Durch die hohen Heizölpreise sind die regenerativen Heizsysteme seit Jahren sehr konkurrenzfähig und haben eine sehr große Verbreitung gefunden. Bis 2001 wurden Heizanlagen die einen Wirkungsgrad von über 80 % und CO-Werte von unter 3000 mg/Nm³ einhielten vom Staat gefördert. Nach Einführung der CO₂-Steuer ist die Förderung ausgelaufen.

Wirtschaftlichkeit der Verbrennung von Energiegetreide und Strohpellets in Kleinanlagen

DIPL.-ING. AGR. ULRICH KEYMER, BAYER. LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR LÄNDLICHE STRUKTURENTWICKLUNG, BETRIEBSWIRTSCHAFT UND AGRARINFORMATIK, MÜNCHEN

Für einen Hektoliter Heizöl bezahlt der Landwirt ca. 35 €, für einen Hektoliter Futtergetreide bekommt er bestenfalls 7 €. Verfüttert werden vielfach sogenannte Billigmacher, die vielleicht besser einer thermischen oder anaeroben Verwertung zugeführt würden. Ist es also für den Landwirt wirtschaftlicher Futtergetreide zu verheizen? Solange die Gesellschaft solche Missverhältnisse nicht interessieren, solange kann man eine ethische Diskussion um die Erzeugung und Verbrennung von Energiegetreide nicht ernst nehmen.

Produktionskosten Getreide

In den meisten landwirtschaftlichen Betrieben kostet die Erzeugung von Getreide heute mehr als es an Markterlös bringt – zumindest wenn man ehrlich rechnet und Vollkosten ansetzt. Man kann davon ausgehen, dass die Produktionskosten für Energiegetreide auch unter günstigen Annahmen kaum unter 8 €/dt zu drücken sein werden.

Produktionskosten Strohpellets

Die Produktionskosten von Strohpellets gliedern sich in Rohstoffkosten, Bereitstellungskosten frei Pelletieranlage und Pelletierkosten. Insgesamt liegen sie zwischen 80 €/t und 130 €/t. Die Spreizung wird wesentlich vom Transportvolumen (Ballenform) und der Transportentfernung bestimmt.

Verbrennung von Energiegetreide und Strohpellets

Sinnvolle Aussagen über die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Energiegetreide oder Strohpellets in Kleinfeuerungsanlagen sind nur im Vergleich zu konkurrierenden Heizverfahren möglich. Für diesen Zweck werden Festbrennstoff-Feuerungsanlagen, die für o. g. Produkte geeignet sind und annähernd vollautomatisch betrieben werden können, mit Ölkesseln verglichen. Dies ist vor dem Hintergrund zu erwartender Heizölpreissteigerungen opportun.

In den Wirtschaftlichkeitsvergleich gehen die Kosten des Brennstofflagerraums, des Heizungsraums und der Heizanlage ein. Ausgangsgröße der Kalkulation ist ein fester jährlicher Nutzwärmebedarf von 60.000 kWh. In Abhängigkeit vom unterstellten Kesselwirkungsgrad lässt sich damit der Brennstoffbedarf und der Lagerraum für die jeweiligen Energieträger berechnen. Auch die Bereitstellung eines Heizraums verursacht Kosten. Da Festbrennstoffkessel eine größere Stellfläche beanspruchen als vergleichbare Ölkessel, sind die entsprechenden Kosten bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich anzusetzen. Unberücksichtigt dürfen sie nur dann bleiben, wenn ein bestehender Heizraum unterstellt wird, der sich für alle Kesselvarianten eignet. Beim Vergleich der Wirtschaftlichkeit kann auf den Ansatz der Kosten für Kamin, Wärmeverteilsystem und Brauchwasserspeicher verzichtet werden. Diese Komponenten sind für die angesprochenen Heizkessel in gleicher Weise notwendig. Zwar liegen die Brennstoffkosten pro kWh von Energiegetreide (ca. 2,0 Ct/kWh) und Strohpellets (ca. 2,4 Ct/kWh) deutlich niedriger als die von Heizöl (3,5 Ct/kWh), trotzdem können unter den Modellannahmen Energiegetreideheizungen (Kosten ca. 6,2 Ct/kWh bis 7,2 Ct/kWh) mit Ölheizsystemen (Kosten ca. 5,7 Ct/kWh) noch nicht konkurrieren. Die Anschaffungskosten sind zu hoch. Erst ab einem Heizölpreis von ca. 41 Ct/l wird die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreicht.

Diese Aussage gilt allerdings nur, wenn die Brennstoffkosten im Verhältnis zum Investitionsvolumen eine eher untergeordnete Bedeutung haben. Mit zunehmendem Wärmebedarf dürfen Energiegetreidekessel deutlich teurer sein als Ölkessel. Ob das Verheizen von Strohpellets eine interessante Alternative werden kann, hängt von der Entwicklung der Heizöl- und Energiegetreidepreise ab. Bei den derzeitigen Getreidepreisen sind Strohpellets keine Alternative.

Vergleichende Bewertung von Getreideverbrennung und -vergärung

DR.-ING. GERD REINHOLD, DIPL.-ING. THOMAS HERING, THÜRINGER
LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, JENA

Der weltweit steigende Energieverbrauch mit den Folgen CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre, Klimabeeinflussung und perspektivische Verknappung der fossilen Energieträger erfordert ein Umdenken in der Energiepolitik. Ziel der Arbeit ist die Verbrennung von Getreide in Kleinanlagen (50 bis 200 kW) mit dem Einsatz von Getreide als Co-Substrat in Vergärungsanlagen zu vergleichen.

Die Untersuchungen zur vergleichenden Bewertung von Verbrennungs- und Vergärungsverfahren zeigen deutlich die Unterschiede dieser energetischen Nutzungsvariante von Getreide. Während bei der Verbrennung eine bedarfsorientierte Wärmeerzeugung mit Wirkungsgraden von ca. 80 % möglich ist, kann bei der Vergärung von Getreide auch im Kleinanlagenbereich Elektroenergie mit Wirkungsgraden von ca. 30 % (Grundlaststrom) erzeugt werden. Die Vergärung von Getreide ist nur durch die Wirksamkeit des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes wirtschaftlich einsetzbar.

Voraussetzung für das Vergären ist eine Biogasanlage mit geringer Raumbelastung. Durch das Co-Substrat Getreide wird die Raum-Zeit-Auslastung der Anlage deutlich verbessert. Die ökonomische Wertung erfolgt an Hand von Grenzeinsatzkosten für Getreideeinsatz in Vergärungsanlagen. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Stromerlöse nur bei hohem verfahrenstechnischen Niveau die Realisierung der vollen Produktionskosten ermöglichen. Somit hat die Verwendung von Minderqualitäten (z. B. Reinigungsabfälle) immer Vorrang vor dem Zukauf von Getreide.

Die energetische Beurteilung des Einsatzes von Getreide ist durch einen Vergleich des Energie-Inputs und des Energie-Outputs möglich. Auf Grund der unterschiedlichen Energieformen ist eine Transformation in Substitutionswerte (Primärenergiebedarf) notwendig (Elektroenergie 11 MJ/kWh, d.h. 30,5 % Wandlungsgrad und Wärme 4 MJ/kWh, d.h. 90 % Wandlungsgrad).

Bei der Getreideverbrennung steht einem Energieaufwand von 257 MJ/dt ein Energiegewinn von 1500 MJ gegenüber. Bei Einsatz von Getreide in landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist der Energieaufwand (Input) geringer, da nur die Dieselenergie, der Düngeeinsatz für die Produktion und der Energieaufwand für das Schroten des Getreides zu beachten sind (Summe 158 MJ/dt). Der Prozessenergiebedarf (188 MJ/dt) für den Anlagenbetrieb (Pumpen, Durchmischen des Reaktors, ...) und die Prozesswärme werden aus dem BHKW-Betrieb bereitgestellt. Ohne Nutzung der Wärme beträgt der Energiegewinn 1.163 MJ/dt. Werden 100 % der Wärme genutzt, so ist ein Energiegewinn von 1.866 MJ/dt erreichbar. Bei höherem BHKW-Wirkungsgrad (35 %) und 50 % Wärmenutzung werden rechnerisch 1.733 MJ/dt Primärenergie substituiert. Insgesamt ist somit festzustellen, dass in Abhängigkeit vom verfahrenstechnischen Niveau (Wirkungsgrad der Elektroenergieerzeugung, Nutzungsgrad der Wärme, ...) der Substitutionseffekt der Getreideverbrennung bei der Vergärung noch überschritten werden kann. Im Vergleich zur Verbrennung sind bei der Vergärung ähnliche Primärenergiesubstitutionseffekte erreichbar, da energetisch hochwertige Elektroenergie erzeugt wird. Die Verwertung der anfallenden Wärme ist eine wesentliche Voraussetzung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Vergärung und Verbrennung von Getreide alternative Verfahren sind. Diese Verfahren ergänzen sich und sollten entsprechend den vorliegenden strukturellen Bedingungen zum Einsatz kommen.

Moderatoren und Referenten

Block, Karsten, Dr.

Zentrum für nachwachsende Rohstoffe NRW
im Landwirtschaftszentrum Haus Düsse
Ostinghausen
59505 Bad Sassendorf

Boxberger, Josef, Prof. Dr. Dr.

Universität für Bodenkultur
Institut für Land-, Umwelt-, und
Energietechnik
Nußdorfer Lände 29-31
A-1190 Wien

Brenndörfer, Michael

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
PB Umwelt und Energie
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt

Brökeland, Ruth, Dr.

C.A.R.M.E.N. e.V., Centrales Agrar-Rohstoff,
Marketing-, und Entwicklungs-Netzwerk
Schulgasse 18
94315 Straubing

Busch, Roger J., Dr.

Institut Technik-Theologie-
Naturwissenschaften (TTN)
Marsstraße 19/V
80335 München

Clauß, Brit, Dr.-Ing.

Technische Universität Chemnitz
Institut für Allgemeinen Maschinenbau
und Kunststofftechnik
Reichenhainer Straße 70
09111 Chemnitz

Eggersglüß, Walter

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Land- und Umwelttechnik
Am Kamp 13
24768 Rendsburg

Funk, Herbert, Dr.

Landwirtschaftskammer Hannover
Marktreferat
Postfach 269
30002 Hannover

Hartmann, Hans, Dr. agr.

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum
Nachwachsende Rohstoffe
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Heidenreich, Ralf,

Institut für Luft- und Kältetechnik GmbH
Bereich Luftreinhaltung
Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden

Hering, Thomas

Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft (TLL), Sitz Dornburg
Apoldaer Str. 4
07778 Dornburg

Keymer, Ulrich

Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Ländliche Strukturentwicklung
Betriebswirtschaft und Agrartechnik
Postfach 40 06 49
80706 München

Kiesewalter, Sophia

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig

Kühl, Claus Hermann

Bio-Energietechnik Nord GmbH/
Passat Energi A/S
Morgenstern 16
24870 Ellingstedt

List, Manfred

Institut für Luft- und Kältetechnik GmbH
Bereich Luftreinhaltung
Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden

Meisl, Josef

Landwirtschaftliche Fachschule Tulln
Frauentorgasse 72-74
A-3430 Tulln

Nendel, Klaus, Univ. Prof. Dr.-Ing.

Technische Universität Chemnitz
Institut für Allgemeinen Maschinenbau
und Kunststofftechnik
Reichenhainer Straße 70
09111 Chemnitz

Ohlhoff, Jürgen, Dr.

Bundesministerium für Verbraucherschutz,
Ernährung und Landwirtschaft
Referat 535 Energie und
Nachwachsende Rohstoffe
Postfach 14 02 70
53107 Bonn

Reinhold, Gerd, Dr.-Ing.

Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft (TLL)
Naumburger Str. 98
07743 Jena

Rössert, Michael, Dr.

Bayer. Landesamt für Umweltschutz
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg

Moderatoren und Referenten

Strehler, Arno, Dr.
Technische Universität München
Institut für Landtechnik
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Vetter, Armin, Dr. agr. habil.
Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft (TLL), Sitz Dornburg
Apoldaer Str. 4
07778 Dornburg

von Oheimb, Rainer, Dr.
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der
Landwirtschaft e.V. (KTBL)
PB Umwelt und Energie
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt

Hersteller

Bio-Energetechnik Nord GmbH
Passat Energi A/S
Kühl, Claus Hermann
Morgenstern 16
24870 Ellingstedt

Gerlinger - Biokompakt
Gerlinger, Ernst
Forschau 79
A-4391 Waldhausen

Herlt SonnenEnergieSysteme
Energiezentrum Mecklenburg-
Vorpommern e.V.
Weiß, Uwe
Gutshaus
18276 Groß Breesen

Ferro Wärmetechnik GmbH Co. KG
Müller, Franz
Am Kiefernschlag 1
91126 Schwabach

Ökotherm Projekt GmbH
Stoye, Wolfgang
August-Bebel-Str. 24 E
08435 Scharfenstein

**WVT Wirtschaftliche Verbrennungs-
Technik GmbH (Bioflam)**
Biedenkopf, Gerhard, Dr.-Ing.
Bahnhofstrasse 55-59
51491 Overath-Untereschbach

Teilnehmer

Achilles, Albrecht, Dr.
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
PB Landbewirtschaftung
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt

Ahlgrimm, Heinz-Jürgen, Dr.
Bundesforschungsanstalt f. Landwirt. (FAL)
Inst. f. Technologie und Biosystemtechnik
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Bendick, Dieter
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
Göttinger Str. 14
30449 Hannover

Bergmann, Fritz
Compactec Gesellschaft zur Kompaktierung
nachwachsender Rohstoffe mbH
Zum Weinberg 3a
93197 Zeitlarn/Identhal

Bilz, Wolfgang
Regierungspräsidium Kassel
Abteilung Staatliches Umweltamt
Konrad-Zuse-Straße 19-21
36251 Bad Hersfeld

Block, Andreas
Georg-August-Universität Göttingen
Institut für Agrartechnik
Gutenbergstr. 33
37075 Göttingen

Boxler, Hubert
Bühler GmbH
Postfach 33 69
38100 Braunschweig

Brüggemann, Carsten
Landwirtschaftskammer Hannover
Ref. 24, Landtechnik
Postfach 269
30002 Hannover

Danker, Heike
WEMAG Schwerin, Abt. VTB
Obotritenring 40
19053 Schwerin

Döhler, Helmut
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
PB Umwelt und Energie
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt

Eder, Gottfried
Austrian Bioenergy Centre
Rottenhauserstrasse 1
A-3250 Wieselburg

Fritsche, Uwe R.
Öko-Institut e.V.,
Elisabethenstr. 55-57
64283 Darmstadt

Führer, Thomas
Landesanstalt für Landwirtschaft
und Gartenbau, Zentrum für
Tierhaltung und Technik
Lindenstr. 18
39606 Iden

Gers-Grapperhaus, Christoph
Landwirtschaftskammer Weser-Ems
Ref. 33, Landtechnik
Postfach 25 49
26015 Oldenburg

Graf, Thomas
UMEG Zentrum für Umweltmessungen,
Umwelterhebungen und Gerätesicherheit
Baden-Württemberg
Großoberfeld 3
76135 Karlsruhe

Grundmann, Philipp
Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB)
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam-Bornim

Härdtlein, Marlies, Dr.
Institut für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung
Hessebrühlstr. 49a
70565 Stuttgart

Herr, Theo
Verein für Bio-Energie e.V.
Domäne Marienrode
34582 Borken

Hüging, Hubert, Dr.
Lehr- Forschungsstation, Dikopshof
Hessenweg
50389 Wesseling

Isensee, Edmund, Prof. Dr.
Christian-Albrecht-Universität Kiel
Institut für Ldw. Verfahrenstechnik
Max-Eyth-Straße 6
24118 Kiel

Jauschnegg, Horst, Dr.
Österreichischer Biomasse-Verband
Hamerlinggasse 3
A-8010 Graz

Teilnehmer

Jestödt, Josef
Am Eichenstrauch 6
36041 Fulda

Kahl, Torsten
Institut für Energetik und Umwelt gGmbH
Torgauer Str. 116
04347 Leipzig

Klages, Susanne
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
PB Umwelt und Energie
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt

Koch, Franka
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und
Geologie Mecklenburg-Vorpommern
Postfach 13 38
18263 Güstrow

Lange, Jörg
Lange&Meyer GbR
Wechold 33
27318 Hilgermissen

Lenz, Volker
hessen ENERGIE GmbH
Mainzer Str. 98-102
65189 Wiesbaden

Marks, Alexander
Technologie- und Förderzentrum
Dienststelle Freising
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Matthias, Joachim, Dr.
Landwirtschaftskammer, Westfalen-Lippe
Referat 34, Haltungsverfahren,
Technik, Bauen
Postfach 59 25
48135 Münster

Meyer, Claus
Lange & Meyer GbR
Eitzendorf 75
27318 Hilgermissen

Müller, Stefan
Landratsamt Fulda
Wörthstrasse 15
36037 Fulda

Pries, Volker
Betreiber u. Vertrieb für Heizanlagen
Am Markt 11
23823 Seedorf

Raab, Konrad
Biomasse-Info-Zentrum (BIZ)
Heißbrühlstr. 49
70565 Stuttgart

Roßmann, Paul
Technologie- und Förderzentrum
Dienststelle Freising
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Schlottmann, Diether
Lopper Kesselbau GmbH
Rottenburger Str. 7
93352 Rohr/Alzhausen

Stanev, Andrej, Dr.-Ing.
Fachagentur Nachwachsende
Rohstoffe (FNR) e.V.
Hofplatz 1
18276 Gülzow

Timmermann, Claus
Bäuerliche Service GmbH
Brunnenstr. 45
25524 Itzehoe

Wiech, Karl-Heinz
Hessisches Dienstleistungszentrum
für Landwirtschaft, Gartenbau und
Naturschutz/HDLGN
Washingtonallee 4
36041 Fulda

Wiest, Jürgen
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg (LfU)
Postfach 21 07 52
76157 Karlsruhe

BRÖKELUND, R. (2002): *Heizen mit Getreide*. Straubing: C.A.R.M.E.N. e. V. 12 S.

Heizen mit Getreide



C.A.R.M.E.N.

Dr. Ruth Brökeland
Info zu Heizen mit Getreide_02.doc
20.11.2002

Ausgangssituation

Seit einiger Zeit verstärkt sich das Interesse vor allem in der Landwirtschaft, mit Getreide zu heizen und auf diese Weise fossile Brennstoffe wie z. B. Heizöl einzusparen. Der Grund hierfür liegt zum einen im geringen Preis, der für Getreide gezahlt wird, zum anderen könnte Abfallgetreide durch die Verbrennung energetisch genutzt werden.

Dieses Infoblatt informiert Sie über die verschiedenen Aspekte, die bei der Verbrennung von Getreide zum Tragen kommen, und die derzeitige Situation z. B. hinsichtlich der rechtlichen Vorgaben und der technischen Möglichkeiten.

Was spricht für die Verbrennung von Getreide ? Welche Vorteile ergeben sich ?

Nachwachsender Rohstoff

Das erste Argument für eine Getreideverbrennung ist die Tatsache, dass Getreide ein nachwachsender Rohstoff ist und damit nicht nur nachhaltig unter anderem für energetische Zwecke zur Verfügung stehen kann, sondern auch bei der Verbrennung ein geschlossener CO₂-Kreislauf gegeben ist. Für die Herstellung von biologisch abbaubaren Materialien als Ersatz für Erdölkunststoffe wird Getreidestärke bereits eingesetzt.

Preiswerter Brennstoff ?

Der derzeit erzielbare Preis für Getreide liegt im Durchschnitt bei ca. 10 €/dt. Auf den Heizwert des Getreides bezogen entspricht dies ca. 0,025 €/kWh. Im Vergleich dazu schwankte der Ölpreis seit Beginn des Jahres 2002 zwischen 0,032 und 0,038 €/kWh (inkl. MwSt bei einer Bezugsmenge von 3.000 l Heizöl). Der auf den Energiegehalt bezogenen Wert von Getreide liegt also über seinen derzeitigen Erlösen als Nahrungs- und Futtermittel.

Hinzu kommt ein großer Anfall an Abfall- und Ausputzgetreide (z. B. durch Fusariumbefall), der für die Verwendung als Nahrungs- und Futtermittel nicht geeignet ist und entsorgt werden muss. Auch bei der Saatgutproduktion fallen große Mengen an Reststoffen an. Bei Einsparung der Entsorgungskosten oder Zukauf dieser sehr preiswerten Sortimente sinken die Kosten für diesen Brennstoff sogar noch weiter. Anlagenkosten, die einen großen Einfluss auf die Gesamtkosten haben, sind bei dieser Betrachtung allerdings nicht berücksichtigt (siehe: Technische Aspekte bei der Verbrennung von Getreide).

Tabelle 1: Kostenvergleich von Hackschnitzel-, Getreide- und Heizölf Feuerungsanlagen (beispielhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067)

	Einheit	Holzhackschnitzel	Getreide (Marktpreis)	Getreide (kostenlos)	Heizöl EL
Investition	€	25.000	30.000	30.000	10.000
kapitalgeb. Kosten (Kapitalkosten, Instandhaltung)	€/a	3.074	3.698	3.698	1.130
verbrauchsgeb. Kosten (Brennstoff, Strom)	€/a	1.703	3.218	28	4.024
betriebsgeb. Kosten (Personal, Reinigung, Service)	€/a	1.048	1.588	1.588	240
sonstige Kosten (Versicherung usw.)	€/a	0	0	0	0
Gesamtkosten pro Jahr	€/a	5.825	8.495	5.305	5.394
Gesamtkosten pro MWh	€/MWh	61	83	56	57
Förderung Marktanreizprogramm	€	2.750	2.750*	2.750*	0
Wärme gestehungs- kosten pro MWh	€/MWh	58	80	53	57

* = theoretische Annahme, Förderung ist für Getreidefeuerung unwahrscheinlich !

Heizlast 50 kW; Volllaststunden 1.900; Nutzenergiebedarf 95 MWh/a; kalk. Zins 6%;

Mischpreis Hackschnitzel 43 €/t; Getreidepreis 80 €/t bzw. 0 €/t; Heizölpreis 0,36 €/l

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass bei einem Preisansatz von 80 €/t für Getreide die thermische Verwertung von Getreide in den Wärme gestehungskosten deutlich höher liegt als bei Einsatz von Hackschnitzel oder Heizöl. Erst wenn Getreide als kostenloser Brennstoff angesetzt werden kann, werden Wärme gestehungskosten in ähnlicher Höhe wie bei Hackschnitzel- oder Heizölf Feuerungsanlagen erreicht. Die Einbeziehung von Fördermitteln nach dem Marktanreizprogramm des Bundes ist rein theoretisch. Eine finanzielle Förderung von Feuerungsanlagen, in denen Getreide verbrannt werden sollen, ist zur Zeit unwahrscheinlich. Zum einen sind die angebotenen Anlagen in der Regel nur für Holzbrennstoffe zugelassen. Zum anderen müssen für eine Förderung in Prüfstandsmessungen durch anerkannte Prüfinstitute relativ strenge Grenzwerte für CO und Staub eingehalten werden, die bei der Getreideverfeuerung ohne sekundäre Entstaubung voraussichtlich nicht eingehalten werden können. Prüfstandsmessungen werden üblicherweise mit gängigen Holzbrennstoffen durchgeführt, so dass der erforderliche Nachweis für Getreide wahrscheinlich nicht erbracht werden kann.

Bei der Vollkostenrechnung, deren Ergebnisse in Tabelle 1 dargestellt sind, wurde für die Getreideanlage eine geringfügig höhere Investition als für die Hackschnitzelanlage angenommen, da hier wegen der Schlacke- und Emissionsproblematik in der Regel eine teure Anlagentechnik eingesetzt werden muss.

Gute mechanische/physikalische Eigenschaften

Getreide hat für einen Biobrennstoff eine relativ hohe Dichte, besitzt eine gute Rieselfähigkeit und eine große Homogenität, so dass hier optimale Transport- und Dosierfähigkeiten gegeben sind. Sogar der Begriff "Naturpellets" wird hin und wieder aus

diesen Gründen für Getreide verwendet. Hinzu kommt, dass die Logistik für die Ernte, Lagerung und Fördertechnik in der Landwirtschaft vorhanden bzw. seit langem Stand der Technik sind. Auch eine Zuführung des Getreidebrennstoffs in den Brennraum der Feuerungsanlage ist z. B. mit Förderschnecken leicht möglich.

Der Heizwert von Getreide ist mit dem von Holzbrennstoffen vergleichbar. Durch den tendenziell geringeren Wassergehalt liegt er bei Getreide mit ca. 4 kWh/kg sogar leicht höher als bei Holz. Ein Liter leichtes Heizöl lässt sich somit durch 2,5 kg Getreide ersetzen.

Deponierung zukünftig nicht mehr möglich

Laut TA Siedlungsabfall (Technische Anleitung Siedlungsabfall) ist die Deponierung von nicht mehr verwertbarem Getreide ab 2005 nicht mehr erlaubt, so dass hier neue Verwertungswege geschaffen werden müssen. Die Verbrennung von z. B. fusariumbelastetem Getreide als Alternative hat den Vorteil, dass Krankheitserreger zuverlässig vernichtet werden.

Energiegetreideanbau auf Stilllegungsflächen erlaubt

Am 26.03.2001 trat die EU-Verordnung Nr. 587/2001 in Kraft, nach der Getreide (wie auch Raps- und Sonnenblumen) auf eigenen Stilllegungsflächen für die energetische Verwertung angebaut werden und auf eigenen landwirtschaftlichen Betrieben verbrannt werden darf. Um eine missbräuchliche Verwendung im Nahrungs- und Futtermittelbereich zu vermeiden, muss das Getreide denaturiert werden. Hierzu werden derzeit Lösungsmöglichkeiten gesucht (z. B. Beimischung von Holzpellets), die den Verbrennungsverlauf und die Emissionen nicht negativ beeinflussen und die Handhabung des Brennstoffs nicht beeinträchtigen.

Was spricht dagegen ? Welche Nachteile bestehen ?

Problematische Inhaltsstoffe

Asche

Es ist grundsätzlich sehr viel schwerer, Halmgüter, egal ob Stroh, Getreidekörner oder Getreideganzpflanzen, sauber zu verbrennen als z. B. Holzbrennstoffe. Die Ursache hierfür liegt in den unterschiedlichen Brennstoffeigenschaften. Beim Getreide ist es vor allem der hohe Mineral- und Aschegehalt, der einen sauberen Ausbrand mit möglichst geringen Emissionen erschwert. Tabelle 2 vergleicht die Eigenschaften und Inhaltsstoffe verschiedener naturbelassener biogener Festbrennstoffe.

Halmgüter besitzen einen sehr hohen Aschegehalt, er liegt etwa 4 bis 5mal so hoch wie bei Holz. Die hohe Aschemenge allein ist aber noch nicht das Problem, denn die Menge ließe sich mit erhöhtem Wartungs- und Reinigungsaufwand oder mit automatischer Entaschung bewältigen. Probleme entstehen jedoch zum einen durch die daraus resultierenden Staubemissionen (der Staub besteht neben unverbrannten Bestandteilen hauptsächlich aus Aschepartikeln), die häufig so hoch liegen, dass die gesetzlichen Grenzwerte nicht eingehalten werden. Bisher wurden nur wenige Versuchsmessungen mit Getreideverbrennung durchgeführt. Abbildung 1 zeigt den Vergleich aus einigen Verbrennungsversuchen mit unterschiedlichen Getreidearten. Es wird deutlich, dass der Staubgrenzwert von 150 mg/m³ Rauchgas nach der 1. BImSchV (1. Bundesimmissionsschutzverordnung) für Anlagen bis 100 kW Feuerungswärmeleistung nur in einem Versuch eingehalten wurde, wobei Unterschiede zwischen den Getreidearten bestehen. Bei der Verbrennung von Holz entstehen in der Regel deutlich niedrigere Staubemissionen. In der Praxis würde ein mehrmaliges

Überschreiten der Staubgrenzwerte bei der Emissionsmessung zur Stilllegung der Anlage führen bzw. die Nachrüstung einer kostenintensiven sekundären Entstaubungsanlage notwendig machen.

Der Erweichungspunkt bei Halmgutasche ist deutlich niedriger als bei Holzbrennstoffen, so dass es zu Verschlackungen im Brennraum kommen kann. Der Erweichungspunkt von Getreideasche liegt bei ca. 700°C, während er bei Holz bei 1.200°C und höher liegt. Da im Brennraum von Holzfeuerungsanlagen (die derzeit in der Regel für die Getreideverbrennung genutzt werden) Temperaturen von ca. 1.000°C erreicht werden, kommt es sehr viel schneller zu den bereits erwähnten Verschlackungen, wenn Getreide verbrannt wird. Nicht nur die Beseitigung der Schlacke kann sehr aufwendig werden (z. T. sind dafür Hammer und Meißel erforderlich), auch die Luftzuführung und damit die geregelte Verbrennung mit einem möglichst guten Ausbrand können behindert werden.

Tabelle 2: Emissionsrelevante Inhaltsstoffe naturbelassener Biobrennstoffe (aus Hartmann u. a. 2000: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten)

Biobrennstoff	Heizwert (wf) (kWh/kg)	Aschegehalt (wf) (%)	Erweichungspunkt (°C)	N (%)	Cl (mg/kg TS)	S (mg/kg TS)
Nadelholz allg.	5,23	0,79	1.398	0,14	87	234
Laubholz allg.	5,11	0,55	1.265	0,49	163	402
Getreidestroh allg.	4,78	5,68	960	0,47	2.503	737
Rapsstroh	4,76	6,20	1.273	0,84	4.668	2.703
Getreideganzpflanzen allg.	4,76	4,24	886	1,16	1.807	1.370
Roggenkörner	4,74	2,04	710	1,91	863	1.058
Weizenkörner	4,72	2,69	687	2,28	426	1.025
Triticalekörner	4,70	2,06	730	1,68	692	1.067
Rapskörner	7,35	4,60	-	3,94	-	1.000
Landschaftspflegeheu allg.	4,83	5,71	1.061	1,14	3.112	1.581
konv. Wiesenheu allg.	4,74	7,09	918	1,26	7.588	1.650

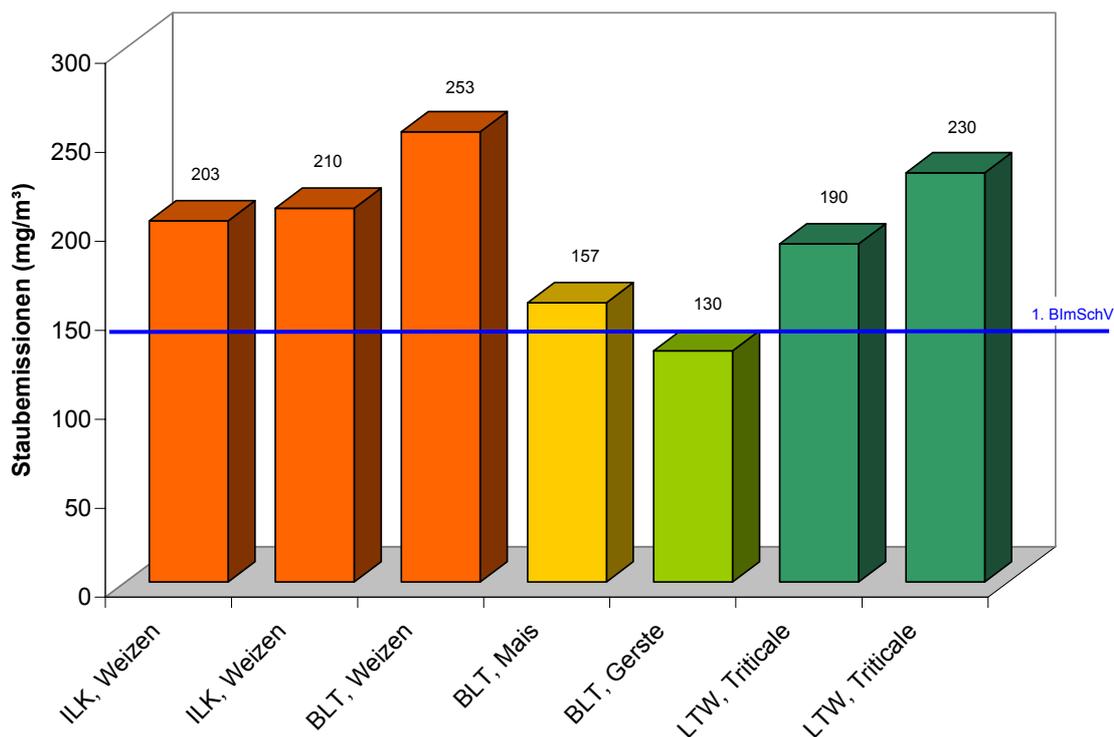


Abbildung 1: Staubemissionen bei Getreideverbrennungsversuchen (Quellen: ILK = Institut für Luft- und Kältetechnik, Dresden; BLT = Bundesanstalt für Landtechnik, Weiselburg; LTW = Landtechnik Weihenstephan)

Stickstoff

Getreidekörner enthalten durch den hohen Proteingehalt auch viel Stickstoff. Bei der Verbrennung können daraus erhebliche Stickoxidemissionen entstehen (siehe Abb. 2). Nach der 1. BImSchV, die die Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen bis 100 kW Feuerungswärmeleistung festlegt, existiert kein Grenzwert für NO_x. Erst bei größeren Anlagen würde für diesen Brennstoff die 4. BImSchV und damit die Emissionsgrenzwerte der TA Luft greifen. Abbildung 2 zeigt die NO_x-Emissionen bei wenigen bereits bekannten Verbrennungsversuchen. Es zeigt sich, dass der Ausstoß an NO_x bei der Getreideverbrennung deutlich über den Grenzwerten der TA Luft (250 mg/m³ Rauchgas) liegt.

Auch wenn, wie bereits erwähnt, im Kleinf Feuerungsanlagenbereich kein Grenzwert für NO_x festgelegt ist, sprechen jedoch die sehr hohen Emissionen gegen eine Verbrennung von Getreide.

Auch durch gezielte Kulturmaßnahmen, z. B. geringer N-Gaben oder Sortenwahl, lässt sich der Stickstoffgehalt des Getreidekorns nur wenig beeinflussen, so dass von der Brennstoffseite her keine Möglichkeit besteht, die Entstehung von NO_x bei der Verbrennung zu vermeiden.

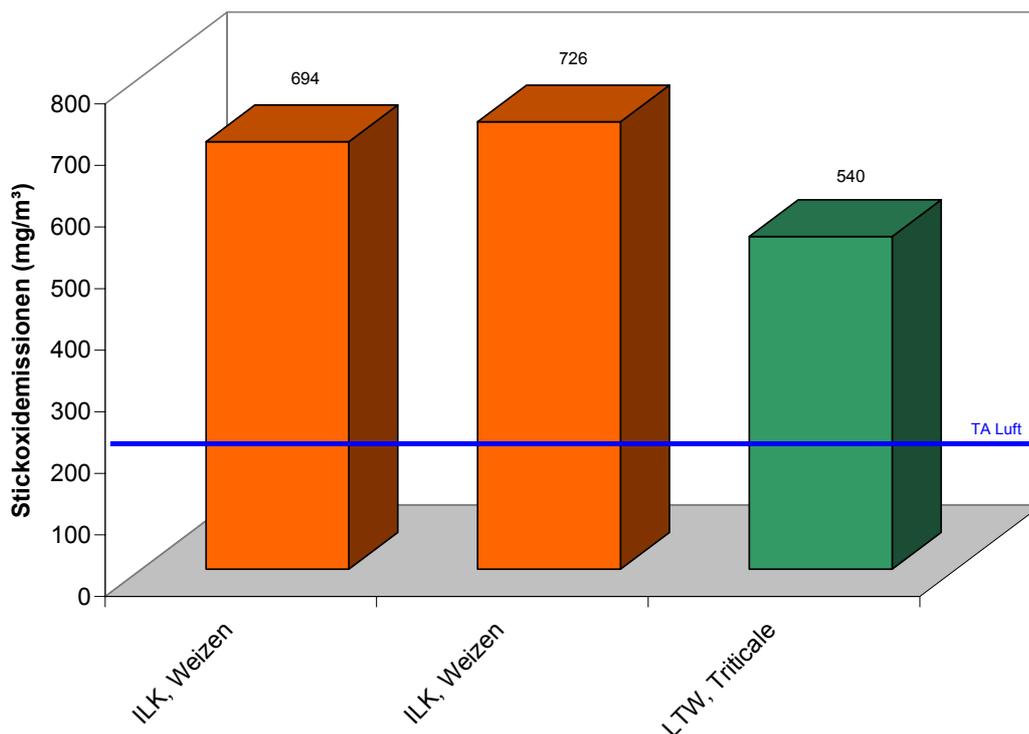


Abbildung 2: Stickoxidemissionen bei Getreideverbrennungsversuchen (Quellen: ILK = Institut für Luft- und Kältetechnik, Dresden; LTW = Landtechnik Weihenstephan)

Chlor

Getreide nimmt während seines Wachstums Chlor aus z. B. chloridhaltigen Düngemitteln auf und lagert es in seiner Pflanzenmasse ein. Dabei wird das Chlor zwar überwiegend im Halm und nicht im Korn eingelagert. Doch auch ein geringer Chlorgehalt in den Getreidekörnern kann bei der Verbrennung zu einer Aufkonzentrierung und damit z. B. zur Bildung von Salzsäure führen. Die Folge können zu einer Kesselkorrosion, vor allem an den kälteren Teilen der Wärmetauscher, sein. Zum anderen besteht die Gefahr von Chloremissionen, zu den schädlichsten gehören hier Dioxine und Furane.

Geruchsbelästigungen

Bei der Verbrennung von Getreide können, besonders im Teillastbetrieb und beim An- und Abfahren der Anlage, Geruchsbelästigungen auftreten. Diese Gerüche sind stärker und unangenehmer als bei der Verbrennung von Holz. Aus diesem Grund sollten Getreideverbrennungsanlagen möglichst nicht in der Nähe von Wohnsiedlungen betrieben werden.

Nicht nur wegen der Entstehung von Gerüchen, sondern auch wegen der bereits angesprochenen Emissionen sollte ein Teillastbetrieb vermieden werden. Dies ist durch die Einbindung von gut dimensionierten Pufferspeichern und die Vermeidung von Gluterhaltungsbetrieb erreichbar.

Ethische Bedenken

Die Verbrennung von Getreide stößt bei vielen Personen spontan auf Empörung und Unverständnis, ethische Bedenken treten als erstes in den Vordergrund. Wer sich jedoch näher mit diesem Thema beschäftigt, erkennt die eigentlichen Ursachen, die hinter der Getreideverbrennung stehen und die gelöst werden müssen. Zudem werden auch andere nachwachsende Rohstoffe, die ursprünglich für die Nahrungs- und

Futtermittelproduktion erzeugt wurden, für stoffliche oder energetische Zwecke eingesetzt (z. B. Biodiesel aus Pflanzenöl, biologisch abbaubare Materialien aus Kartoffel-, aus Mais- oder auch Getreidestärke). Es lassen sich zahlreiche moralische und andere Argumente für und gegen die Verbrennung von Getreide anführen. Auf eine ausführliche Diskussion wird an dieser Stelle jedoch nicht eingegangen. Hierzu wird auf den Beitrag „Getreideverbrennung contra Welthunger?“ (energie pflanzen III/2001, Autor: Carsten Brüggemann) und "Viel Zündstoff – Round-Table-Gespräch der Neuen Energie zum Thema 'Heizen mit Energiegetreide'" (Neue Energie 10/2002) hingewiesen.

Ethische Bedenken sollten auf jeden Fall ernst genommen werden. Eine gewissenhafte Aufklärungsarbeit ist hier erforderlich, in die alle Beteiligten eingebunden werden sollten, um für die Landwirtschaft kein neues "Imageproblem" entstehen zu lassen.

Weitere Argumente gegen die Verbrennung von Getreide

Gegen die Verbrennung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen mit dem damit verbundenen hohen Emissionspotential spricht auch die Tatsache, dass große Verbrennungsanlagen zum Teil für die Entsorgung von **belastetem Getreide** zur Verfügung stehen können. Hierfür spricht auch, dass diese größeren Anlagen über eine gute Rauchgasreinigung und -überwachung verfügen und damit die möglichen Emissionen deutlich besser in den Griff zu bekommen sind.

Ein weiteres Argument, das gegen die reine Getreidekörnerverbrennung spricht, ist dass auch das Getreidestroh energetisch genutzt werden sollte. In diesem Fall wäre gegenüber einer getrennten Verbrennung von Korn und Stroh die Verwendung von **Getreideganzpflanzen** sinnvoll, da bei einem durchschnittlichen Korn-zu-Strohverhältnis von 1:1 der Ertrag gegenüber der reinen Körnernutzung verdoppelt wird. Bei der Ganzpflanzennutzung würden Arbeitsschritte eingespart werden und der Brennstoff könnte in üblichen Strohfeuerungsanlagen eingesetzt werden. Die hier beschriebenen verbrennungs- und emissionstechnischen Probleme bestehen jedoch auch, wenn das Stroh mitverbrannt wird.

Rechtliche Situation

In der 1. BImSchV sind Brennstoffe aufgeführt, die in Kleinfeuerungsanlagen verbrannt werden dürfen. Unter anderen werden dort neben verschiedenen Holzbrennstoffen "Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe" als Regelbrennstoff genannt. In Erläuterungen zur 1. BImSchV werden als strohähnliche Energiepflanzen z. B. Schilf, Elefantengras, Heu, Maisspindeln genannt. Getreide ist hier nicht aufgeführt und demnach kein Regelbrennstoff. Die Auslegung, ob Getreide ein strohähnlicher Brennstoff ist oder nicht, ist Sache der Länder. Die Länder Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg sowie das Bundesumweltministerium lehnen den Einsatz von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen ab. In Bayern besteht noch keine eindeutige Regelung. Auf Antrag kann das zuständige Landratsamt Ausnahmegenehmigungen zum Betrieb von Getreideverbrennungsanlagen erteilen. Da in Thüringen zur Zeit sehr viel fusariumbelastetes Getreide anfällt und sich die Situation voraussichtlich noch verschärfen wird, haben die dort zuständigen Behörden Getreide als strohähnlichen Brennstoff eingestuft und die Verbrennung damit erlaubt.

Wer also Getreide verbrennen möchte, sollte sich auf jeden Fall rechtzeitig mit der zuständigen Genehmigungsbehörde in Verbindung setzen, um die rechtliche Situation vor Ort zu klären und ggf. eine Ausnahmegenehmigung einholen.

Für den Fall, dass Getreide als strohähnlicher Brennstoff anerkannt wird und eine Ausnahmegenehmigung erteilt wird, endet für diesen Brennstoff der Kleinf Feuerungsbe- reich bei 100 kW Feuerungswärmeleistung (zum Vergleich: bei Holzbrennstoffen liegt die Grenze bei 1.000 kW Feuerungswärmeleistung). Da die Feuerungswärmeleistung nicht mit der Nennwärmeleistung gleichzusetzen ist und in diesem Leistungsbereich in der Regel nur die Nennwärmeleistung vom Hersteller angegeben wird, sollte auch hier vorab geklärt werden, welche Anlage für den vorgesehenen Einsatz geeignet ist (unter Berücksichtigung des Kesselwirkungsgrades kann die Nennwärmeleistung aus der Feuerungswärmeleistung errechnet werden). Für Anlagen mit höheren Leistungen greift die 4. BImSchV mit den Emissionsgrenzwerten der TA Luft, was nicht nur mit einem erhöhten Aufwand für Genehmigungsverfahren und Rauchgasreinigung verbunden ist, sondern auch deutlich höhere Kosten verursacht, so dass ein Einsatz im landwirtschaftlichen Betrieb in der Regel nicht infrage kommt. Getreide kann auch als Sonderbrennstoff (in 4. BImSchV-Anlagen) eingesetzt werden. Die Anlagenhersteller bestätigen, dass aber vor allem eine Nachfrage für Anlagen zwischen 30 und 80 kW für den Einsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben besteht.

Auch die untere Leistungsgrenze für die Verfeuerungen fester Brennstoffe ist in der 1. BImSchV festgelegt. Danach dürfen in Anlagen unter 15 kW Nennleistung nur Holzbrennstoffe als biogene Brennstoffe eingesetzt werden. Für die Getreideverbrennung bedeutet dies, dass z. B. in Pelletöfen, wie sie unter anderem mit Leistungen unter 15 kW zur Wohnraumaufstellung angeboten werden, Getreide nicht verwendet werden darf.

Technische Aspekte bei der Verbrennung von Getreide

Die Verbrennungstechnik für Getreide und Halmgüter hat nicht den hohen technischen Entwicklungsstand wie bei Holzfeuerungsanlagen. Es besteht daher noch ein großes Entwicklungspotential bei der Optimierung der Getreideverbrennung. Die wenigen Anlagen, in denen derzeit Getreide verbrannt wird, sind Holzfeuerungsanlagen, die zum Teil an den neuen Brennstoff angepasst wurden. Zu diesen Anpassungen gehören Maßnahmen zur Vermeidung von **Verschlackungen** wie z. B. Ascheschieber, die die Asche regelmäßig aus der heißen Brennzone austragen, oder wassergekühlte Verbrennungsroste oder Brennmulden, die die Temperatur im Brennraum so niedrig halten sollen, dass der Ascheerweichungspunkt möglichst nicht erreicht wird.

Hersteller, die sich bereits mit den technischen Möglichkeiten der Getreideverbrennung beschäftigt haben, sind der Meinung, dass das Problem der Verschlackung mit den beschriebenen Maßnahmen oder anderen technischen Möglichkeiten lösbar ist. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Zumischung von 1 bis 2% Branntkalk, der im Vorratsbunker dem Getreide zugemischt wird. Durch das so veränderte Verhältnis von Calcium zu Kalium lässt sich eine Ascheerweichung verhindern (die Ascheerweichungstemperatur ist u.a. vom Ca/K-Verhältnis im Brennstoff abhängig).

Um die **Staubemissionen** einzugrenzen, reichen nach einstimmiger Meinung der Anlagenhersteller die bei größeren Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW Feuerungswärmeleistung häufig eingesetzten Fliehkraftabscheider (Zyklone) nicht aus. Wenn Getreide verbrannt wird, müssten daher z. B. Gewebefilter zum Einsatz kommen, die in ihren Investitionen und dem Wartungsaufwand deutlich höher liegen als Zyklone. Gewebefilter werden jedoch für den kleinen Leistungsbereich kaum angeboten, da bisher die Kosten im Vergleich zur Feuerungsanlage unverhältnismäßig hoch liegen.

Zur Reduktion der Stickoxidemissionen müssen ebenfalls technische Maßnahmen ergriffen werden. Welche Möglichkeiten für den hier betrachteten kleinen Leistungsbereich in Frage kommen, ist bisher noch ungeklärt. Ziel wäre dabei, eine Verminderung der Stickoxidemissionen zumindest unter den TA Luft-Grenzwert zu erreichen, um eine Zulassung von Getreide als Brennstoff ermöglichen zu können.

Hinsichtlich der **Chlorkorrosionen** gibt es sehr unterschiedliche Aussagen von Anlagenherstellern: Bei einigen Anlagen wurden schon nach sehr kurzer Zeit (auch bei neuen Anlagen) sehr starke Korrosionen festgestellt, während andere Anlagen lange Laufzeiten aufweisen konnten, ohne dass im Vergleich zur Holzverbrennung vermehrte Korrosionserscheinungen auftraten.

In großen, industriellen Anlagen wird zur Bindung von Schadstoffen z. B. Kalkhydrat in den Brennraum eingedüst, das anschließend durch Gewebefilter aus dem Rauchgasstrom wieder abgeschieden wird. Diese Vorgehensweise ist grundsätzlich auch für kleine Anlagen möglich, nur steigt verständlicherweise auch hier der Aufwand für Investitionen, Betrieb und Wartung.

Weitere Erfahrungen wurden bei Versuchsanlagen gesammelt, bei denen nach der Verbrennung von Getreide ein glasiger, porzellanartiger Überzug an kühleren Bauteilen bzw. an Messgeräten festgestellt wurde. Auch dies ist bisher eine Erscheinung, die nur vereinzelt aufgetreten und deren Ursache noch unbekannt ist.

Grundsätzlich lassen sich die verbrennungstechnischen und emissionsrelevanten Probleme lösen. Hierzu ist zum einem noch viel Entwicklungsarbeit erforderlich. Die Anlagenhersteller scheuen sich jedoch verständlicherweise, diese Entwicklungsarbeit zu leisten, so lange die rechtliche Situation und damit die Zukunft der Getreideverbrennung ungeklärt ist. Zum anderen werden diese technischen Lösungen die Anlagentechnik insgesamt deutlich verteuern, so dass die Wirtschaftlichkeit der Getreideverbrennung unter Umständen nicht mehr gegeben ist.

Weitere Aspekte

Der Länderausschuss Immissionsschutz (LAI), der beratend für das Bundesumweltministerium (BMU) tätig ist, nahm sich mittlerweile der Problematik der Getreideverbrennung an. Auf der LAI-Sitzung im Mai 2002 kamen die Unterausschüsse "Luft und Technik" und "Recht" beide zu dem Ergebnis, dass nach dem derzeitigen Stand der Technik, bei dem die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nicht sichergestellt ist, eine Zulassung von Getreide als Regelbrennstoff nicht empfohlen werden kann. Damit bleibt die derzeitige rechtliche Situation erhalten, nach der nur mit Ausnahmegenehmigungen Getreide als Brennstoff eingesetzt werden darf.

Sollten technische Weiterentwicklungen die emissionsarme Getreideverbrennung in Zukunft möglich machen, kann sich auch der Anbau von Energiegetreide entwickeln. Auf Ebene der EU sind die Voraussetzungen hierfür geschaffen (siehe oben). Abfallgetreide wird zudem auch weiterhin in jährlich variierenden Mengen anfallen, so dass für den "Nischenbereich" Landwirtschaft nach Lösung der rechtlichen und technischen Probleme die Getreideverbrennung eine echte Alternative zur Öl- oder Gasheizung sein kann.

Aktuelle Situation in Bayern, zeitlich befristete Ausnahmegenehmigung für die Mitverbrennung von Getreide

Aufgrund der witterungsbedingten schlechten Getreidequalität, von der große Mengen in diesem Jahr betroffen sind, hat das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen auf Initiative des Bayerischen Bauernverbandes entschieden, für ein halbes Jahr die Mitverbrennung von Getreide bis maximal 30% in Holzfeuerungsanlagen zuzulassen. Hierfür muss für jede Anlage eine Ausnahmegenehmigung beim Landratsamt beantragt werden. Dieses prüft die Anträge und gibt bei positiver Entscheidung eine befristete Genehmigung für ein halbes Jahr. Voraussetzung ist zum einen der Nachweis, dass das Getreide nicht mehr als Nahrungs- oder Futtermittel zu verwenden ist. Zum anderen muss der Feuerungsanlagenhersteller bestätigen, dass die Anlage für die Verbrennung von Getreide geeignet ist. Eine Abnahmemessung durch den Kaminkehrer soll nachweisen, dass die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte für Staub und CO eingehalten werden. Das Landesamt für Umweltschutz (LfU) wird ein ergänzendes Messprogramm über einen längeren Zeitraum durchführen. Anlagenbetreiber können auf freiwilliger Basis am Messprogramm, das staatlich finanziert wird, teilnehmen.

Weitere technische Möglichkeiten zur energetischen Nutzung von Getreide

Einsatz in Biogasanlagen

Neben der Verbrennung in Feuerungsanlagen, die aufgrund der bereits geschilderten Aspekte, (noch) Probleme bereitet, besteht die Möglichkeit, z. B. unbelastetes Getreide in einer Biogasanlage einzusetzen. Die Vorteile wären: keine Probleme hinsichtlich der rechtlichen Situation und der Emissionen, die Bereitstellung von regenerativ erzeugtem Strom und die Möglichkeit, den Gärrest als wertvollen Dünger auszubringen und damit Stoffkreisläufe zu schließen. Der Nachteil besteht in der Notwendigkeit von (teilweise) längeren Transportwegen, da Biogasanlagen nicht flächendeckend in landwirtschaftlichen Betrieben existieren.

Fusariumbelastetes Getreide sollte nicht in einer Biogasanlage eingesetzt werden. Zum einen könnte es zu einer Störung des Gärprozesses kommen, zum anderen ist eine ausreichende Hygienisierung nicht sichergestellt. Bei Ausbringung des Gärrestes auf den Acker besteht damit die Gefahr, Krankheitserreger und eventuell Toxine (wieder) auszubringen. Belastetes Getreide sollte daher thermisch vorbehandelt werden.

Vorbehandlung durch Thermo-Druck-Hydrolyse

In einem Verfahren, das von der Firma ATZ Evus in Sulzbach-Rosenberg unter dem Namen "Thermo-Druck-Hydrolyse" (TDH) entwickelt wurde, werden feuchte Biomassen durch eine Behandlung auf erhöhtem Temperatur- und Druckniveau (ähnlich wie beim Schnellkochtopf) in kurzkettinge Bruchstücke gespalten. Das relativ trockene Getreide könnte z. B. mit Abwässern aus der Kartoffelverarbeitung gemischt werden, um die erforderliche Feuchte zu erreichen. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass das Material vollständig hygienisiert und so problemlos einer Biogasanlage zugeführt werden kann. Durch hydrolytischen Aufschluss werden sogar kürzere Verweilzeiten im Fermenter und erhöhte Biogaserträge erreicht. Der übrigbleibende Gärrest kann als wertvoller Wirtschaftsdünger verwendet werden. Es bleibt zu klären, ob eine Toxinbelastung des Getreides im Gärrest noch vorhanden ist und inwieweit diese durch bio-

logische und/oder chemische Abbauprozesse auf der landwirtschaftlichen Fläche vermindert wird.

Der für den TDH-Prozess notwendige Wärmebedarf kann vollständig über die Biogasanlage gedeckt werden. Leider bestehen zur Zeit nur wenige Versuchs- bzw. Pilotanlagen, so dass ein flächendeckender Einsatz bisher nicht möglich ist (weitere Informationen siehe www.atz-evus.de).

Einsatz von Getreide zur Produktion von Ethanol als Bio-Treibstoff

Zur Zeit existieren in Deutschland noch keine großtechnischen Anlagen zur Produktion von Bio-Ethanol als Treibstoff. Lediglich zwei Anlagen befinden sich in der Planung (Standorte: Niederbayern und Thüringen), in denen vorrangig Zuckerrüben eingesetzt werden sollen. Mit etwas höherem Aufwand beim Aufschluss des Rohmaterials (die Stärke im Getreidekorn muss zunächst verzuckert werden, bevor der Zucker vergoren werden kann) kann auch Getreide zur Ethanolherstellung verwendet werden. Der daraus entstehende Alkohol kann als Motorentreibstoff, als Kraftstoffadditiv oder für die industrielle Verwertung genutzt werden.

Bei dieser großtechnischen Alkoholherstellung können Temperaturen eingestellt werden, die Fusarium höchstwahrscheinlich zerstören können. Es bleibt aber auch hier zu prüfen, ob Toxine erhalten bleiben und ob diese in der übrigbleibenden Schlempe, die zur Fütterung, als Dünger oder in Biogasanlagen eingesetzt werden kann, Probleme bereiten können.

Durch die Mineralölsteuerbefreiung wird der Bau von Bio-Ethanol-Produktionsanlagen begünstigt, so dass auch in Deutschland mehrere Anlagen gebaut werden könnten. Trotz Steuerbefreiung bleibt jedoch eine Konkurrenz durch Ethanol-Billig-Importe z. B. aus Südamerika bestehen.

Handlungsbedarf

Klärung der rechtlichen Situation

Die rechtliche Situation muss geklärt werden, damit Anlagenhersteller und interessierte Betreiber die Möglichkeit haben, die technische Entwicklung im Kleinf Feuerungsbe-
reich voranzutreiben und Praxiserfahrungen zu sammeln.

Technische Entwicklung

Hier sind vor allem Verbesserungen bzw. (weitere) Anpassungen der Feuerungstechnik an den Brennstoff erforderlich, um die Probleme hinsichtlich der Verschlackungen und der NOx- und Chloremissionen bzw. Kesselkorrosionen zu lösen. Zur Einhaltung der Staubgrenzwerte ist die Entwicklung von kostengünstigen Kleinstentstaubungsanlagen erforderlich.

Weithin wäre der Bau von zusätzlichen Biogasanlagen, von Anlagen zur Thermo-Druck-Hydrolyse zur Vorbehandlung von belastetem Material und der Bau von Bio-Ethanolproduktionsanlagen wünschenswert.

Forschungsbedarf

Da bisher noch einige Zusammenhänge zwischen den Brennstoffeigenschaften, den Inhaltstoffen von Getreide und den Auswirkungen bei der Verbrennung unbekannt sind, ist hier eine Grundlagenforschung erforderlich.

Für den Fall, dass der Brennstoff "Energiegetreide" zukünftig an Bedeutung gewinnt, wäre weiterhin denkbar, dass durch Sortenwahl und Züchtungsmaßnahmen der Brennstoff an die Erfordernisse der Verbrennung angepasst werden könnte. Interes-

sant wäre auch zu wissen, inwieweit Kulturmaßnahmen auf die Brennstoffeigenschaften und damit auf den Verbrennungsverlauf wirken können.

Bei Einsatz der angesprochenen technischen Verfahren, bei denen das Getreide nicht direkt verbrannt wird, sollte untersucht werden, inwieweit sich mögliche Toxinbelastungen durch fusarium- oder ähnlich belastetes Getreide auswirken und ob ein natürlicher Abbau der mit dem Substrat ausgebrachten Toxine stattfindet.

Aufklärungsarbeit

Zu guter Letzt sollte die Aufklärungsarbeit nicht vernachlässigt werden. Auch wenn der Einsatz der Getreideverbrennung wohl hauptsächlich auf die Landwirtschaft beschränkt bleiben wird, sollte die allgemeine Akzeptanz in der Bevölkerung gegeben sein, um einem Imageverlust der Landwirtschaft entgegen zu wirken. Forschungseinrichtungen, öffentliche Stellen, Beratungseinrichtungen, aber auch die Landwirtschaft selbst sind hier gefordert, die Problematik offen darzustellen und interessierte Personen zu informieren.

BIOMASSE INFO-ZENTRUM (Hrsg.) (2002): *Getreideheizung*. Stuttgart: Biomasse Info-Zentrum (BIZ). 11 S.

Getreideheizung

Rechtliche und technische Aspekte



Gefördert durch



Bundesministerium
für Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft

Biomasse Info-Zentrum (BIZ)

am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung - Universität Stuttgart
Hessbrühlstr. 49a

D-70565 Stuttgart

Tel. 0711/7813908

Fax 0711/7806177

e-mail: info@biomasse-info.net

www.biomasse-info.net

Bedingt durch steigende Heizöl- und Gaspreise bei gleichzeitig sinkenden Erlösen für Getreide (siehe Abbildung 1) sehen immer mehr Landwirte in der Verbrennung von Getreide eine alternative Möglichkeit der Energiegewinnung. Gerade die hohe Dichte, die große Homogenität, die optimale Transport- und Dosiermöglichkeit sowie der hohe Heizwert stellen günstige Voraussetzungen für den Einsatz dieses Brennstoffs dar. Demgegenüber stehen jedoch einige technische wie auch rechtliche Probleme, die bei der Betrachtung dieses Themas nicht vernachlässigbar sind und in dieser Broschüre dargestellt werden sollen. So bereiten v. a. die im Vergleich zu anderen biogenen Brennstoffen hohen Gehalte an Stickstoff und Chlor sowie der niedrige Sinterbeginn bzw. Erweichungspunkt der Asche bei der Verbrennung von Getreide große technische Probleme (siehe Tabelle 1).

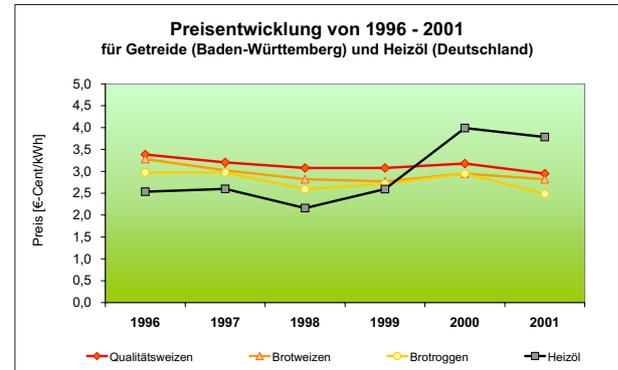


Abb. 1: Preisentwicklung von Getreide und Heizöl in den letzten Jahren (bezogen auf den Heizwert)

	Wassergehalt [%]	Heizwert [kWh/kg]	Lagerungsdichte [kg/m ³]	Cl-Gehalt [mg/kg]	N-Gehalt [Gew.-%]	Aschegehalt [g/kg]	Sinterbeginn [°C]
Getreidekörner	15	3,91	760	860	1,9	19,6	705
Rapskörner	9	6,64	700	-	3,9	42	-
Stroh	15	3,96	85 - 140	2503	0,5	48,5	931
Holzpellets	12	4,9	650	50-100	0,2	4	1171
Hackschnitzel	18 - 35	3 - 4	200 - 400	50-100	0,2	4	1171

Tab. 1: Charakteristika verschiedener biogener Brennstoffe

Impressum:

Herausgeber:

Biomasse Info-Zentrum
am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)
Universität Stuttgart
Hessbrühlstraße 49 a
70565 Stuttgart

Redaktion:

Barbara Pilz, Konrad Raab

Mit Unterstützung von:

Dr. Block (ZNR Haus Düsse), Dr. Hartmann (Bayerische Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan), Dipl.-Ing. Lasselsberger (BLT Wieselburg), Dr. Vetter (TLL Jena), Fa. Bioflamm, Fa. Gerlinger, Fa. Ökotherm, Fa. Passat Energy

Grafik & Layout:

Barbara Pilz

Bildnachweis:

BIZ, BLT Wieselburg, Claas KGaA

Stand: April 2002

Gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Rechtliche Gesichtspunkte

Mit der am 26.03.2001 in Kraft getretenen EU-Verordnung Nr. 587/2001 wurde auf EU-Ebene eine rechtliche Grundlage für den Anbau von Getreide auf Stilllegungsflächen und die anschließende Verbrennung in landwirtschaftlichen Betrieben gelegt. Trotzdem ist der Einsatz von Getreide in Feuerungsanlagen in Deutschland nicht ohne weiteres möglich, da die gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht eindeutig sind.

In Deutschland werden die zulässigen Brennstoffe für Feuerungsanlagen in den Bundes-Immissions-Schutz-Verordnungen (BImSchV) geregelt. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, wird in keiner dieser Verordnungen Getreide als potenzieller Brennstoff aufgelistet. Es erscheint lediglich der Begriff der „strohähnlichen pflanzlichen Stoffe“. Es stellt sich daher die Frage, ob dieser Begriff auch Getreidekörner einschließt und der Einsatz von Getreide in Kleinf Feuerungsanlagen damit erlaubt ist. Laut einem Kommentar von *Feldhaus*¹ sind in der BImSchV unter strohähnlichen pflanzlichen Stoffen „Energiepflanzen wie z. B. Schilf, Elefantengras, Heu und Maisspindel“, also eher halmgutartige Stoffe und nicht Getreidekörner, zu verstehen. Da die Umsetzung der BImSchV jedoch Ländersache ist, bleibt es letztendlich den jeweiligen Landesumweltministerien überlassen, ob sie Getreide im Sinne von strohähnlichen Stoffen als Brennstoff anerkennen oder nicht. In einer Reihe von Ländern (z. B. Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen, NRW, Sachsen, Schleswig-Holstein) sowie im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) wird dies verneint und der Einsatz von Getreide in Kleinf Feuerungsanlagen unter 100 kW abgelehnt. Eine einheitliche bundesweit geltende Regelung gibt es derzeit nicht, ist jedoch in Diskussion.

	1. BImSchV - genehmigungsfrei	4. BImSchV – genehmigungspflichtig
Erlaubte biogene Brennstoffe	< 15 kW: Holz 15-100 kW: Holz, Stroh und ähnliche pflanz- liche Stoffe 100-1000 kW: Holz	100-1000 kW: Stroh > 1000 kW: Holz und Stroh Ausnahmeregelungen möglich!

Tab. 2: Biogene Brennstoffe, die in Feuerungsanlagen eingesetzt werden dürfen

Aufgrund dieser rechtlichen Problematik werden die Feuerungsanlagen von den Herstellern bisher auch nicht als Getreide-, sondern nur als Holzheizungen verkauft. Interessierte sollten sich aufgrund der rechtlich nicht einheitlichen Bedingungen vor dem Kauf einer solchen Heizung auf jeden Fall mit ihrem Schornsteinfeger sowie den zuständigen Behörden in Verbindung setzen und klären, ob der Einsatz von Getreide in ihrer Region erlaubt ist. Sonst kann es im ungünstigsten Fall passieren, dass die Heizungsanlage nach Installation nicht in Betrieb genommen werden darf.

¹ Feldhaus, G. u. a. (1988): Bundesimmissionsschutzrecht, Band 2 - B: Rechtsverordnung zum BImSchG - Kommentar.

Technische Gesichtspunkte

Getreide weist einige Eigenschaften auf, die bei der Verbrennung zu Problemen führen können. Hierzu zählen der sehr niedrige Ascheerweichungspunkt sowie die hohen Stickstoff- und Chloranteile des Getreides. Im Folgenden soll auf die dadurch möglicherweise auftretenden Probleme näher eingegangen werden.

► Verschlackung

Die Asche, die bei der Verbrennung von Getreide entsteht, fängt bei Temperaturen um 730 °C an zu schmelzen (Ascheerweichungspunkt). Im Brennraum können dadurch Ascheklumpen entstehen, die den Rost und die Luftzuführung zusetzen (Verschlackung). Besonders groß ist die Verschlackungsgefahr, wenn beim Stopp der Brennstoffzufuhr die Asche zur Ruhe kommt und sich dadurch große Schlackeklumpen bilden können.

Die Kesselhersteller versuchen, die Verschlackung durch verschiedene Maßnahmen in Griff zu bekommen, wie z. B.:

- Zusatz von 1-2 % Branntkalk und anderer Stoffe. Die Ascheerweichungstemperatur ist vom Verhältnis Calcium zu Kalium abhängig, durch Zugabe von Calcium steigt der Ascheerweichungspunkt bzw. sinkt die Gefahr der Verschlackung.
- Einbau von Ascheschiebern für den ständigen Aus-trag der Asche, so dass diese nicht festbacken kann.

- Wasserkühlung der Roste und Brennkammern, um die Temperatur an diesen Stellen unterhalb der des Ascherweichungspunktes zu halten.
- Mischen des Getreides mit Holzpellets oder Hack-schnitzeln.



Abb. 2: Bildung von Ascheklumpen im Brennraum (Foto: BLT Wieselburg, Österreich)

Abb. 3: Verschlackter Brennraum nach Verbrennung von Getreidekörnern (Foto: BLT Wieselburg, Österreich)



Aufgrund der geschilderten Verschlackungsgefahr sollte Getreide nie in herkömmlichen, nicht angepassten Pelletkesseln verbrannt werden. Interessierte sollten daher nur Kessel in Erwägung ziehen, die speziell für die Verbrennung von Getreide umgerüstet sind.

► Emissionen

- Staubemissionen

Messungen an Prüfinstituten und bei Versuchsanlagen haben ergeben, dass die von der 1. BImSchV geforderten Grenzwerte für Staub (150 mg/Nm^3 ; für Anlagen $> 100 \text{ kW}$ gelten nach der novellierten Fassung

der TA-Luft sogar 50 mg/Nm^3) von Getreideheizungen nicht eingehalten werden können (siehe Abbildung 4). Hierbei kommt verschärfend hinzu, dass diese Messungen mit Reingetreide durchgeführt wurden und beim Einsatz von Mindergetreide aufgrund der anhaftenden Staubteile (viele Bruchkörner) mit noch deutlich schlechteren Werten zu rechnen ist. In den Griff zu bekommen sind die hohen Staubemissionen nur durch den Einbau von Elektro- oder Gewebefiltern. Derartige Filter befinden sich für Kleinanlagen derzeit jedoch noch in der Entwicklungsphase und werden auch in Zukunft voraussichtlich nur zu hohen Preisen verfügbar sein.

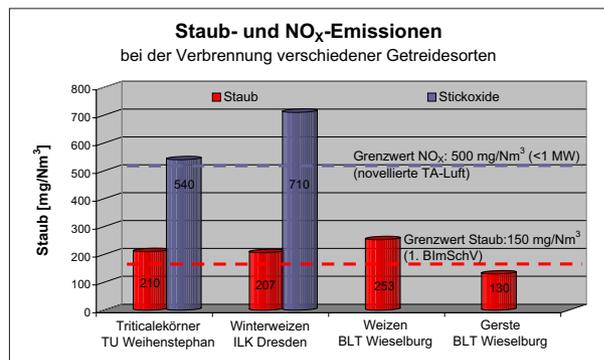


Abb. 4: Staub- und NO_x-Emissionen bei der Verbrennung verschiedener Getreidesorten in Versuchsanlagen

- Stickoxidemissionen

Für Kleinanlagen bis 100 kW existiert kein Grenzwert für Stickoxidemissionen; bei Anlagen von $0,1 - 1 \text{ MW}$ liegt der Grenzwert der novellierten Fassung der TA-Luft für Stickoxide bei 500 mg/Nm^3 , bei Anlagen $\geq 1 \text{ MW}$ bei 400 mg/Nm^3 . Messungen in Versuchsanlagen haben gezeigt, dass die Grenzwerte der TA-Luft aufgrund des hohen Stickstoffgehalts von Getreide ohne zusätzliche technische Maßnahmen zur Stickoxidreduktion in der Regel nicht einhaltbar sind. Auch entsprechende Getreidezüchtungen würden hier nicht weiter helfen. Obwohl derzeit keine Grenzwerte für Kleinanlagen existieren, sind sich die Hersteller einig, dass die Stickoxidemissionen reduziert werden müssen, wenn eine Zulassung von Getreide als Brennstoff bei den Umweltbehörden erreicht werden soll.

- Kohlenstoffmonoxidemissionen

Die Grenzwerte für die Kohlenstoffmonoxidgehalte im Rauchgas (250 mg/Nm³) konnten bei den Messungen in den Versuchsanlagen problemlos eingehalten werden, so dass diese kein Hindernis für den Betrieb einer Getreideheizung darstellen.

► Ascheanfall

Bei der Getreideverbrennung entsteht im Vergleich zu Holz ca. 5 mal so viel Asche, die entsorgt werden muss. Ein großes Problem stellt dabei v. a. der hohe Anteil (bis 60 %) an unverbranntem Material dar.

► Geruchsbelastung

Von mehreren Herstellern wird eingeräumt, dass die Geruchsbelastung bei der Getreideverbrennung v. a. im Teillastbetrieb höher und der Geruch unangenehmer ist als bei der Verbrennung von Holz. Daher sollten Getreideheizungen nicht in engen Dorflagen und nur in Kombination mit einem Pufferspeicher betrieben werden.

► Korrosion

Durch den hohen Gehalt an Chlor im Getreide kann es zur Bildung von Salzsäure in den Rauchgasen kommen, die sich an den kühleren Teilen des Wärmetauschers niederschlägt und dort zu Korrosion führen kann. Bei



Abb. 5: Korrosionserscheinungen nach der Verbrennung von Getreide in einem Pelletkessel (Foto: BLT Wieselburg, Österreich)

Versuchsanlagen, die von Prüfinstituten getestet worden sind, konnten bereits nach kurzer Betriebsdauer solche Korrosionserscheinungen festgestellt werden, während die Hersteller von auf dem Markt befindlichen Anlagen nach eigenen Angaben auch nach mehrjährigem Betrieb (1-3 Jahren) keine erhöhte Korrosion registrieren. Zusätzlich wurde in Versuchsanlagen ein bislang noch nicht definierter, glasiger, porzellanartiger Überzug an kühleren Kesselbereichen sowie an Messgeräten registriert.

Preise für biogene Energieträger

Ein Vergleich der Energiekosten verschiedener biogener Brennstoffe zeigt, dass die thermische Nutzung von Getreide, wenn es sich nicht um Mindergetreide handelt, nicht gerade die billigste Art der Energieerzeugung darstellt (siehe Tabelle 3). So sind die Brennstoffkosten bei Getreide mit denen von Holzpellets vergleichbar. Die Verwendung von Hackschnitzeln oder Scheitholz ist dagegen deutlich billiger und die Feuerungstechnik bei diesen Brennstoffen wesentlich ausgereifter. Getreide ist daher aufgrund der schlechten Feuerungseigenschaften und der höheren Anschaffungskosten für den Heizkessel im Vergleich mit anderen Bioenergieträgern nicht konkurrenzfähig.

	€/Einheit	Einheit	Wassergehalt	€/MWh
Scheitholz	6 – 60	Rm	18 %	3,5 – 35
Hackschnitzel	6 – 17,5	m ³	35 %	6 – 18
Holzpellets	125 – 175	t	12 %	25 – 35
Strohballen	35 – 50	t	15 %	9 – 12,5
Getreidekörner	100 – 125	t	15 %	25 – 32
Mindergetreide	20 – 75	t	15 %	7,5 – 22,5
Rapskörner	175	t	9 %	26
Heizöl	320	m ³	-	32

Tab. 3: Brennstoffkosten verschiedener biogener Brennstoffe

Zusammenfassung & Verbrauchertipps

Die Getreideverbrennung bewegt sich, zumindest bei nicht genehmigungspflichtigen Kleinanlagen < 100 kW, in einer rechtlichen Grauzone. Feuerungsanlagen, die für die Verbrennung von Getreide geeignet sein sollen, werden aufgrund dieser rechtlichen Unsicherheit auch nur als Holzfeuerungsanlagen verkauft.

Anbieter von Getreidekesseln in Deutschland

Bezüglich der Emissionen sollte sich der potenzielle Betreiber einer Getreideheizung darüber im Klaren sein, dass die hohen Staub- und Stickoxid-Emissionen in naher Zukunft wohl nicht in Griff zu bekommen sind. Hersteller empfehlen daher häufig im Falle einer Abgasmessung den Einsatz von Holzpellets.

Interessierte sollten sich dieser rechtlichen und emissionstechnischen Problematik bewusst sein. Sie sollten sich vor dem Kauf einer Anlage auf jeden Fall mit ihrem Schornsteinfeger in Verbindung setzen und abklären, ob Getreide in ihrem Bundesland als Brennstoff zugelassen ist. Im ungünstigsten Fall kann eine zu unrecht betriebene Getreideheizung ansonsten vom Schornsteinfeger abgestellt werden.

Interessierte sollten sich zusätzlich darüber im Klaren sein, dass es zu technischen Problemen im Feuerungsraum und an den Wärmetauschern kommen kann. Sie sollten sich daher bei den Herstellern nach den von ihnen eingesetzten Lösungsmöglichkeiten zur Reduktion der technischen Probleme erkundigen. Auf jeden Fall sollte der Interessierte versuchen, eine möglichst lange Garantiezeit für die Anlage auszuhandeln, um bei möglichen Langzeitschäden rechtlich abgesichert zu sein. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass diese Garantie auch wirklich für den Einsatz von Getreide und nicht nur für den Einsatz von Holzpellets gilt.

Ausblick

Generell bleibt zu hoffen, dass es in den nächsten Jahren zu einer Weiterentwicklung der Feuerungsanlagentechnik kommt - allerdings weniger im Hinblick auf eine Getreideverbrennung als vielmehr mit Blick auf eine Verfeuerung von Strohpellets. Stroh weist bei der Verbrennung ähnliche Probleme auf wie Getreide (Verschlackungsgefahr durch niedrigen Ascheerweichungspunkt, Korrosionsgefahr durch hohe Chlorgehalte, hohe Staubemissionen), ist aber als Reststoff der Getreideproduktion in großen Mengen preisgünstig verfügbar. Sollte es in Zukunft möglich sein, Strohpellets problemlos verbrennen zu können, könnte das Potenzial der biogenen Energienutzung stark ausgeweitet werden.

Ökotherm GmbH

Träglhof
92242 Hirschau
Tel.: 09608/9200-0
Fax: 09608/9200-11
oekotherm.gmbh@t-online.de
www.oekotherm.dkk.de

Firma Gerlinger Biokompakt

Forschau 79
A-4391 Waldhausen
Tel.: 0043/7260/4530
Fax: 0043/7260/45304
gerlinger.biokompakt@aon.at
www.biokompakt.com

Bioflamm/WVT

Bahnhofstraße 55-59
51491 Overath-Untereschbach
Tel.: 02204/974424
Fax: 02204/9744-26
wvt@bioflamm.de
www.bioflamm.de

Ferro Wärmetechnik GmbH & Co. KG

Am Kiefernschlag 1
91126 Schwabach
Tel.: 09122/98660
Fax: 09122/986633
e-mail@ferro-waermetechnik.de
www.ferro-waermetechnik.de

Brötje GmbH

August-Brötje-Str.17
26180 Rastede
Tel.: 04402/800
Fax: 04402/80583
webmaster@broetje.de
www.broetje.de

WIRTSCHAFTLICHKEITSSCHÄTZUNGEN

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätsmethode

50 kW Kesselanlage mit Getreidefeuerung

Variante 1 Energieerzeugung mit 100% HHS	q	T	TN	Einzahlungen	Auszahlungen	Bemerkungen	
	1,1	15	20				
Investitionsbetrag	1	A_0	30.000		30000		€
Annuitätsfaktor	2	$a(q,T)$	0,117				
Restwertfaktor	3	$R(q,T,TN)$	0,079				
Restwert	4	RW	2.364				€
Investitionsgebundene Zahlungen	5	AN_i	3.229				€/a
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung		r_k	1,02				
Zahlungen für Instandsetzung des ersten Jahres	6	$f_k \times A_0$	900				€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor	7	ba_n	1,12				
Annuität der Zahlungen für Instandsetzung	8	$ba_n \times f_k \times A_0$	1.009				
Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen	9	AN_k	4.238				
Preisänderungsfaktor für Haupt- / Hilfsenergie		r_{E2}	1,00				
Zahlungen für Hauptenergie des ersten Jahres	10	$AN_{v1,1}$	2.375		2375		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hauptenergie	11	$ba_{v1,1}$	1,19				
Annuität der Jahreskosten für Hauptenergie	12	$AN_{v1,1} \times ba_{v1,1}$	2.826				€/a
Zahlungen für Hilfsenergie des ersten Jahres	13	$AN_{v1,2}$	-		0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hilfsenergie	14	$ba_{v1,2}$	1,19				
Annuität der weiteren Zahlungen für Hilfsenergie oder Betriebsstoffe	15	$AN_{v3} = A_{v3} \times ba_{v3}$	-				€/a
Annuität der verbrauchs- gebundenen Zahlungen	16	AN_v	2.826				€/a
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	17	r_B	1,02				
Betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr	18	$f_B \times A_0$	2.100		2100,00		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	19	ba_B	1,12				
Annuität betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	20	AN_B	2.352				€/a
Annuität aller Einzahlungen	21	AN_E			0,00		€/a
Gesamtannuität aller Zahlungen	22	AN	- 9.416				€/a

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätsmethode

50 kW Kesselanlage mit Getreidefeuerung ohne Brennstoffkosten

Variante 1 Energieerzeugung mit 100% HHS	q	T	TN	Einzahlungen	Auszahlungen	Bemerkungen	
	1,1	15	20				
Investitionsbetrag	1	A_0	30.000		30000		€
Annuitätsfaktor	2	$a(q,T)$	0,117				
Restwertfaktor	3	$R(q,T,TN)$	0,079				
Restwert	4	RW	2.364				€
Investitionsgebundene Zahlungen	5	AN_i	3.229				€/a
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung		r_k	1,02				
Zahlungen für Instandsetzung des ersten Jahres	6	$f_k \times A_0$	900				€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor	7	ba_n	1,12				
Annuität der Zahlungen für Instandsetzung	8	$ba_n \times f_k \times A_0$	1.009				
Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen	9	AN_k	4.238				
Preisänderungsfaktor für Haupt- / Hilfsenergie		r_{E2}	1,00				
Zahlungen für Hauptenergie des ersten Jahres	10	$AN_{v1,1}$			0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hauptenergie	11	$ba_{v1,1}$	1,19				
Annuität der Jahreskosten für Hauptenergie	12	$AN_{v1,1} \times ba_{v1,1}$	-				€/a
Zahlungen für Hilfsenergie des ersten Jahres	13	$AN_{v1,2}$	-		0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hilfsenergie	14	$ba_{v1,2}$	1,19				
Annuität der weiteren Zahlungen für Hilfsenergie oder Betriebsstoffe	15	$AN_{v3} = A_{v3} \times ba_{v3}$	-				€/a
Annuität der verbrauchs- gebundenen Zahlungen	16	AN_v	-				€/a
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	17	r_B	1,02				
Betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr	18	$f_B \times A_0$	2.100		2100,00		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	19	ba_B	1,12				
Annuität betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	20	AN_B	2.352				€/a
Annuität aller Einzahlungen	21	AN_E			0,00		€/a
Gesamtannuität aller Zahlungen	22	AN	- 6.590				€/a

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätsmethode

50 kW Kesselanlage mit Strohfeuerung

Variante 1 Energieerzeugung mit 100% HHS	q	T	TN	Einzahlungen	Auszahlungen	Bemerkungen	
	1,1	15	20				
Investitionsbetrag	1	A_0	30.000		30000		€
Annuitätsfaktor	2	$a(q,T)$	0,117				
Restwertfaktor	3	$R(q,T,TN)$	0,079				
Restwert	4	RW	2.364				€
Investitionsgebundene Zahlungen	5	AN_i	3.229				€/a
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung		r_k	1,02				
Zahlungen für Instandsetzung des ersten Jahres	6	$f_k \times A_0$	900				€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor	7	ba_n	1,12				
Annuität der Zahlungen für Instandsetzung	8	$ba_n \times f_k \times A_0$	1.009				
Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen	9	AN_k	4.238				
Preisänderungsfaktor für Haupt- / Hilfsenergie		r_{E2}	1,00				
Zahlungen für Hauptenergie des ersten Jahres	10	$AN_{v1,1}$	950		950		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hauptenergie	11	$ba_{v1,1}$	1,19				
Annuität der Jahreskosten für Hauptenergie	12	$AN_{v1,1} \times ba_{v1,1}$	1.131				€/a
Zahlungen für Hilfsenergie des ersten Jahres	13	$AN_{v1,2}$	-		0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hilfsenergie	14	$ba_{v1,2}$	1,19				
Annuität der weiteren Zahlungen für Hilfsenergie oder Betriebsstoffe	15	$AN_{v3} = A_{v3} \times ba_{v3}$	-				€/a
Annuität der verbrauchs- gebundenen Zahlungen	16	AN_v	1.131				€/a
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	17	r_B	1,02				
Betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr	18	$f_B \times A_0$	2.100		2100,00		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	19	ba_B	1,12				
Annuität betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	20	AN_B	2.352				€/a
Annuität aller Einzahlungen	21	AN_E			0,00		€/a
Gesamtannuität aller Zahlungen	22	AN	- 7.720				€/a

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätsmethode

50 kW Kesselanlage mit HHS-Feuerung

Variante 1 Energieerzeugung mit 100% HHS	q	T	TN	Einzahlungen	Auszahlungen	Bemerkungen	
	1,1	15	20				
Investitionsbetrag	1	A_0	25.000		25000		€
Annuitätsfaktor	2	$a(q,T)$	0,117				
Restwertfaktor	3	$R(q,T,TN)$	0,079				
Restwert	4	RW	1.970				€
Investitionsgebundene Zahlungen	5	AN_i	2.691				€/a
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung		r_k	1,02				
Zahlungen für Instandsetzung des ersten Jahres	6	$f_k \times A_0$	625				€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor	7	ba_n	1,12				
Annuität der Zahlungen für Instandsetzung	8	$ba_n \times f_k \times A_0$	701				
Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen	9	AN_k	3.391				
Preisänderungsfaktor für Haupt- / Hilfsenergie		r_{E2}	1,00				
Zahlungen für Hauptenergie des ersten Jahres	10	$AN_{v1,1}$	950		950		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hauptenergie	11	$ba_{v1,1}$	1,19				
Annuität der Jahreskosten für Hauptenergie	12	$AN_{v1,1} \times ba_{v1,1}$	1.131				€/a
Zahlungen für Hilfsenergie des ersten Jahres	13	$AN_{v1,2}$	-		0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hilfsenergie	14	$ba_{v1,2}$	1,19				
Annuität der weiteren Zahlungen für Hilfsenergie oder Betriebsstoffe	15	$AN_{v3} = A_{v3} \times ba_{v3}$	-				€/a
Annuität der verbrauchs- gebundenen Zahlungen	16	AN_v	1.131				€/a
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	17	r_B	1,02				
Betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr	18	$f_B \times A_0$	1.375		1375,00		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	19	ba_B	1,12				
Annuität betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	20	AN_B	1.540				€/a
Annuität aller Einzahlungen	21	AN_E			0,00		€/a
Gesamtannuität aller Zahlungen	22	AN	- 6.062				€/a

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätsmethode

50 kW Kesselanlage mit Pelletfeuerung

Variante 1 Energieerzeugung mit 100% HHS	q	T	TN	Einzahlungen	Auszahlungen	Bemerkungen	
	1,1	15	20				
Investitionsbetrag	1	A_0	25.000		25000		€
Annuitätsfaktor	2	$a(q,T)$	0,117				
Restwertfaktor	3	$R(q,T,TN)$	0,079				
Restwert	4	RW	1.970				€
Investitionsgebundene Zahlungen	5	AN_i	2.691				€/a
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung		r_k	1,02				
Zahlungen für Instandsetzung des ersten Jahres	6	$f_k \times A_0$	500				€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor	7	ba_n	1,12				
Annuität der Zahlungen für Instandsetzung	8	$ba_n \times f_k \times A_0$	561				
Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen	9	AN_k	3.251				
Preisänderungsfaktor für Haupt- / Hilfsenergie		r_{E2}	1,005				
Zahlungen für Hauptenergie des ersten Jahres	10	$AN_{v1,1}$	3.040		3040		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hauptenergie	11	$ba_{v1,1}$	1,19				
Annuität der Jahreskosten für Hauptenergie	12	$AN_{v1,1} \times ba_{v1,1}$	3.618				€/a
Zahlungen für Hilfsenergie des ersten Jahres	13	$AN_{v1,2}$	-		0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hilfsenergie	14	$ba_{v1,2}$	1,19				
Annuität der weiteren Zahlungen für Hilfsenergie oder Betriebsstoffe	15	$AN_{v3} = A_{v3} \times$ ba_{v3}	-				€/a
Annuität der verbrauchs- gebundenen Zahlungen	16	AN_v	3.618				€/a
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	17	r_B	1,02				
Betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr	18	$f_B \times A_0$	1.000		1000,00		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	19	ba_B	1,12				
Annuität betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	20	AN_B	1.120				€/a
Annuität aller Einzahlungen	21	AN_E			0,00		€/a
Gesamtannuität aller Zahlungen	22	AN	- 7.989				€/a

Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätsmethode

50 kW Kesselanlage mit Ölfuerung

Variante 1 Energieerzeugung mit 100% HHS	q	T	TN	Einzahlungen	Auszahlungen	Bemerkungen	
	1,1	15	20				
Investitionsbetrag	1	A_0	11.500		11500		€
Annuitätsfaktor	2	$a(q,T)$	0,117				
Restwertfaktor	3	$R(q,T,TN)$	0,079				
Restwert	4	RW	906				€
Investitionsgebundene Zahlungen	5	AN_i	1.238				€/a
Preisänderungsfaktor für Instandsetzung		r_k	1,02				
Zahlungen für Instandsetzung des ersten Jahres	6	$f_k \times A_0$	173				€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor	7	ba_n	1,12				
Annuität der Zahlungen für Instandsetzung	8	$ba_n \times f_k \times A_0$	193				
Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen	9	AN_k	1.431				
Preisänderungsfaktor für Haupt- / Hilfsenergie		r_{E2}	1,03				
Zahlungen für Hauptenergie des ersten Jahres	10	$AN_{v1,1}$	3.325		3325		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hauptenergie	11	$ba_{v1,1}$	1,19				
Annuität der Jahreskosten für Hauptenergie	12	$AN_{v1,1} \times ba_{v1,1}$	3.957				€/a
Zahlungen für Hilfsenergie des ersten Jahres	13	$AN_{v1,2}$	-		0		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Hilfsenergie	14	$ba_{v1,2}$	1,19				
Annuität der weiteren Zahlungen für Hilfsenergie oder Betriebsstoffe	15	$AN_{v3} = A_{v3} \times ba_{v3}$	-				€/a
Annuität der verbrauchs- gebundenen Zahlungen	16	AN_v	3.957				€/a
Preisänderungsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen	17	r_B	1,02				
Betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr	18	$f_B \times A_0$	460		460,00		€/a
Preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	19	ba_B	1,12				
Annuität betriebsgebundene und sonstige Zahlungen	20	AN_B	515				€/a
Annuität aller Einzahlungen	21	AN_E			0,00		€/a
Gesamtannuität aller Zahlungen	22	AN	- 5.903				€/a