

Gülzower Fachgespräche

Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse



Bundesministerium
für Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft



Gülzower Fachgespräche: Band 17

Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse

**Stand der Technik und Perspektiven
für den ländlichen Raum**

Tautenhain
8./9. Mai 2001

Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR),
Hofplatz 1, 18276 Gülzow mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucher-
schutz, Ernährung und Landwirtschaft.

FNR, 2001

Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Hofplatz 1

18276 Gülzow

Tel.: (0 38 43) 69 30-0

Fax: (0 38 43) 69 30-102

E-Mail: info@fnr.de

Internet: <http://www.fnr.de>

Redaktion:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Abt. Öffentlichkeitsarbeit

Gestaltung und Produktion:

tangram documents, Rostock

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Inhalt

| | |
|--|-----|
| Vorwort | 5 |
| <i>A. Schütte</i> | |
| Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen | 8 |
| <i>B. Schiebelsberger</i> | |
| Derzeitige und künftig zu erwartende emissionsbegrenzende Anforderungen der TA Luft an Feuerungsanlagen für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe | 17 |
| <i>V. Weiss</i> | |
| Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung | 36 |
| <i>A. Vetter</i> | |
| Betriebswirtschaftliche Bewertung der Bereitstellung von Stroh und Energiegetreide | 50 |
| <i>G. Reinhold</i> | |
| Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen | 62 |
| <i>H. Hartmann</i> | |
| Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa | 85 |
| <i>D. Thrän, M. Kaltschmitt</i> | |
| Straw-fired Combined Heat and Power Plant | 103 |
| <i>L. H. Sørensen</i> | |

| | |
|--|-----|
| Stroh- und Ganzpflanzenverbrennung am Beispiel der Strohheizwerke Schkölen und Jena | 114 |
| <i>Th. Hering</i> | |
| Erfahrungen und Aussichten der energetischen Verwertung halmgutartiger Biomasse in Österreich | 127 |
| <i>J. Rathbauer</i> | |
| Gesetzliche Grundlagen und Emissionen bei der Korn- und Ölsaatenverbrennung | 134 |
| <i>Th. Hering</i> | |
| Ergebnisse der Diskussion und Zusammenfassung | 138 |
| <i>A. Schütte</i> | |

Vorwort

A. Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

Im Frühjahr 2000 trat das Programm des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der Nachwachsenden Rohstoffe (kurz: Förderprogramm des BMVEL) in Kraft. Verbunden damit war auch eine Änderung der förderpolitischen Ziele sowie der Förderschwerpunkte in diesem Programm. Aufgrund des fortschreitenden Wandels der europäischen Agrarpolitik sowie der verstärkten Notwendigkeit des Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutzes wurden die Ziele des Förderprogramms entsprechend weiterentwickelt und den aktuellen Anforderungen staatlicher Vorsorgestrategien angepasst. Als Hauptziele des heutigen Förderprogramms sind zu nennen:

- Nachhaltige Rohstoff- und Energiebereitstellung,
- CO₂-Minderung,
- Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Land- und Forstwirtschaft sowie ihrer vor- und nachgelagerten Bereiche.

Im Weißbuch „Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger“ (KOM(97) 599 endg.) der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vom 26. November 1997 wurde das Ziel gesetzt, den Anteil regenerativer Energien an der europäischen Energieversorgung im Schnitt auf 12 % zu steigern. Ein wesentlicher Anteil soll dabei durch die energetische Nutzung von Biomasse erbracht werden. Auch die durch die Bundesregierung entsprechend der Beschlüsse von Kyoto angestrebte Minderung der CO₂-Emissionen macht eine verstärkte energetische Nutzung von Biomasse notwendig.

Zur Erreichung dieser Ziele müssen erhebliche Energiemengen, die heute aus fossilen Brennstoffen erzeugt werden, ersetzt werden. Im Jahre 1999 betrug der Primärenergieverbrauch Deutschland 14,194 EJ, es wurden weiter 552,7 TWh elektrische Energie erzeugt. Der Anteil, der durch Biomasse erbracht wird, beruht im Bereich der Wärmeerzeugung im wesentlichen auf der Nutzung von Holz, im Bereich der Stromerzeugung auf der Nutzung von Biogas. Der beabsichtigte starke Ausbau der energetischen Biomassenutzung muss zukünftig, da das Nutzungspotential von Holz und Biogas begrenzt ist, auch biogene Energieträger wie Stroh, Getreideganzpflanzen und andere halmgutartige Energieträger nutzen. Die technischen Nutzungspotentiale sind dabei erheblich. Nach /1/ beträgt für Deutschland das technisch nutzbare Potential für Stroh 104 PJ/a, für speziell angebaute Energiepflanzen bis zu 400 PJ/a. Trotz hoher Potentiale ist die energetische Nutzung von Stroh und Getreideganzpflanzen in Deutschland nicht sehr weit verbreitet: Wurden im Jahre 1999 212 PJ/a Primärenergie auf Basis biogener Brennstoffe /2/ erzeugt, so betrug der Anteil der energetischen Strohnutzung 2,8 PJ/a. Im Gegensatz zu Holz oder Biogas wird damit nur ein kleiner Bruchteil des technisch verfügbaren Potentials genutzt. Die Gründe für die fehlenden Potentialausnutzung sind vielfältig, so gilt Stroh und/oder Getreideganzpflanzen als verbrennungstechnisch schwieriger Brennstoff, und bedürfen der gründlichen und intensiven Analyse. Das heutige Fachgespräch soll diese Analyse leisten und darüber hinaus aufzeigen, welche Lösungsmöglichkeiten in Hinblick auf eine verstärkte Stroh bzw. Ganzpflanzenutzung bestehen. Dazu sollen alle Fragestellungen, insbesondere auch, wie Stand der Technik und Emissionsrecht in Einklang gebracht werden können, behandelt werden. Aufgrund der anstehenden Überführung der 4. BImSchV in ein entsprechendes Artikelgesetz besteht hinsichtlich der Einordnung von Stroh oder Getreideganzpflanzen Diskussionsbedarf. Bisher bestehen für die energetische Nutzung von Stroh u.ä. andere genehmigungs- und emissionsrechtliche Bestimmungen, die in der Praxis letztlich der Ausweitung der energetischen Nutzung der genannten Energieträger entgegenstehen. Das Fachgespräch soll dazu beitragen, verbesserte und neue Möglichkeiten aufzuzeigen, die zu einer verstärkten energetischen Nutzung von Stroh und Ganzpflanzen unter Einhaltung angemessener Umweltstandards beitragen können.

In diesem Zusammenhang ist auch auf eine neuere Entwicklung im Bereich der Bestimmungen zur Flächenstilllegung hinzuweisen. Auf-

grund eines entsprechenden Antrags Österreichs ist es nunmehr möglich, Getreide auf stillgelegten Flächen anzubauen, wenn das Korn anschließend energetisch genutzt wird. Es ist festzustellen, dass der technische und emissionsrechtliche Stand noch nicht den in den interessierten Kreisen gewünschten breiten Einsatz dieses Energieträgers ermöglicht. Ich hoffe, dass Erkenntnisse aus dem heutigen Fachgespräch auch zur weiteren Beurteilung und Entwicklung des neuen Brennstoffs Getreidekorn dienen können.

Ich danke allen Referenten und Experten für Ihre Teilnahme an dem heutigen Fachgespräch. Sie tragen damit dazu bei, das Förderprogramm des BMVEL mit Leben zu erfüllen und können so BMVEL und FNR wichtige Hinweise zur praxisnahen Ausrichtung weiterer Aktivitäten im Bereich der energetischen Stroh- bzw. Getreideganzpflanzen geben.

Der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, namentlich Herrn Dr. Vetter sowie seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, danke ich für die Organisation und Mitgestaltung dieses Fachgesprächs. Ihr Engagement trägt dazu, den dem Thema angemessenen umfassenden und praxisnahen Ansatz zu sichern und damit den Wissenstransfer zwischen verschiedenen Fachrichtungen zu gewährleisten.

Ich wünsche der Veranstaltung einen erfolgreichen Verlauf und hoffe auf eine interessante und ergebnisorientierte Diskussion.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. Andreas Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Hofplatz 1

D-18276 Gülzow

a.schuette@fnr.de

Literatur

- /1/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. [Hrsg.]
Energie aus Biomasse – Grundlagen, Technik und Verfahren
Springer Verlag, Heidelberg 2001
ISBN 3-540-64853-4
- /2/ Biomasse Info-Zentrum
Basisdaten Bioenergie Deutschland
Stuttgart 2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen

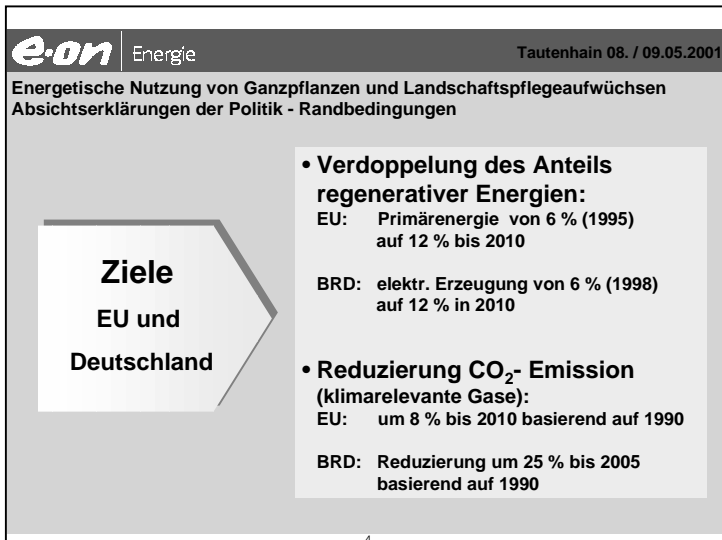
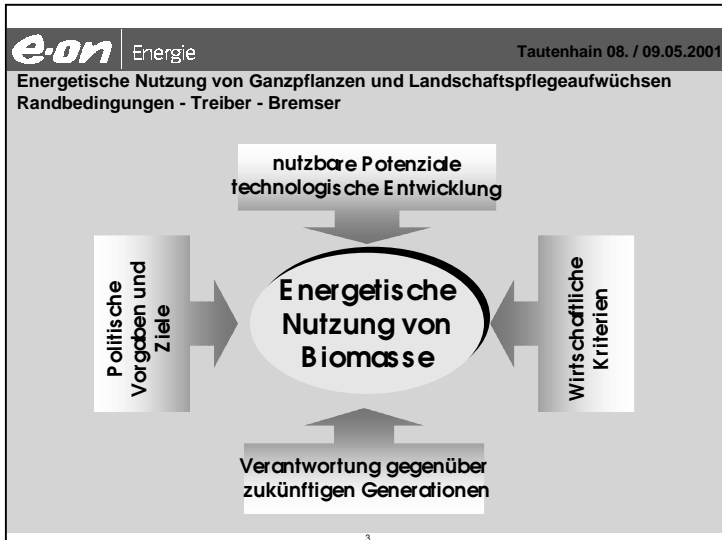
B. Schiebelsberger
e-on-Energie AG, München

Es folgen die Folien des Vortrags.

The slide content is as follows:

| | | |
|--|---------|-----------------------------|
| e-on | Energie | Tautenhain 08. / 09.05.2001 |
| Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen | | |
| Vortragsschwerpunkte | | |
| Ausgangssituation - Randbedingungen | | |
| Versuche zur Mitverbrennung | | |
| Versuchsdurchführung | | |
| Ergebnisse | | |
| Dauerbetrieb und Kostenvergleich | | |

2



e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Energetische Biomassenutzung: Förderung und Aktivitäten von E.ON Energie AG

Förderung
ca.
30 Mio. DM

EEG - Zahlungen

Aktivitäten Projekte

- 31 Biomasseheizwerke gefördert
- ca. 80 Biogasanlagen gefördert
- Studien zur Optimierung der Biomassenutzung
- Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse

• ca. 23 Mio. DM p. a. Einspeisevergütung

- an 12 Biomasseheizwerken beteiligt
- Projekte für 20-MW_{el} - Heizkraftwerke
- Verpflichtungen: Umweltpakt und CO₂-Reduzierung
- Mitverbrennung von Klärschlamm und Biomasse
- Projekte und Unterstützung von Biogasanlagen
- Betrieb von Deponiegasanlagen

5

e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock

Randbedingungen der Versuche (1996):

- **Biomasse Preßlinge aus:**
 - Getreidestroh (Briketts)
 - Ganzpflanzen (Getreidepflanzen mit Körnern)
 - Landschaftspflegeaufwüchsen (versch. Gräser)
- **Nutzung des neu entwickelten Bio-Trucks**
- **Nutzung einer bestehenden Kraftwerksanlage ohne Änderungen; d. h. keine Investitionen.**
- **Heizwert entspricht etwa der eingesetzten Braunkohle**
Braunkohle: ca. 16 - 17 MJ/kg
Biomasse: ca. 14 - 16 MJ/kg

6

e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock

Zielsetzung der Versuche

- **Handling der Biomasse**
Transport, Entladung,
Zumischung, Mahlfähigkeit
- **Verbrennungstechnische Eigenschaften**
- **Einfluß auf die Emissionswerte (Einhalten der Genehmigungswerte) und die Kraftwerksrückstände**
- **Betriebseinflüsse:**
 - ⇒ Korrosion und Verschlackung
 - ⇒ Verhalten von DeNOx und REA
 - ⇒ Grenzen der Zumischung

7

e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock

Kraftwerksdaten - Kraftwerk Schwandorf Block B

- **Baujahr:** 1959
- **Kesselbauart:** Naturumlauf, Zweizugkessel mit 8 Schlägermühlen und Trockenfeuerung
- **Dampfparameter:** 340 t/h
FD 530 °C/133 bar
ZÜ 520 °C/49 bar
- **Bruttoleistung:** 108 MW
- **Kühlung:** Frischwasser/Kühlturm
- **Rauchgasreinigung:** DeNOx-Katalysator in High-Dust-Schaltung
Elektrofilter
Zweikreis-Kalksteinwäscher
- **Rauchgasableitung** über Schornstein (235 m)
- **Deponierung der Reststoffe** (Asche, Gipsuspension)

8

e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock

Versuchsprogramm

| Versuch | Biomassepreßlinge aus | Stunden | Datum | Menge t | Blockleistung % | Anteil an der Feuerungs-wärmeleistung ca. % |
|----------------|------------------------------|---------|-------------------|---------|--------------------|---|
| 1. Kurzversuch | Stroh | 24 | 11./12.4.96 | 80 | 100 | 4,6 |
| 2. Kurzversuch | Stroh | 24 | 18./19.4.96 | 320 | 100 | 13,3 |
| 3. Kurzversuch | Ganzpflanzen | 24 | 25./26.4.96 | 160 | 100 | 8,4 |
| 4. Kurzversuch | Landschaftspflege-Aufwüchsen | 24 | 09./10.5.96 | 160 | 100 | 9,7 |
| Dauerversuch | Stroh | | 18.11. – 10.12.96 | 1.600 | nach Lastverteiler | 11,0 |

Messungen:
 Analysen von Kohle-, Bio-
 masse und Reststoffen: u.a. Schwermetalle, Dioxine und Furane, Chloride, Fluoride

Rauchgas: Betriebsmessungen (Temperatur, SO₂, Nox, CO, Staub),
 Einzelmessungen (HCl, HF, Gesamt-C, Phenole, Aldehyde, Dioxine und Furane)

9

e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock

Kosten der Versuche

- **Gesamtkosten:** ca. 500 TD•
- **Förderung BStMELF (C.A.R.M.E.N. e.V.)**
Differenzkosten zur Braunkohle: ca. 175 TD•
- **E.ON Energie-Anteil:** ca. 325 TD•
 (Programm Energiezukunft Bayern)

10

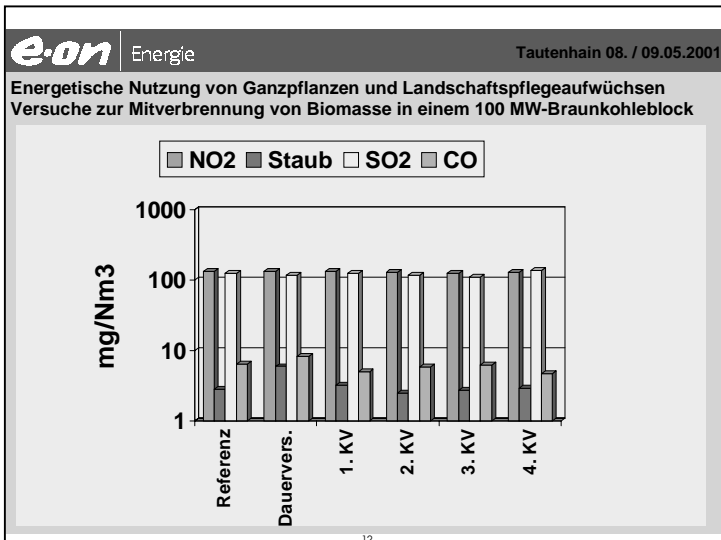
e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock

Ergebnisse der Versuche

- keine wesentlichen Veränderungen gegenüber reinem Kohlebetrieb
- Grenzen für die Zumischung: 15 - 20 %
unproblematisch: 5 - 10 %
- keine erhöhte Verschlackungs- und Korrosionsneigung feststellbar
- alle Grenzwerte nach der 13. BImSchV unterschritten
- Dioxine und Furane weit unter dem Grenzwert der 17. BImSchV
- keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung der Reststoffe gegenüber reinem Kohlebetrieb
- erhöhte Staubentwicklung beim Umschlag von wenig stabilen Preßlingen aus einer Grüngutttrocknungsanlage

11



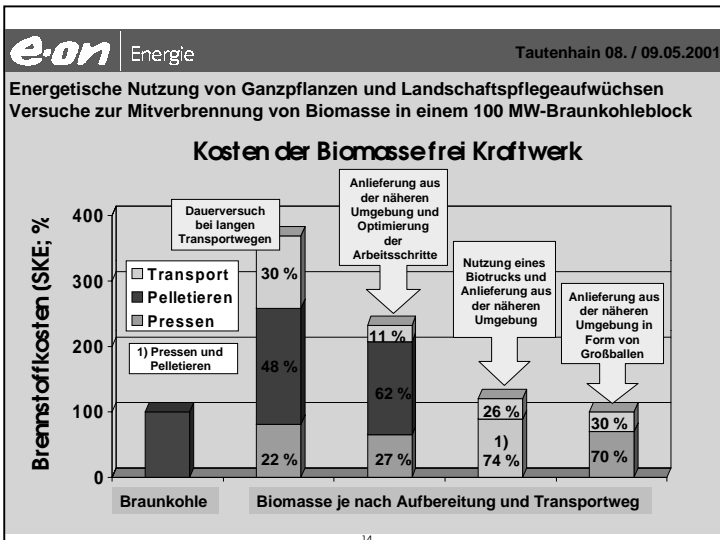
e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

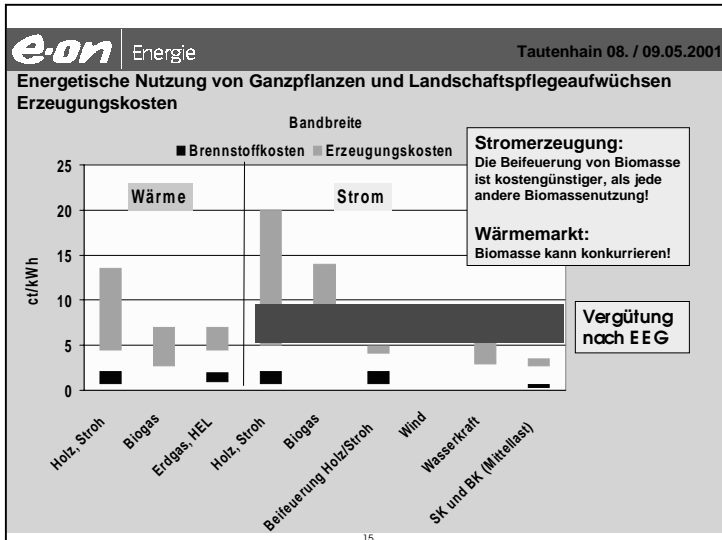
**Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock**

Voraussetzungen für einen Dauerbetrieb mit Biomasse

- Genehmigungsverfahren; u. U. ohne Öffentlichkeitsbeteiligung
- Bereitstellung der Biomasse:
 - ⇒ in ausreichender Menge (max. Radius ca. 50 km)
 - ⇒ zu gleichen Wärmepreisen wie die Braunkohle
 - ⇒ in Form stabiler Preßlinge bzw. als Strohballen
- Investition im Kraftwerk für das Handling der Biomasse
- Minimierung der Korrosionsschäden aufgrund des erhöhten Cl-Gehalts durch technische und betriebliche Maßnahmen

13





e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen

Zusammenfassende Wertung

- Biomasse ist unter günstigen Randbedingungen im Wärmemarkt konkurrenzfähig.
- Die gesicherte und kostengünstige Bereitstellung der Biomasse ist ein entscheidender wirtschaftlicher Faktor.
- Die Biomasse-Zuführung ist die wirtschaftlichste Lösung; vorausgesetzt die technischen Randbedingungen passen.
- Ganzpflanzen - auch Stroh - müssen in einem maximalen Radius von ca. 50 km zur Verfügung stehen.
- Aus den technischen und genehmigungsrechtlichen Anforderung resultiert ein erhöhter Aufwand für die Anlagentechnik.

16

e-on Energie Tautenhain 08. / 09.05.2001

**Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen
Versuche zur Mitverbrennung von Biomasse in einem 100 MW-Braunkohleblock**

Literaturstellen:

- 1 Schmidt W., Eichler U., Bayernwerk AG Vortrag 3rd Munich Discussion Meeting 1996
Co-combustion of Biomass Fuel/Brown Coal in a Power Plant of the Bayernwerk AG
- 2 Dietl, R., Schmidt W., Bayernwerk AG, Mitverbrennung von Biomasse in einem Braunkohle-
kraftwerk der Bayernwerk AG, Vortrag beim Forum für Zukunftsenergien; Biomasse zur
Wärme- und Stromversorgung im kommunalen Umfeld; Leipzig 3./5. März 1997
- 3 Schmidt W., Bayernwerk AG Technischer Großversuch zur Mitverbrennung von Biomasse
in einem Braunkohlekraftwerk, Vortrag auf der VGB-Fachtagung „Feuerungen 1997“ am
8./ 9. Oktober 1997 in Essen.
- 4 Dietl, R., Schmidt W., Bayernwerk AG, Technical large-scale test for biomass co-combustion
in a lignite fired power plant. 10th European Conference an Technology Exhibition
8. - 11. 6. 1998 Würzburg

17

*Anschrift des Autors:
Dr. Bruno Schiebelsberger
E.ON Energie AG
Brienner Str. 40
D-80333 München
bruno.schiebelsberger@eon-energie.com*

Derzeitige und künftig zu erwartende emissionsbegrenzende Anforderungen der TA Luft an Feuerungsanlagen für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe

*V. Weiss
Umweltbundesamt, Berlin*

1 Einleitung

Die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe trägt zum Klimaschutz und zur Schonung fossiler Ressourcen bei; sie kann darüber hinaus einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Forst- und Landwirtschaft leisten.

Mit dem Weißbuch für erneuerbare Energien hat die Europäische Kommission eine Verdoppelung des Anteils erneuerbarer Energieträger in der EU von derzeit 6 % auf 12 % bis 2010 als politisches Ziel beschlossen /1/. Das nationale Klimaschutzprogramm der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000 /2/ sieht vor, bis zum Jahr 2010 den Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch auf 4 % zu verdoppeln. Dabei spielt die Nutzung biogener Energieträger, insbesondere von Holz und Halmgütern, eine wichtige Rolle.

Neben den eindeutig positiv zu bewertenden Eigenschaften biogener Energieträger können bei ihrer Bereitstellung und Nutzung unter bestimmten Umständen auch nicht unerhebliche Umweltbelastungen auftreten, die durch Maßnahmen nach dem Stand der Technik zu mindern und zu begrenzen sind.

Der angestrebte starke Ausbau der energetischen Biomassennutzung kann nur breite Akzeptanz finden, wenn er unter Einsatz moderner Anlagentechnik möglichst umweltverträglich erfolgt. Als flankierendes

Instrument hierzu sind anspruchsvolle Umweltaanforderungen an den Betrieb der Anlagen zu stellen, um eine effiziente und emissionsarme Energieumwandlung zu gewährleisten. Entsprechende immissionschutzrechtliche Regelungen und deren Fortschreibung müssen dabei den Stand der Technik der Emissionsminderung der jeweiligen Anlagenart unter Berücksichtigung medienübergreifender Aspekte widerspiegeln.

Bei den laufenden Arbeiten zur Novellierung der TA Luft werden für eine Vielzahl von Anlagenarten entsprechende Umweltaanforderungen dem fortgeschrittenen Stand der Technik angepasst.

Die wesentlichen Neuerungen und künftig zu erwartenden Anforderungen der TA Luft-Novelle sollen im Folgenden dargestellt werden; dabei soll besonderes Gewicht auf die speziellen Regelungen für Feuerungsanlagen für den Einsatz von Stroh oder ähnlichen pflanzlichen Stoffen gelegt werden.

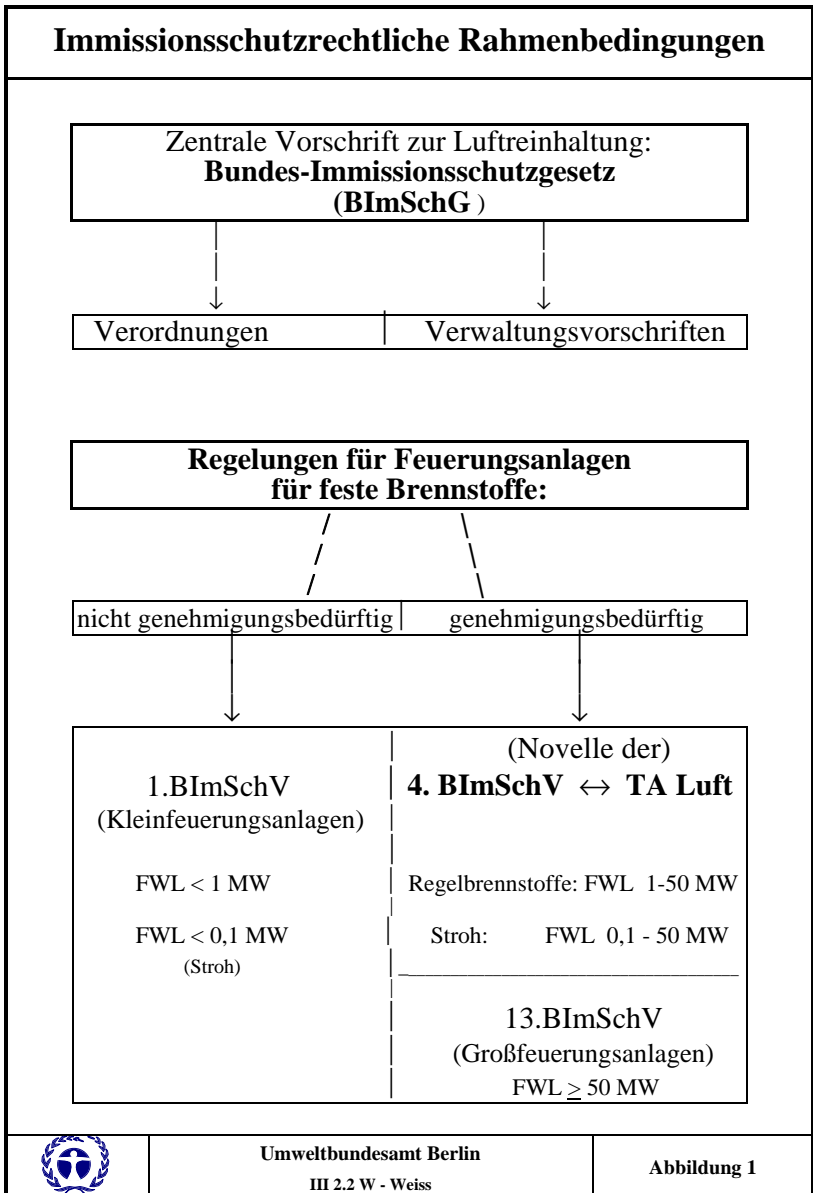
2 Immissionsschutzrechtliche Rahmenbedingungen

Die zentrale Vorschrift zur Luftreinhaltung ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG); es wird durch verschiedenen Rechtsvorschriften, z. B. Verordnungen und Verwaltungsvorschriften, ausgefüllt (siehe Abbildung 1).

Die TA Luft richtet sich als Verwaltungsvorschrift an die zuständigen Behörden zur Prüfung und Festlegung von Anforderungen an Anlagen, die nach der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) genehmigungsbedürftig sind (ausgenommen vom Emissionsteil sind Anlagen, die in einer gesonderten Verordnung geregelt sind, z. B. Großfeuerungsanlagen); sie enthält keine für den Anlagenbetreiber unmittelbar verbindliche Vorschriften.

Die 4. BImSchV wird zurzeit im Rahmen der Erarbeitung eines Artikelgesetzes novelliert. Die Anforderungen der neuen TA Luft gehen im Emissionsteil von der in der Beratung befindliche Novelle der 4. BImSchV aus.

Für Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe, die bisher unter die Nrn. 1.2 und 1.3 der 4. BImSchV (alt) fallen, werden sich in der 4. BImSchV-Novelle nach dem gegenwärtigen Stand nur wenige Änderungen ergeben. Hervorzuheben ist, dass der Einsatz von nicht



naturbelassenem Holz (Holzwerkstoffe, gestrichenes, lackiertes Holz etc. ohne PVC-Beschichtung und Holzschutzmittel) aufgrund der Abfalleigenschaften, der diesen Brennstoffen nach EG-Recht zugewiesen wird, künftig unter der Nr. 8.2 der 4. BImSchV geregelt wird.

Der Einsatz von Stroh und ähnlichen pflanzlichen Stoffen wird nach wie vor in Anlagen der Nr. 1.3 zulässig sein, wobei das Genehmigungserfordernis für diese Anlagen - wie bisher - bei einer Feuerungswärmeleistung von 0,1 MW beginnt. Strohähnliche pflanzliche Stoffe, z. B. Getreideganzpflanzen, Miscanthus und Gräser, sind nicht explizit im Anlagenkatalog der 4. BImSchV-Novelle genannt; sie können jedoch aufgrund ihrer ähnlichen Zusammensetzung und Verbrennungseigenschaften sowie fehlender Abfalleigenschaften weiterhin dem Brennstoff Stroh gleichgesetzt werden.

Für Strohfeuerungsanlagen gelten je nach Feuerungswärmeleistung (FWL) unterschiedliche immissionsschutzrechtliche Anforderungen. Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen mit einer FWL bis zu 0,1 MW unterliegen den Anforderungen der ersten Verordnung zur Durchführung des BImSchG (1. BImSchV, Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung), genehmigungsbedürftige, größere Anlagen denen der TA Luft (bzw. der 13. BImSchV Großfeuerungsanlagen-Verordnung, sofern die FWL größer als 50 MW ist).

3 TA Luft-Novelle¹

Die Novellierung der TA Luft ist durch die rechtlichen und technischen Entwicklungen in Deutschland, in Europa und im internationalen Rahmen seit 1986 dringend notwendig geworden. In diesem Zusammenhang hervorzuheben sind verschiedene EG-rechtliche Regelungen, die in nationales Recht umzusetzen sind, z. B. die Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie), die Richtlinie 96/62/EG über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität und deren Tochterrichtlinien, sowie die Weiterentwicklung des Standes der Technik seit 1986.

¹ Grundlage ist der Entwurf vom 08.12.2000

3.1 Struktur und konzeptionelle Grundlagen

Die neue TA Luft ist strukturell ähnlich wie die geltende TA Luft '86 aufgebaut und knüpft damit an die erfolgreichen Kernelemente der alten Regelungen an. Sie zielt auf alle relevanten Anlagenarten sowie auf die relevanten Luftschadstoffe und strebt eine hohe Bindungswirkung im Hinblick auf einen bundeseinheitlichen Vollzug an.

Die TA Luft-Novelle dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen („Immissionsteil“) und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen („Emissionsteil“), um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen; sie verfolgt damit das Ziel eines integrierten und medienübergreifenden Umweltschutzes (s. a. Abbildung 2).

Die TA Luft-Novelle aktualisiert im Vorsorgeteil die sich insbesondere aus EG-Regelungen und dem BImSchG ergebenden emissionsbegrenzenden Anforderungen entsprechend dem Stand der Technik für Anlagen in Industrie und Gewerbe. Der Vorsorgeteil enthält als Kernpunkte allgemeine (anlagenübergreifende) und anlagenspezifische Anforderungen zur Emissionsbegrenzung; er nennt Emissionswerte, deren Überschreitung nach dem Stand der Technik vermeidbar ist. Hierzu sind integrierte Techniken und Maßnahmen anzuwenden, mit denen die Emissionen in die Luft, das (Ab-)Wasser und den Boden vermieden oder weitgehend begrenzt werden; Anlagensicherheit, umweltverträgliche Abfallentsorgung sowie eine sparsame und effiziente Verwendung von Einsatzstoffen und Energie sind zu beachten.

Der Vorsorgeteil basiert auf folgenden Grundprinzipien:

1. Grundsatz der integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (medienübergreifende Aspekte werden bei der Festlegung von Emissionsbegrenzungen von vornherein berücksichtigt, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen).
2. Risikodifferenzierte Vorsorge (die Vorsorge muss nach Umfang und Ausmaß dem Risikopotenzial der Stoffe proportional sein).

TA Luft-Novelle / Grundlagen

Notwendigkeit

- Novellierung der TA Luft erforderlich aufgrund:
- Weiterentwicklung des Standes der Technik seit 1986
 - Umsetzung von EG-rechtlichen Regelungen und internationalen Verpflichtungen in nationales Recht

Ziel

TA Luft-Novelle verfolgt das Ziel eines integrierten und medienübergreifenden Umweltschutzes, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen; sie dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen ("Immissionsteil") und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen ("Emissionsteil - bzw. Vorsorgeteil").

Konzeptionelle Grundlagen der Vorsorgeanforderungen:

1. Grundsatz der integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen
2. Prinzip der risikodifferenzierten Vorsorge unter Beachtung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes
3. Grundsatz der Gleichbehandlung (Vorsorgeanforderungen zielen auf einheitliche Durchführung von Luftreinhaltemaßnahmen)
4. Besondere Regelungen für bestimmte Anlagenarten (Differenzierung des Standes der Technik unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Besonderheiten und besonderer Verhältnismäßigkeitsabwägungen)
5. Einheitliches und umfassendes Konzept zur Altanlagenanierung



Umweltbundesamt Berlin

III 2.2 W - Weiss

Abbildung 2

3. Grundsatz der Gleichbehandlung (Vorsorgeanforderungen zielen auf eine einheitliche und gleichmäßige Durchführung von Luftreinhaltemaßnahmen).
4. Einzelregelungen für bestimmte Anlagenarten (zur Berücksichtigung von anlagenspezifischen Besonderheiten und medienübergreifenden Aspekten unter Beachtung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes).
5. Altanlagenregelungen (bestehende Anlagen sind zu sanieren und sollen innerhalb bestimmter Übergangsfristen an den Stand der Technik von Neuanlagen herangeführt werden).

3.2 Aufbau/Systematik der Vorsorgeanforderungen zur Emissionsbegrenzung

Die emissionsbegrenzenden Anforderungen der TA Luft-Novelle sind im Vorsorgeteil unter Nr.5 zusammengefasst:

- 5.1 Allgemeines
- 5.2 Allgemeine Anforderungen zur Emissionsbegrenzung
- 5.3 Messung und Überwachung der Emissionen
- 5.4 Besondere Regelungen für bestimmte Anlagenarten
- 5.5 Ableitung von Abgasen

Für die Sanierung von Altanlagen gilt:

Nr. 6.2 Nachträgliche Anordnungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen.

Schließlich sind für den Vorsorgeteil der TA Luft insbesondere die Regelungen der Nrn. 2.4 bis 2.8: Begriffsbestimmungen und Einheiten im Messwesen bedeutsam.

3.2.1 Rangfolge der emissionsbegrenzenden Anforderungen

Grundsätzlich gelten für alle Anlagenarten die anlagenübergreifenden Anforderungen:

- Allgemeine Anforderungen (Nrn. 5.1, 5.2)
- Mess- und Beurteilungsvorschriften (Nr. 5.3)
- Altanlagenregelung (Nr. 6).

Für bestimmte Anlagenarten sind in Nr. 5.4 besondere Regelungen festgelegt; diese Sonderregelungen der Nr. 5.4 haben Vorrang vor allen anderen Anforderungen – nur soweit abweichende oder ergänzende An-

forderungen explizit festgelegt sind. Im Übrigen gelten die anlagenübergreifenden Anforderungen (Nrn. 5.1 bis 5.3, Nr. 6).

Soweit in Nr. 5.4 bestimmte Anlagenarten nicht genannt sind, gelten ausschließlich die anlagenübergreifenden Anforderungen.

3.2.2 Einheitliche Festlegungen

Die Anlagen sind im Hinblick auf geringe Massenkonzentrationen und geringe Massenströme bzw. Massenverhältnisse zu betreiben. Aus Gründen der Überwachungspraktikabilität werden in der TA Luft-Novelle jedoch in der Regel die Massenkonzentrationen der luftverunreinigenden Stoffe begrenzt. Bei Kleinanlagen sind - unter Berücksichtigung von Aufwandsaspekten - vorrangig Massenströme festgelegt, wobei in der Regel eine Kleinanlage (bei gefassten Quellen) einheitlich bei einem Abgasvolumenstrom $V \leq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ angesetzt wurde. Abweichungen ergeben sich nach oben bei Gesamtstaub und Gesamt-C, Abweichungen nach unten bei krebserzeugenden Stoffen sowie bei Dioxinen und Furanen.

In der TA Luft '86 sind „Bagatellmassenströme“ enthalten, die sich nach der Vollzugspraxis der Länder auf den Rohgasmassenstrom bezogen. Entsprechend dem Bundesverwaltungsgerichtsurteil vom 02.12.1999 zur Rohgas/Reingas-Problematik sind die emissionsbegrenzenden Anforderungen nunmehr auf den Reingasmassenstrom bezogen. Aufgrund dieser Änderung in der Bewertung sowie der einheitlichen Festlegungen des Abgasvolumenstroms bei Kleinanlagen ergeben sich in der TA Luft-Novelle z.T. deutliche Absenkungen der emissionsbegrenzenden Massenströme.

Die Festlegung der Emissionsbegrenzungen im „messtechnischen“ Teil der TA Luft-Novelle unter Nr. 2.6 wurde unter Berücksichtigung europäischer Entwicklungen vereinfacht. Danach entfällt die in der TA Luft '86 enthaltene Perzentilregelung als Kriterium für die Einhaltung der in den Genehmigungsbescheiden festzulegenden Emissionsbegrenzungen. Die Definition der Emissionsbegrenzung als Tagesmittelwert wurde beibehalten. Die Emissionswerte sind eingehalten, wenn sämtliche Tagesmittelwerte die festgelegte Konzentration und sämtliche Halbstundenmittelwerte das zweifache der festgelegten Konzentration nicht überschreiten (kontinuierliche Messung).

3.3 Festlegung der Vorsorgeanforderungen zur Emissionsbegrenzung

Grundlage für die Festlegung von Emissionsbegrenzungen ist der Stand der Technik unter Berücksichtigung medienübergreifender Aspekte.

Als wichtige Datenquelle zur Ermittlung des Standes der Technik wurden u.a. herangezogen:

- Merkblätter zu den Besten Verfügbaren Techniken (engl.: BREFs)
- Genehmigungsbescheide aus neuerer Zeit
- Messberichte von Ländern, Betreibern, Herstellern sowie aus Forschungs- und Investitionsprojekten
- Beschlüsse des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) und der Umweltministerkonferenz (UMK)
- Vorgaben aus internationalen Regelungen.


Darüber hinaus wurden zahlreiche Gespräche zwischen UBA/BMU und Vertretern aus Industrie, Umweltverbänden und Länderexperten geführt.

3.3.1 Allgemeine Anforderungen zur Emissionsbegrenzung (Nr. 5.2)

Nr. 5.2 der TA Luft-Novelle enthält anlagenübergreifend Anforderungen zur Emissionsbegrenzung entsprechend dem Stand der Technik; es werden Emissionsmassenströme bzw. Massenkonzentrationswerte für Gesamtstaub, staubförmige anorganische Stoffe, gasförmige anorganische Stoffe, für organische Stoffe sowie für krebserzeugende, erbgutverändernde und reproduktionstoxische Stoffe festgelegt.

Die neuen allgemeinen Anforderungen zur Emissionsbegrenzung im Vergleich zur TA Luft '86 sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Eine graphische Darstellung der Emissionsbegrenzung am Beispiel HCl ist der Abbildung 5 zu entnehmen.

Als Ergänzung zu den allgemeinen Emissionswerten sind bauliche und betriebliche Anforderungen zur Emissionsbegrenzung in Nr. 5.2 genannt (Nrn. 5.2.3, 5.2.6, 5.2.8), wenn bei nicht gefassten Emissionen keine Massenströme oder Massenkonzentrationen festgelegt werden können (z. B. diffuse Emissionen beim Umschlag staubender Güter; geruchsintensive Stoffe).

| TA Luft-Novelle / Emissionsbegrenzung | | |
|--|--|--|
| <u>Allgemeine Emissionsbegrenzungen der TA Luft (alt/neu)</u> <u>im Vergleich - Beispiele</u> | | |
| | TA Luft'86 | TA Luft-Novelle |
| <u>Gesamtstaub</u> | 50 mg/m³ | 20 mg/m³ (Sonderregelung bei kleinen Massenströmen) |
| <u>Staubförmige anorganische Stoffe</u> | | |
| Klasse I | 0,2 mg/m³ | 0,05 mg/m³ |
| Klasse II | 1 mg/m³ | 0,5 mg/m³ |
| Klasse III | 5 mg/m³ | 1 mg/m³ |
| <u>Organische Stoffe</u> | | |
| Klasse I | 20 mg/m³ | 20 mg/m³ |
| Klasse II * | 0,10 g/m³ | 0,10 g/m³ |
| Klasse III | 0,15 g/m³ | - |
| Gesamt-C | - | 50 mg/m³ (Sonderregelung bei kleinen Massenströmen) |
| *nur "Restliste" | | |
| <u>Krebserzeugende Stoffe</u> | Minimierungsgebot | Minimierungsgebot |
| Klasse I | 0,1 mg/m³ | 0,05 mg/m³ |
| Klasse II | 1 mg/m³ | 0,5 mg/m³ |
| Klasse III | 5 mg/m³ | 1 mg/m³ |
| <u>Erbgutverändernde und reproduktionstoxische Stoffe</u> | - | Minimierungsgebot |
| <u>Dioxine und Furane</u> | Minimierungsgebot | Minimierungsgebot 0,1 ng TE/m³ |
|  | Umweltbundesamt Berlin III 2.2 W - Weiss | Abbildung 3 |

TA Luft-Novelle / Emissionsbegrenzung

Allgemeine Emissionsbegrenzungen der TA Luft (alt/neu) für gasförmige anorganische Stoffe

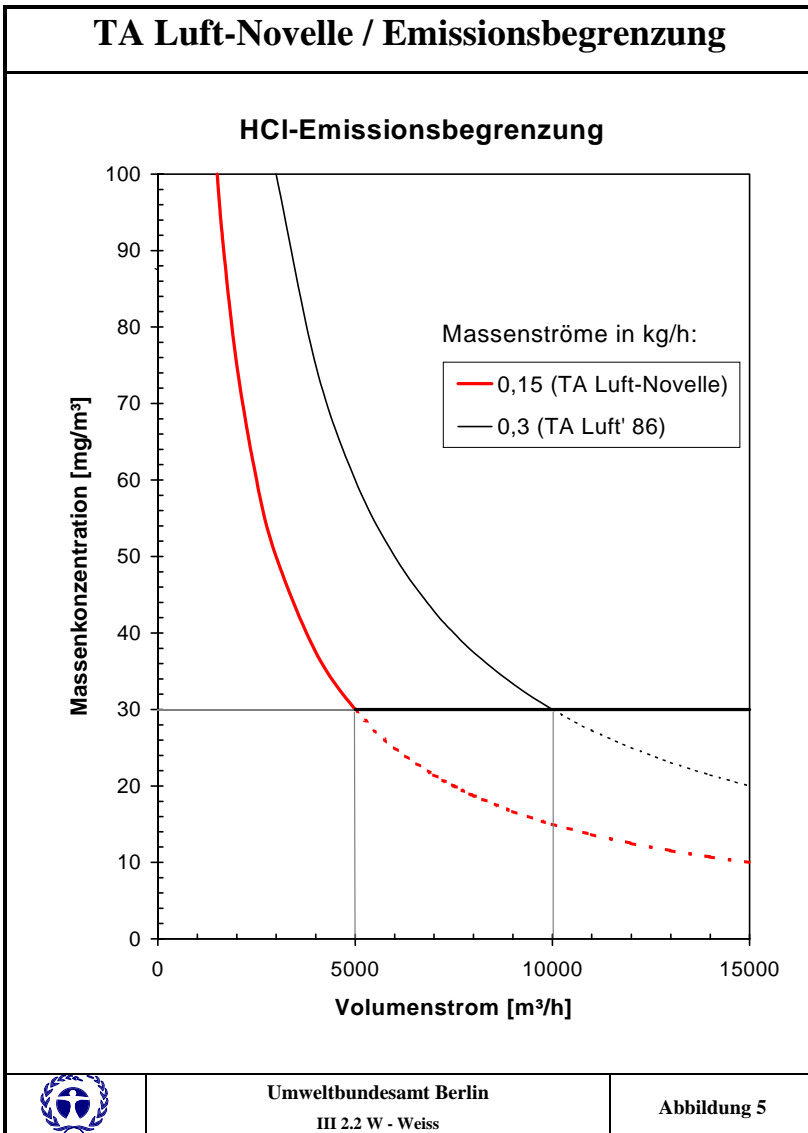
| | TA Luft'86 | TA Luft-Novelle |
|--|-----------------------------|---------------------------------|
| <u>Klasse I</u> | | |
| Arsenwasserstoff | je Stoff: | je Stoff: |
| Chlorcyan | $M \geq 10 \text{ g/h}$ | $M \leq 2,5 \text{ g/h}$ oder |
| Phosgen | $c \leq 1 \text{ mg/m}^3$ | $c \leq 0,5 \text{ mg/m}^3$ |
| Phosphorwasserstoff | | |
| <u>Klasse II</u> | | |
| Brom, HBr | | |
| Chlor | je Stoff: | je Stoff: |
| Cyanwasserstoff | $M \geq 50 \text{ g/h}$ | $M \leq 15 \text{ g/h}$ oder |
| Fluor, HF | $c \leq 5 \text{ mg/m}^3$ | $c \leq 3 \text{ mg/m}^3$ |
| Schwefelwasserstoff | | |
| <u>Klasse III</u> | | |
| | HCl: | je Stoff: |
| HCl, | $M \geq 0,3 \text{ kg/h}$ | $M \leq 0,15 \text{ kg/h}$ oder |
| Ammoniak | $c \leq 30 \text{ mg/m}^3$ | $c \leq 30 \text{ mg/m}^3$ |
| <u>Klasse IV</u> | | |
| | je Stoff: | je Stoff: |
| SO _x (als SO ₂) | $M \geq 5 \text{ kg/h}$ | $M \leq 1,8 \text{ kg/h}$ oder |
| NO _x (als NO ₂) | $c \leq 0,50 \text{ g/m}^3$ | $c \leq 0,35 \text{ g/m}^3$ |



Umweltbundesamt Berlin

III 2.2 W - Weiss

Abbildung 4



Umweltbundesamt Berlin

III 2.2 W - Weiss

Abbildung 5

3.3.2 Besondere Regelungen für bestimmte Anlagenarten (Nr. 5.4)

Für bestimmte Anlagen werden in Nr. 5.4 Abweichungen von den allgemeinen Anforderungen festgelegt, wenn die in den Nrn. 5.2, 5.3 oder 6.2 festgelegten Anforderungen zur Emissionsbegrenzung im speziellen Einzelfall entsprechend dem Stand der Technik (verschärfend oder abschwächend) anzupassen sind.

Die speziellen Vorsorgeanforderungen der Nr. 5.4 gelten nur für genehmigungsbedürftige Anlagen (und Stoffe), die nicht bereits durch Rechtsverordnungen des BImSchG geregelt sind.

Ausgenommen von den Vorsorgeanforderungen des Emissionsteils sind u. a.:

- Großfeuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung (FWL) größer als 50 MW nach der 13. BImSchV; entsprechend der in der Beratung befindlichen Novelle der EG-Richtlinie für Großfeuerungsanlagen künftig auch: Gasfeuerungen und Gasturbinen > 50 MW FWL;
- Abfallverbrennungsanlagen nach der 17.BImSchV; entsprechend der neuen EG-Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen vom 04.12.2000 auch: Mitverbrennung von Abfällen in Zementwerken und Feuerungsanlagen, die in der geplanten Novelle der 17.BImSchV abschließend geregelt wird.

3.4 Überwachung der emissionsbegrenzenden Anforderungen

3.4.1 Diskontinuierliche Überwachung

Die erstmaligen Messungen nach Errichtung oder wesentlicher Änderung einer Anlage sollen nach Erreichen des ungestörten Betriebs der Anlage durchgeführt werden (frühestens 3 Monate, spätestens 12 Monate nach Inbetriebnahme); dies gilt sowohl für die Massenstrom- als auch für die Konzentrationsbegrenzungen.

Danach sind nach Ablauf von 3 Jahren wiederkehrend Messungen durchzuführen. Diese Frist kann bei Anlagen mit einem Abgasvolumenstrom von weniger als 25.000 m³/h ggf. auf 5 Jahre verlängert werden.

Liegen plausible Ersatzparameter durch andere Prüfungen vor, z. B. bei Nachweis der Wirksamkeit von Einrichtungen zur Emissionsminde-

rung, kann auf Einzelmessungen für bestimmte Abgaskomponenten verzichtet werden.

Die Messplanung ist durch die VDI-Richtlinie 4200 (Durchführung von Emissionsmessungen an geführten Quellen) konkretisiert worden; die TA Luft-Novelle gibt der zuständigen Behörde die Möglichkeit, eine vorherige Abstimmung des Messplanes zu fordern.

Die Zahl der Einzelmessungen ist gegenüber der TA Luft' 86 unverändert geblieben, d.h. es sind je nach vorliegenden Betriebsbedingungen mindestens 3, 4 oder 6 Einzelbestimmungen bei Betrieb mit den (zu erwartenden) höchsten Emissionen durchzuführen. Es werden in der Regel Halbstundenmittelwerte erfasst, wenn nicht besondere Umstände vorliegen (z. B. bei Chargenbetrieb).

Die Beurteilung der Messergebnisse ist gegenüber der TA Luft' 86 konkretisiert worden; hervorzuheben sind folgende Neuerungen:

- Die Emissionswerte sind jeweils eingehalten, wenn das Ergebnis der Einzelmessung zuzüglich der Messunsicherheit die Anforderungen im Genehmigungsbescheid erfüllt.
- Im Falle sich aus den Messungen ergebender nachträglicher Anordnungen bei bestehenden Anlagen ist die Messunsicherheit zugunsten des Betreibers zu berücksichtigen.

3.4.2 Kontinuierliche Überwachung

Die kontinuierliche Überwachung der Emissionsanforderungen ist bei größeren Anlagen der Regelfall. Eine kontinuierliche Bestimmung der Emissionen relevanter Quellen ist grundsätzlich dann vorgesehen, wenn die in Nr. 5.3.3.2 genannten Massenstromschwellen für die kontinuierliche Überwachung überschritten werden. Die Massenstromgrenzen für die kontinuierliche Überwachung ergeben sich in der Regel aus einem Abgasvolumenstrom von 50.000 m³/h bei Ausschöpfung der Emissionsbegrenzung.

Eine kontinuierliche Messung der Emissionen kann auch bei geringeren als den in Nr. 5.3.3.2 angegebenen Massenströmen gefordert werden, wenn z. B. bei wechselnder Betriebsweise der Anlage zu erwarten ist, dass die zulässigen Emissionswerte wiederholt überschritten werden.

Soweit die luftverunreinigenden Stoffe im Abgas in einem festen Verhältnis zueinander stehen, kann die kontinuierliche Messung auf eine Leitkomponente beschränkt werden. Im Übrigen kann auf die kontinuier-

liche Messung bestimmter Emissionen verzichtet werden, wenn durch andere Prüfungen, z. B. durch fortlaufende Feststellung der Wirksamkeit von Emissionsminderungseinrichtungen, der Zusammensetzung von Brennstoffen sowie der Prozessbedingungen, mit ausreichender Sicherheit festgestellt werden kann, dass die Emissionsbegrenzungen eingehalten werden.

Die Auswertung der Messergebnisse wird sich durch die vereinfachte Beurteilung der Emissionsbegrenzung (Wegfall der Perzentilregelung) erleichtern. Die Emissionswerte sind eingehalten, wenn kein Halbstundenmittelwert das zweifache des Tagesmittelwertes überschreitet.

Zur Qualitätssicherung der kontinuierlichen Überwachung sind im wesentlichen folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte zur kontinuierlichen Ermittlung der Emissionen,
- Überprüfung ihres ordnungsgemäßen Einbaus,
- Funktionsüberprüfung in jährlichem Abstand,
- Kalibrierung der Messeinrichtung im Abstand von drei Jahren.


Die drei letztgenannten Maßnahmen werden gemäß §26 BImSchG durch von den zuständigen Länderbehörden bekannt gegebene Stellen durchgeführt.

3.5 Spezielle Anforderungen an Strohfeuerungsanlagen (Nr. 5.4.1.3)

Gegenüber der TA Luft '86 werden im Entwurf der TA Luft-Novelle vom 08.12.2000 unter Nr. 5.4.1.3 neben dem Einsatzstoff Stroh auch ähnliche pflanzliche Stoffe explizit genannt; mit dieser Ergänzung und der beispielhaften Nennung von Getreideganzpflanzen, Gräsern und Miscanthus soll erreicht werden, dass grundsätzlich alle pflanzlichen Stoffe von den Regelungen der Nr. 5.4.1.3 erfasst werden können, die hinsichtlich ihrer Brennstoffbeschaffenheit strohähnliche Eigenschaften aufweisen.

Die speziellen emissionsbegrenzenden Anforderungen der TA Luft-Novelle sind im Vergleich zu den geltenden Anforderungen der TA Luft '86 in der Abbildung 6 dargestellt.

Verschärfungen gegenüber der geltenden TA Luft ergeben sich im wesentlichen bei der Emissionsbegrenzung für Staub und HCl (HCl-Begrenzung war bisher für Strohfeuerungsanlagen explizit ausge-

| TA Luft - Novelle / Emissionsbegrenzung | | |
|--|---|---|
| Emissionsbegrenzende Anforderungen der TA Luft (alt/neu) an Strohfeuerungsanlagen | | |
| STROH | TA Luft' 86 (Nr. 3.3.1.3.1) | TA Luft - Novelle (Nr. 5.4.1.3) |
| O₂ - Bezug | 11 % | |
| Gesamtstaub | ≥ 5 MW: 50 mg/m ³ < 5 MW: 0,15 g/m ³ | ≥ 1 MW: 20 mg/m ³ < 1 MW: 50 mg/m ³ |
| CO | 0,25 g/m ³ Einzelfeuerungen < 2,5 MW nur bei Nennlast | |
| NO_x | 0,50 g/m ³ | ≥ 1 MW: 0,40 g/m ³ < 1 MW: 0,50 g/m ³ |
| Organische Stoffe | 50 mg/m ³ (Gesamt-C) | |
| SO_x | 0,50 g/m ³ (allg. Anforderung) | 0,35 g/m ³ (allg. Anforderung) |
| HCl | keine Anforderung | 30 mg/m ³ (allg. Anforderung) |
| PCDD/F | Minimierungsgebot | 0,1 ng/m ³ (allg. Anforderung) Minimierungsgebot |
| Kontinuierliche Messung | 5 - 25 MW: Abgastrübung > 25 MW: Staub, CO | 5 - 25 MW: Staub (qualitativ) > 25 MW: Staub (quantitativ) > 2,5 MW: CO |
| Altanlagen | Regelungen der Nr.4 | Staub: 8a Übergangsfrist; Regelungen der Nr. 6 |
|  | | |
| Umweltbundesamt Berlin III 2.2 W - Weiss | | Abbildung 6 |

nommen). Die Anforderungen zur Begrenzung der Emissionen an CO, NO_x und organischen Stoffen bleiben weitgehend unverändert.

Die Festlegung der emissionsbegrenzenden Anforderungen erfolgte auf der Grundlage des Standes der Anlagentechnik sowie des Risikopotenzials bestimmter Schadstoffe; dabei wurden die brennstoffspezifischen Eigenschaften von Halmgütern, die maßgeblichen Einfluss auf die Höhe bestimmter Abgasemissionen haben, berücksichtigt.

In Stroh und anderen Halmgütern sind insbesondere die Gehalte an Schwefel, Stickstoff, Chlor und Asche deutlich höher als im naturbelassenem Holz. Entsprechend höhere Emissionen an SO₂, NO_x, HCl (PCDD/F) und (Fein-)Staub können bei ihrer Verfeuerung freigesetzt werden; dabei können sich große Schwankungsbreiten in Abhängigkeit des jeweils eingesetzten Halmgutes ergeben. Dies haben verschiedene Untersuchungen in Bayern und Thüringen gezeigt /3-10/. Einfluss auf die Höhe der Emissionen hat neben der Brennstoffart auch die Brennstoffbeschaffenheit (Feuchtegehalt; Aufbereitung z. B. als Häckselgut, Pellets); unverdichtete und feuchte Brennstoffe weisen grundsätzlich ungünstigere Verbrennungseigenschaften und höhere Emissionen an bestimmten Abgaskomponenten (z. B. CO, Gesamt-C) auf als verdichtete und trockene Brennstoffe. Aufgrund des hohen Chlorgehaltes und niedrigen Ascheschmelzpunktes von Halmgütern kann ihre Verfeuerung zudem zu Korrosions- und Verschlackungsproblemen führen.

Diese brennstoffspezifischen Nachteile von Halmgütern erfordern große technische Anstrengungen, wenn die energetische Nutzung dieser Brennstoffe emissionsarm und umweltverträglich gestaltet werden soll. Der Stand der Strohverbrennungstechnik hat sich im Vergleich zu dem der Holzverbrennung jedoch kaum fortentwickelt, so dass bei einigen Abgaskomponenten – vorrangig brennstoffbedingt und lastabhängig – vergleichsweise hohe Emissionen unvermeidbar sind (z. B. NO_x, CO, Gesamt-C); entsprechend moderate Anforderungen wurden festgelegt.

Gleichwohl hat die Verbrennung von Stroh im Vergleich zu Holz ein deutlich höheres Schadstoffbildungspotenzial für bestimmte, besonders gesundheitsgefährdende Stoffe, wie z. B. PCDD/F (HCl), PAH, Feinstaub und Staubinhaltsstoffe. Zur Begrenzung dieser Stoffe wurden vorrangig anspruchsvolle Staubemissionswerte vorgesehen, deren Einhaltung den Einsatz von wirksamen Staubabscheidern (z. B. Gewebe- oder Elektrofilter, ggf. Abgaskondensation, Rotationszyklon) erfordert. Die Emissionen dieser Stoffe können hierdurch direkt oder indirekt (z. B. HCl-Minde-

nung durch Sorbentienzugabe in Verbindung mit einem Gewebefilter) gemindert werden.

4 Ausblick

Neben den unter Klimaschutzaspekten eindeutig positiv zu bewertenden Eigenschaften biogener Energieträger können mit ihrer Bereitstellung und Nutzung auch negative Umweltauswirkungen verbunden sein, die es weitgehend zu beschränken gilt. Dies erfordert den Einsatz moderner Anlagentechnik auf der Grundlage von anspruchsvollen und angemessenen Umweltauforderungen.

Die derzeit laufende Fortschreibung entsprechender Anforderungen der TA Luft dient der Anpassung an den Stand der Technik der jeweiligen Anlagenart (Weiterentwicklung seit 1986); sie berücksichtigt darüber hinaus europäische Regelungen und verfolgt damit das Ziel eines integrierten und medienübergreifenden Umweltschutzes.

Von den Anforderungen der TA Luft-Novelle sind etwa 50.000 bis 55.000 Anlagen in Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft betroffen. Der Vollzug der Vorsorgeanforderungen der TA Luft wird von Wirtschaft und Behörden erhebliche Anstrengungen erfordern. Der Wirtschaft wird mit der neuen TA Luft als Bundesverwaltungsvorschrift nach § 48 BImSchG die erforderliche Rechtssicherheit geben, eine wichtige Voraussetzung für die Kalkulierbarkeit und Sicherheit von Investitionsplanungen.

Die Anforderungen der neuen TA Luft an Strohfeuerungsanlagen werden sich nur in einigen Punkten gegenüber der TA Luft' 86 ändern; die vorgesehenen Emissionsanforderungen berücksichtigen die brennstoffspezifischen Eigenschaften von Halmgütern und werden nach dem gegenwärtigen Stand der Beratungen wesentlich moderater als für Holzfeuerungsanlagen sein.

Im weiteren Verfahren der Erarbeitung der TA Luft-Novelle wird derzeit ein Referentenentwurf vorbereitet. Nach Anhörung der beteiligten Kreise wird ein Entwurf der Bundesregierung (Kabinettsvorlage) vorgelegt, der anschließend im Bundesrat beraten wird. Mit der Verabschiedung der TA Luft-Novelle ist voraussichtlich Ende 2001 / Anfang 2002 zu rechnen.

5 Literatur

- /1/ Energy for the Future: Renewable Sources of Energy; White Paper for a Community Strategy and Action Plan; Communication from the Commission, COM (97)599 final (26/11/97)
- /2/ Nationales Klimaschutzprogramm - Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000; Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe "CO₂-Reduktion"; BMU, Oktober 2000
- /3/ Huber, Frieß: Emissionen bayerischer Biomassefeuerungen - Ergebnisse einer Grundsatzuntersuchung; Fachtagung des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, Wackersdorf 13.11. 1997
- /4/ Launhardt et al.: Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinfeuerungsanlage - Emissionen und Aschequalität; Landtechnik Weihenstephan, Abschlussbericht i.A. des Bayer. LfU, Sept. 2000
- /5/ Hartmann et al.: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe - umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten; Landtechnik Weihenstephan, Abschlussbericht i.A. des Bayer. LfU, Sept. 2000
- /6/ Thüringer Landesanstalt für Umwelt: Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen am Strohheizwerk Schkölen, Teil 2; Jena, Juni 1995
- /7/ Thüringer Landesanstalt für Umwelt: Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen am Strohheizwerk der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena-Zwätzen; Jena, Juni 1997
- /8/ Thüringer Landesanstalt für Umwelt: Umweltverträglichkeit des Strohheizwerkes Schkölen - Teil Emissionen; Projektbericht i.A. der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Jena, Dez. 1995
- /9/ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft: Einfluss der Brennstoffart und -qualität auf den Anlagebetrieb, die Emissionen und Reststoffe in Bioheizwerken, Teil I; Abschlussbericht i.A. des Verbandes zur Förderung extensiver Grünlandwirtschaft e.V., Jena, Okt. 1996
- /10/ Hering et al.: Verbrennungsverhalten verschiedener biogener Festbrennstoffe; Vortragsmanuskript: Verbrennungsversuche in einer Vorofenfeuerung mit wassergekühlter Brennmulde, Heizperiode 1999/2000, Dornburg

Anschrift des Autors:
Dipl.-Ing. Volker Weiss
Umweltbundesamt
Seecktstr. 6-10
D-13581 Berlin
volker.weiss@uba.de

Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung

A. Vetter
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

1 Definition halmgutartige Bioenergieträger

In der TA Luft ist Stroh im Punkt 3.3.1.3.1. als zugelassener Brennstoff aufgeführt. Die Landwirtschaft definiert als Stroh „trockene Halme, Stängel und Blätter der ausgedroschenen Getreidearten, Hülsenfrüchte, Öl- und Faserpflanzen“ (Quelle: ABC-Landwirtschaft). Unter „strohähnlichen Stoffen“ werden Gräserarten, Ganzpflanzengetreide, Miscanthus, Topinambur, etc. verstanden, d. h. der gesamte oberirdische Biomasseaufwuchs von nicht verholzenden Pflanzen. Im Kommentar zur 1. BImSchV von FELDHAUS (1988) wird der Begriff „strohähnliche pflanzliche Stoffe“ wie folgt näher erläutert: „Energiepflanzen wie z. B. Schilf, Elefantengras, Heu, Maisspindeln“. Nicht eindeutig definiert ist somit das ausgedroschene Getreidekorn. Als Teil von Ganzpflanzengetreide ist es jedoch in diesem „strohähnlichen Stoff“ enthalten und müsste somit unter diese Definition fallen (?).

2 Potentiale

Der mengenmäßig neben Holz am meisten anfallende biogene Energieträger ist das Stroh. Analog zum Holz, dass bei einer nachhaltigen Forstwirtschaft nur im begrenzten Umfang aus dem Wald entnommen werden darf, gelten ähnliche Anforderungen seitens einer „nachhaltigen Land-

wirtschaft“ an die Entnahme von Stroh aus dem Stoffkreislauf. Stroh wurde in der Vergangenheit vorwiegend als Einstreu in der Landwirtschaft verwertet. Mit der Rückführung in den Boden in Form von Stallmist, abzüglich der Rotteverluste, ist der Kreislauf weitestgehend geschlossen. Mit der Verbreitung der Güllewirtschaft in der Tierproduktion ist dieses Einsatzgebiet in den letzten Jahren stark rückläufig. Das Stroh verbleibt größtenteils auf dem Feld. Es dient vorrangig der Humusreproduktion, wobei eine ausgeglichene, eventuell leicht positive Humusbilanz, anzustreben ist.

Eine im Rahmen des Projektes „Kriterien umweltverträgliche Landbewirtschaftung“ durchgeführte Analyse an über 100 Betrieben in Thüringen zeigt, dass die Humusbilanz extrem positiv ist. Im Durchschnitt liegt sie über 0,8 t ROS (Reproduktionswirksame organische Substanz) je ha und Jahr (Abb. 1). Bei einem ROS-Faktor von 0,55 ergibt dies eine überschüssige Strohmenge von ca. 1,5 t/ha/a. Diese ist abhängig vom Tierbesatz, den natürlichen Standortverhältnissen und vor allem dem Anbau von humusmehrenden und humuszehrenden Pflanzenarten in der Fruchtfolge.

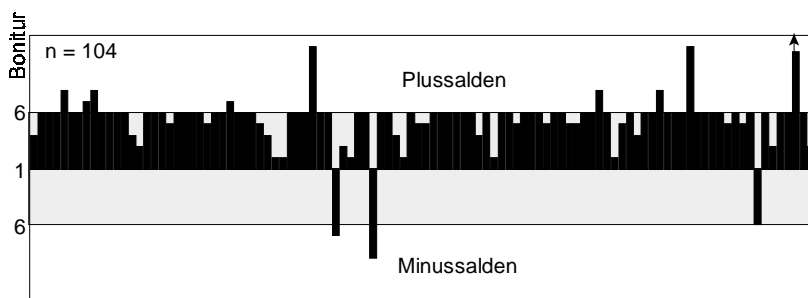


Abbildung 1: Bewertung des Humussaldos in den untersuchten Betrieben (Boniturnote 1 = 0 t ROS/ha und Jahr; Boniturnote + 6 = 1 t ROS/ha und Jahr)

Daneben enthält Stroh Nährstoffe, die für die Pflanzenernährung wichtig sind. Vor allem sind dies Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium. Monitär ausgedrückt hat Leguminosenstroh (Ackerbohnen, Erbsen) mit durchschnittlich 32,50 DM/t, gefolgt von Körnermaisstroh (29 DM/t) und Rapsstroh mit 23 DM/t den höchsten Nährstoffwert.

Getreidestroh hat dahingegen nur einen Nährstoffwert von 14 bis 18 DM/t. Die aufgeführten Pflanzennährstoffe sind teilweise als Schadstoffe bei der thermischen Verwertung anzusehen, sodass als erste Schlussfolgerung gelten kann, dass Getreidestroh für die Verbrennung zu bevorzugen ist.

Weitere Einsatzgebiete von Stroh, wie als Futter in der Tierproduktion, zum Mulchen im Gartenbau und als industrieller Rohstoff, z. B. zur Herstellung von Dämmstoffen, haben mengenmäßig gesehen eine sehr geringe Bedeutung, sodass sie als Konkurrent für die thermische Verwertung keine Rolle spielen. Eine grobe Abstufung des Anfalls und der technologischen Eignung für die Bereitstellung ist aus der Abbildung 2 zu entnehmen.

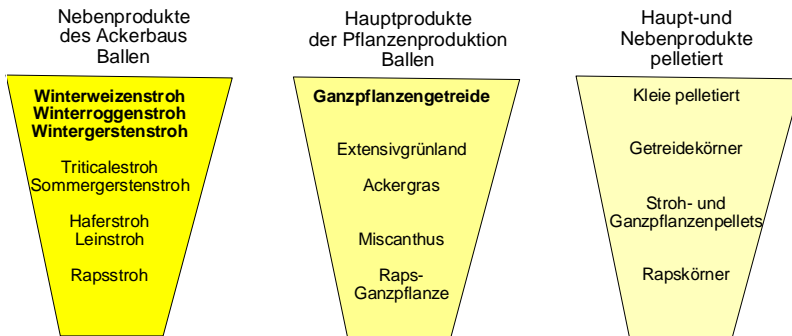


Abbildung 2: Anfall biogener Energieträger und technologische Eignung für die Bereitstellung

Als Nebenprodukte der Pflanzenproduktion fallen regional bedingt vor allem Winterweizen-, Winterroggen- und Wintergerstenstroh an. Als für die energetische Verwertung anzubauende Biomasse bietet sich Ganzpflanzengetreide (Triticale) an. Diese vier Brennstoffe haben den Vorteil, dass sie zur Ernte in der Regel trocken sind, d. h. ein Wassergehalt von < 20 % vorhanden ist. Damit ist die Lagerfähigkeit gegeben. Demgegenüber müssen Gräser nach dem Schwadlegen vor der Bergung dem Heubereitungsprozess unterzogen werden. Von Vorteil für die aufgeführten halmgutartigen Energieträgern ist vor allem eine mit der Ballenlinie in der Landwirtschaft vorhandene technologische Kette. Getreidekleie fällt beim Vermahlungsprozess an und braucht im Gegensatz zu Stroh somit

vor der Pelletierung nicht mehr über eine Hammermühle energieaufwendig zerkleinert zu werden. Dementsprechend sind diese Pellets preisgünstiger und liegen noch unter den Preisen von Getreidekörnern. Die Abbildung gibt keinen Aufschluss über die Verbrennungseignung.

3 Qualitätsanforderungen

Bei den Qualitätsanforderungen ist zu unterscheiden zwischen Anforderungen seitens der Verbrennungsführung, den Emissionen und der Ascheverwertbarkeit. Bei halmgutartigen, biogenen Energieträgern ist für die Verbrennungsführung die Form der angelieferten Biomasse ein wichtiges Qualitätskriterium. Ideal ist immer das Pellet. Aufgrund der Preise hat dies aber nur in kleineren Anlagen (FWL < 100 kW) Bedeutung. Für größere Anlagen hat sich in Dänemark der Quaderballen durchgesetzt. Für den Zigarrenbrand und Anlagen mit Scheibenteiler ist eine möglichst gleichmäßige Form mit einer einheitlichen Pressdichte ein wesentliches Kriterium. Des weiteren kommt der Struktur der Halme eine gewisse Bedeutung zu. Bei den Versuchen in Schkölen und Jena hat sich gezeigt, dass sich Ballen mit möglichst langen Halmen und einer etwas größeren Struktur seitens der Verbrennungsführung bedeutend besser regeln lassen als stark zerkleinertes bzw. sehr feines Erntegut. Im Projekt „Standardisierung biogener Festbrennstoffe“ wurde seitens der beteiligten Institutionen unter Federführung des IER Stuttgart eine Zusammenstellung mit Eigenschaften und Elementen von biogenen Festbrennstoffen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Verbrennungsführung, die Emissionen und die Ascheverwertung vorgenommen (Tab. 1).

Da halmgutartige Biomasse nur lagerfähig ab einem Wassergehalt < 20 % ist, unterliegt der Heizwert (Hu) im Gegensatz zu Holz nur geringen Schwankungen. Demgegenüber ist der Aschegehalt bedeutend höher (Abb. 3). Er variiert zudem innerhalb der Arten erheblich. Im Extremfall konnten bei Rapsstroh Aschegehalte bis 15 % ermittelt werden. Als Planungswert sind 5-8 % Aschegehalt zugrunde zu legen. Die hohen Gehalte sind bei der Auslegung der Ascheaustragsysteme und der Staubabscheidensysteme zu berücksichtigen.

Stickstoff als extrem flüchtiges Element wird zu über 95 %, Chlor zu 50-75 % und Schwefel zu 60-80 % emittiert. Dementsprechend sind niedrige Gehalte an diesen Elementen im Brennstoff erwünscht. Obernberger (1997) gibt als Richtkonzentration < 0,6 % N, < 0,1 % Cl und < 0,1 % S in

Tabelle 1: Einfluss auf die Verbrennungsführung (A), Emissionen (B) und Ascherverwertung (C)
Wichtung A, B, C: 1 (groß), 2 (mittel), 3 (gering)

| Eigenschaft/ Element | Auswirkung auf | Art der Auswirkung | Priorität |
|-------------------------|----------------|--|-----------|
| Heizwert H_u | A | Anlagenauslegung; Brennstoffzuführung | - |
| Wassergehalt | A | Heizwert, Lagerfähigkeit, Brennstoffzuführung | 1 |
| Aschegehalt | A, B | Staubemissionen, Auslegung, Staubabscheidesysteme | 1 |
| Ascheschmelzverhalten | A, B | Verschmutzungen und Verschlackungen der Wärmetauscherflächen, Anlagenverfügbarkeit | 1 |
| Aschezusammensetzung | B | Aschefraktionierung beeinflusst Auslegung der Staubabscheidesysteme | - |
| N | B | NO _x -Emissionen | 1 |
| Cl | A, B | Hochtemperaturchlorkorrosion, HCl-Emissionen | 1 |
| S | A, B | Fördert Chlorkorrosion, SO ₂ -Emissionen (Ascheeinbindung), Verschmutzung durch Alkalisulfate | 1-2 |
| K | A, B, C | Erniedrigt Ascheschmelzpunkt, KCl-Emission, Korrosion, Verschmutzung, Verschlackung durch Bildung von Alkalisilikaten, Hauptascheelement (Stroh) | 1 |
| P | A, C | Schadstoffeinbindung in Asche | 2 |
| F | B | HF-Emissionen | - |
| Na | A | Erniedrigt Ascheschmelzpunkt, Korrosion, Verschmutzung, Verschlackung durch Bildung von Alkalisilikaten | 2 |
| Mg | A | Erhöht Ascheschmelzpunkt | 2 |
| Al | A | Erhöht Ascheschmelzpunkt, Verschmutzung, Verschlackung | 2 |

Tabelle 1: Einfluss auf die Verbrennungsführung (A), Emissionen (B) und Aschwerwertung (C)
Wichtung A, B, C: 1 (groß), 2 (mittel), 3 (gering) (Forts.)

| Eigenschaft/ Element | Auswirkung auf | Art der Auswirkung | Priorität |
|------------------------------|----------------|---|-----------|
| Ca | A | Verändert? Ascheschmelzpunkt, Hauptascheelement (Holz) | 2 |
| Fe | A | Erhöht Ascheschmelzpunkt, Verschmutzung, Verschlackung | - |
| Si | A | Erhöht Ascheschmelzpunkt, Verschmutzung, Verschlackung, Hauptaschebildungselement | 2-3 |
| Cu | C | Verwertbarkeit der Verbrennungsrückstände, Emissionsgrenzen | - |
| Pb | C | Verwertbarkeit der Verbrennungsrückstände, Emissionsgrenzen | 2 |
| Zn | C | Verwertbarkeit der Verbrennungsrückstände, Emissionsgrenzen | 2 |
| Cr | C | Verwertbarkeit der Verbrennungsrückstände, | 2-3 |
| Cd | C | Verwertbarkeit der Verbrennungsrückstände, Emissionsgrenzen | 2 |
| As, Co, V, Mn, Mo, Ni, Hg | C | Verwertbarkeit der Verbrennungsrückstände | - |

der Brennstofftrockenmasse an. Mit halmgutartigen biogenen Brennstoffen können diese Richtwerte bis auf Stickstoff bei Getreidestroh und Miscanthus nicht eingehalten werden (Abb. 4).

Ganzpflanzengetreide hat erwartungsgemäß einen höheren Stickstoffgehalt als Stroh. Die bundesweit in Landessortenversuchen ermittelten Daten zeigen eine erhebliche Streuung. Die Mittelwerte liegen bei allen Arten sehr nahe an den Richtwerten für den Stickstoffentzug aus der Düngungsempfehlung.

Haferstroh weist in der Regel die geringsten Stickstoffgehalte auf, Rapsstroh dagegen die höchsten Werte. Die erkennbaren Standorteinflüsse sind u. a. auf den unterschiedlichen N_{\min} -Gehalt des Bodens zu Vegetationsbeginn und nur z. T. auf Differenzierungen in der Höhe der

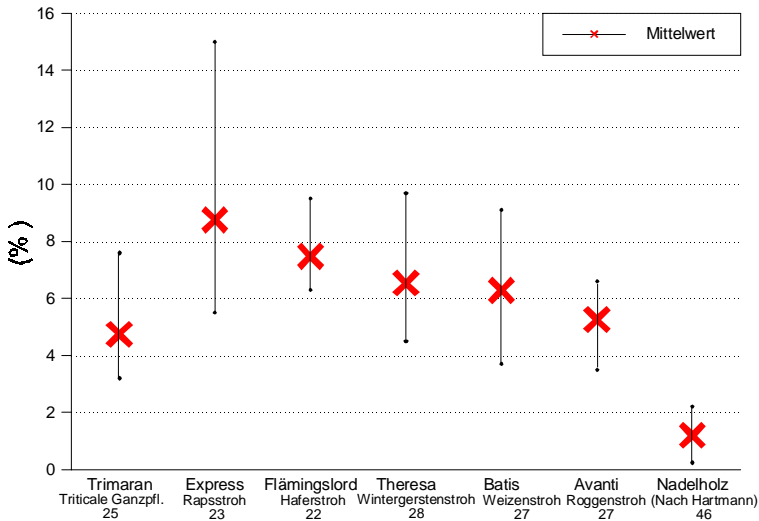


Abbildung 3: Standortvariabilität des Aschegehaltes (1999) – LSV bundesweit

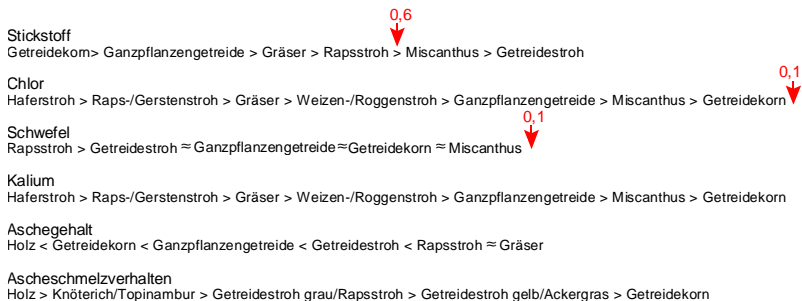


Abbildung 4: Staffelung der Inhaltsstoffgehalte

Stickstoffdüngung zurückzuführen. Letztgenannter Faktor beruht auf unterschiedlichen N-Düngungsstrategien an den einzelnen Standorten zur Ermittlung optimaler Erträge bei der Getreide- und Rapsproduktion. Zielstellung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren ist ein möglichst hoher Kornertrag bei effizientem Einsatz der Mittel und nicht beispielsweise ein niedriger Stickstoffgehalt im Nebenprodukt. Die klassische Definition des Standortes, d. h. Boden- und Klimaeinfluss, ist bei der

Verwertung des Nebenproduktes Stroh somit um den Faktor „ortsübliches Düngungsregime“ zu erweitern, wobei den klassischen Standorteinflüssen, d. h. Verfügbarkeit des Bodenstickstoffs, eine größere Bedeutung zukommt als dem Düngungsregime. Selbst eine Absenkung der optimalen N-Gabe um 50 % in einem mehrjährig durchgeführten Versuch an verschiedenen Thüringer Standorten erbrachte bei Ganzpflanzentriticale lediglich eine Absenkung des Stickstoffgehaltes um ca. 10 %. Über die Sortenwahl ist nur eine minimale Einflussnahme möglich.

Schwefel kommt in annuellen Pflanzen nur in geringem Umfang vor (0,1-0,2 % S in der TM). Eine Ausnahme bilden die Kruziferen, die für eine optimale Ertragsbildung Schwefel benötigen. In Winterrapsstroh sind durchschnittliche Schwefelgehalte von 0,5 % S in der TM zu erwarten (Abb. 5). Damit hat Rapsstroh als der schwefelreichste biogene Brennstoff etwa den gleichen Schwefelgehalt wie Rheinische Braunkohle bzw. ~ 30 % von Sächsischer Braunkohle.

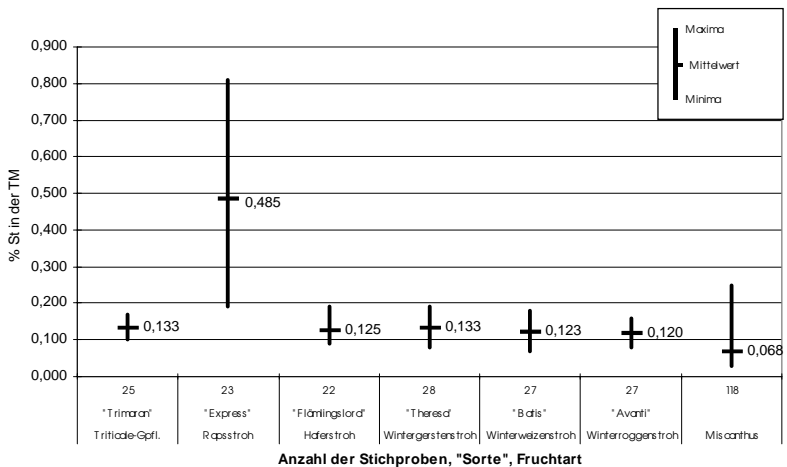


Abbildung 5: Standortvariabilität des Schwefelgehaltes 1999, 16 Standorte in 12 Bundesländern

Verursacht durch die Entschwefelungsmaßnahmen in Kraftwerken treten bei annuellen Pflanzen in den letzten Jahren verstärkt Schwefeldefizite vor allem auf Mangelstandorten auf. Diese werden zunehmend durch eine Schwefelüngung insbesondere bei Raps ausgeglichen. Die

Schwefelgehalte können sich dadurch sowohl bei Raps als auch bei Getreide um ca. 0,05-0,15 % in der TM erhöhen. Dieser Effekt tritt ebenfalls bei einem Austausch der Kaliumchloriddüngung zugunsten einer Kaliumsulfatdüngung auf. Damit ist gleichzeitig eine Senkung des Chlorgehaltes im Brennstoff möglich.

Die Aufnahme von Kalium und Chlor ist bei annuellen Pflanzen durch eine enge Korrelation gekennzeichnet, d. h. Pflanzen mit hohen Chlorgehalten weisen in der Regel auch hohe Kalium- und Natriumgehalte auf (Abb. 6 und 7). Hohe Chlorgehalte treten vor allem in Hafer-, Raps- und Gerstenstroh auf. Roggen-, Triticale- und Winterweizenstroh liegen im allgemeinen auf einem bedeutend niedrigerem Niveau, aber um ca. eine Zehnerpotenz über den Chlorgehalten von naturbelassenem Holz. Aufgrund der mit 0,10 bis 0,20 % Cl in der TM relativ niedrigen Werte von Getreidekörnern, bei denen keine wesentlichen Artenunterschiede vorhanden sind, hat Ganzpflanzengetreide unter den annuellen Pflanzen die niedrigsten Chlorgehalte.

Chlor reichert sich, wenn es in ausreichendem Maße verfügbar ist, bis zur Reife in den Pflanzen auch über deren pflanzenphysiologischen Bedarf hinaus an. Die Beweglichkeit und die Retranslokation der Chlorionen ist in der Pflanze sehr hoch. Von der Gelbreife bis zur Totreife erfolgt eine Verlagerung des Chlors (Abb. 8).

Damit ergeben sich Ansatzpunkte für eine Senkung des Chlorgehaltes durch die Wahl des Erntezeitpunktes. Ganzpflanzengetreide sollte daher zur Totreife geborgen werden. Bei Winterweizen und -roggen kann dieser Zeitpunkt mit erheblichen Kornausfällen (Ertragsverlust) verbunden sein. Triticale mit seinem festen Kornsitz ist schon allein aus diesem Grund die prädestinierte Energiegetreideart. Die hohen Chlorgehalte von Hafer- und Gerstenstroh sind vorrangig darauf zurückzuführen, dass bei diesen Getreidearten die Abreife des Strohs deutlich nach der Abreife des Korns eintritt. Der Mähdrusch erfolgt bei physiologisch unreifem Stroh. Bei Roggen, Weizen und Triticale reifen Stroh und Korn verhältnismäßig gleichmäßig ab, wobei bei allen Getreidearten erhebliche Sortenunterschiede zu verzeichnen sind.

Eine weitere Einflussgröße ist der Fungizideinsatz. Strobilurine, eine relativ neue Wirkstoffgruppe, werden in der landwirtschaftlichen Praxis in zunehmendem Maße eingesetzt. Durch ihre verbesserte fungizide Wirkung erhalten sie das Stroh länger grün, d.h. die Abreife verzögert sich. Zum optimalen Druschtermin können somit bei strobilurinbehandeltem

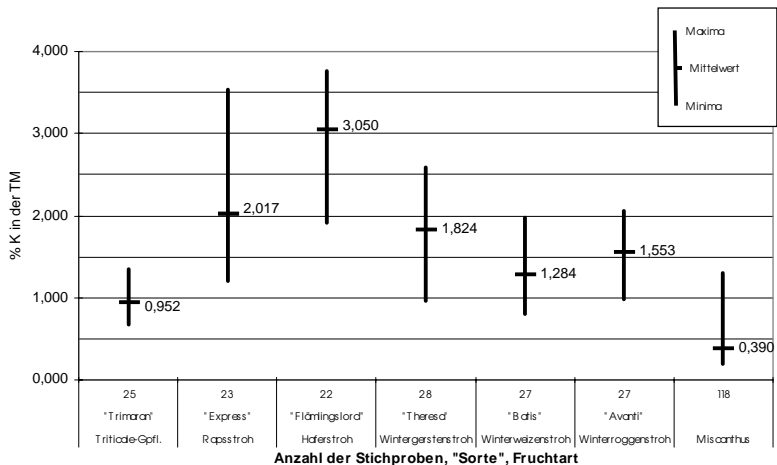


Abbildung 6: Standortvariabilität des Kaliumgehaltes 1999, 16 Standorte in 12 Bundesländern

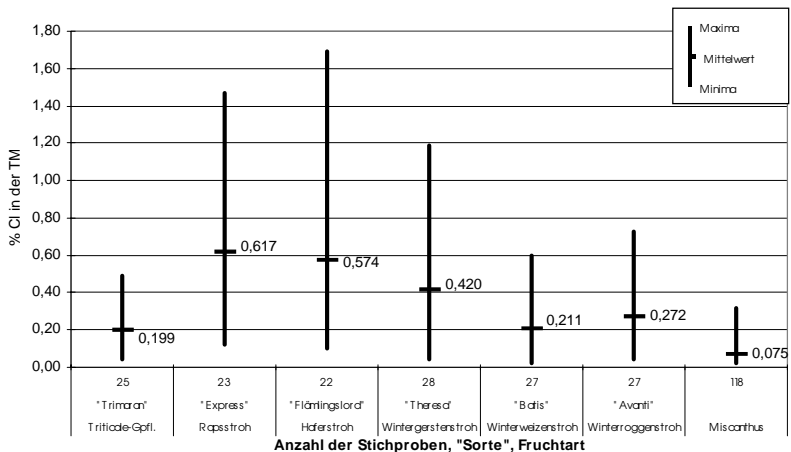


Abbildung 7: Standortvariabilität des Chlorgehaltes 1999, 16 Standorte in 12 Bundesländern

Getreide erheblich höhere Chlorgehalte auftreten als bei unbehandelten bzw. mit „klassischen“ Fungiziden behandelten Partien.

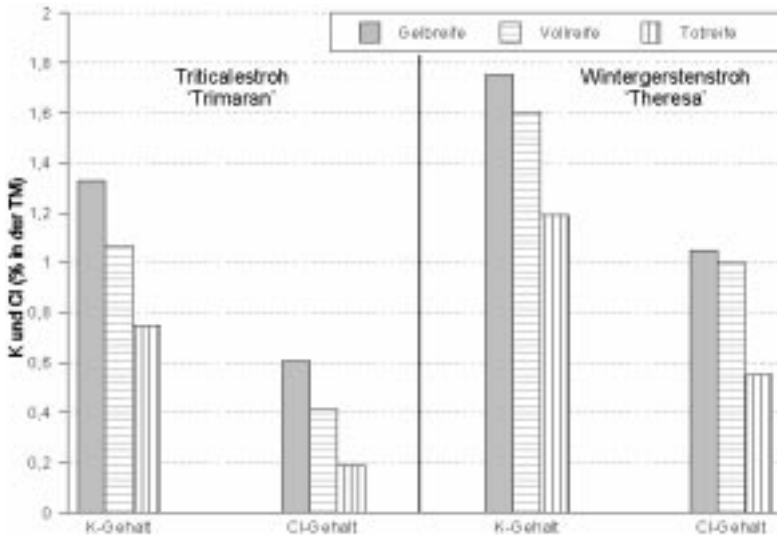


Abbildung 8: Vergleich der Chlor- und Kaliumgehalte von Triticale- und Wintergerstestroh in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt

Der Zeitpunkt, die Höhe und die Form der Kaliumdüngung sind wesentliche Faktoren, die zum einen den Kaliumgehalt, aber auch den Chlorgehalt stark variieren lassen. Eine, von Seiten der Brennstoffverwerter wünschenswerte, Kaliumsulfatdüngung erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis bei Getreide in der Regel nicht, da Kaliumchlorid ein preiswerterer Dünger ist. Bei einem gezielten Anbau von Energiepflanzen sollte daher eine für das Wachstum ausreichende Kaliumversorgung des Bodens als Vorratsdüngung schon zur Vorfrucht verabreicht werden. Bei einer Nutzung von Stroh sind möglichst Schläge auszuwählen, bei denen im Erntejahr keine Kaliumchloriddüngung erfolgte.

Sind die aufgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen seitens der Landwirtschaft nicht durchführbar, sollte das Erntegut zur Absenkung des Chlorgehaltes im Schwad auf dem Feld liegen bleiben. In Abhängigkeit vom Chlorgehalt zur Ernte und dem Wetter während der Feldliegezeit kann der Inhaltsstoff innerhalb von 7 bis 11 Tagen stark reduziert werden. Dieses Verfahren sichert im Erntegut Gehalte von < 0,3 % Cl in

der TM, verursacht aber im Durchschnitt der Jahre wegen der zusätzlichen Arbeitsgänge (Wenden) Kosten von ca. 16 DM/t Erntegut.

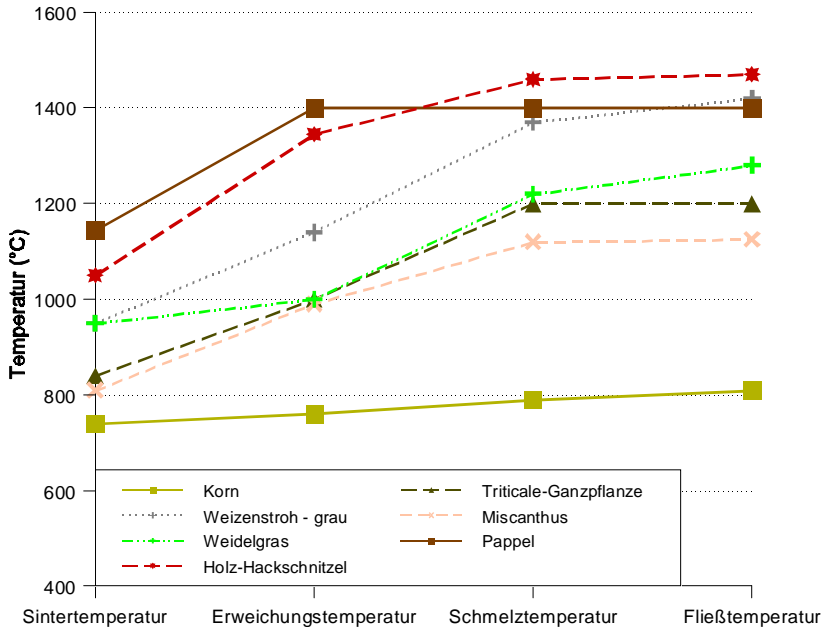


Abbildung 9: Variabilität des Ascheschmelzverhaltens biogener Energieträger (oxidierende Atmosphäre)

Die bestimmende Einflussgröße für das Ascheschmelzverhalten ist die Pflanzenart. Bei Getreidekörnern beginnt das Schmelzen der Asche bei einem sehr niedrigen Temperaturniveau (Abb. 9).

Holz, ob Waldrestholz oder Energieholz aus Plantagen, gibt den oberen, Getreidekorn den unteren Grenzwert an. Stroh, Ganzpflanzengetreide und Gräser bewegen sich zwischen diesen beiden Extremwerten. Raps und graues Getreidestroh nähern sich dem oberen, die Ackergräser dem unteren Temperaturbereich an. Eine eindeutige Einordnung der einzelnen Strohharten ist z. Z. noch nicht möglich. So kann das Ascheschmelzverhalten einer Art in Abhängigkeit vom Standort um bis zu 300 °C variieren.

Bekannt ist, dass Kalium, Aluminium, Natrium, Magnesium und Silizium den Ascheschmelzpunkt beeinflussen. So sollen hohe Kaliumgehalte den Ascheschmelzpunkt absenken. Dem widerspricht jedoch, dass Aschen von Getreidekörnern bedeutend eher schmelzen als Aschen von Stroh. Demgegenüber weisen Getreidekörner aber geringere Kaliumgehalte als Stroh auf. Es müssen somit Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen vermutet werden, wobei möglicherweise dem Silizium eine wesentliche Rolle zukommt.

4 Schlussfolgerungen

Qualitätsanforderungen an halmgutartige Brennstoffe werden vor allem aus der Sicht der Verbrennungsführung, der Emissionen und der Ascheverwertbarkeit gestellt. Bei einer getrennten Erfassung der Flugaschen, weisen die Rostaschen keine überhöhten Schadstoffkonzentrationen auf, sodass eine Verwertung in der Landwirtschaft gegeben erscheint. Die im Vergleich zu Holz sehr niedrigen Ascheschmelzpunkte verlangen jedoch eine grundsätzlich andere Verbrennungsführung, d. h. eine eher kalte Verbrennung, die automatisch die Gefahr erhöhter Kohlenmonoxidemissionen bedingt. Insbesondere Getreidekörner weisen genotypisch bedingt sehr hohe Stickstoffgehalte auf. Wohingegen Miscanthusarten und Getreidestroh unter 0,6 % N in der Trockenmasse liegen. Die relativ hohen Chlorgehalte halmgutartiger Biobrennstoffe bergen die Gefahr hoher PCDD/F- und HCl-Emissionen. Bei Gehalten < 0,3 % Cl in der Trockenmasse, die seitens der Landwirtschaft mit vertretbarem Aufwand realisiert werden können, ist die Gefahr der Überschreitung der Grenzwerte der 17. BImSchV von 0,1 ng I-TEQ/m³ nur minimal gegeben, demgegenüber kann die Einhaltung des Grenzwertes von 30 mg/m³ HCl durchaus Probleme bereiten. Der Einsatz von Absorbern sollte daher für die Zukunft geprüft werden.

Vorerst sollte für die thermische Verwertung halmgutartiger Biomasse vorrangig Winterweizen-, Winterroggen und > Triticalestroh sowie Ganzpflanzengetreide (Triticale) und Miscanthus genutzt werden. Unter Beachtung der aufgezeigten Maßnahmen seitens der Landwirtschaft ist eine weitgehend schadstoffarme Verbrennung möglich, die aber anlagenseitig höhere Aufwendungen verursacht als die thermische Verwertung von naturbelassenem Holz.

Literatur

- /1/ OBERNBERGER, I.: Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Einsatzes von Einjahresganzpflanzen und Stroh zur Fernwärmeerzeugung, Jahresbericht 1997, Technische Universität Graz

Anschrift des Autors:

Dr. Armin Vetter

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Apoldaer Str. 4

D-07778 Dornburg

TLL-Dornburg@t-online.de

Betriebswirtschaftliche Bewertung der Bereitstellung von Stroh und Energiegetreide

G. Reinhold
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1 Problemstellung/Rahmenbedingungen

Der vorrangig durch Anreicherungen der Atmosphäre mit Kohlendioxid hervorgerufene Treibhauseffekt ist zu einer großen Umweltherausforderung für die Menschheit geworden. Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung beschlossen, den CO₂-Ausstoß bis zum Jahre 2005 um 25 % zu reduzieren. Dies kann vor allem durch eine drastische Einsparung von Energie und dem deutlich verstärkten Einsatz regenerativer Energiequellen erfolgen.

Der deutschen Energiemarkt ist in der letzten Zeit durch einen Anstieg des Ölpreises gekennzeichnet. Dieser Anstieg wird im wesentlichen durch folgende drei Faktoren bestimmt:

- Veränderung des Dollarkurses im Bereich von ca. 1,5 DM/\$ auf 2,2 DM/\$,
- Erhöhung des Preisniveaus für Rohöl im Bereich von ca. 18 Dollar/Barrel auf bis zu 35 Dollar/Barrel,
- Einführung der Ökosteuern mit einem Steueranteil von 4 Pf/1 Heizöl.

Auf dem Strompreismarkt war durch die Liberalisierung des Marktes eine deutliche Preisreduktion in den letzten Jahren festzustellen. Allerdings findenden zurzeit eine Preiserhöhung statt, welche vorrangig mit den Wirkungen des Erneuerbare-Energie-Gesetzes, des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes und der Ökosteuern begründet werden.

Die Preisentwicklung bei den Energieträgern wird in Deutschland wesentlich durch die Steuerpolitik beeinflusst (Tab. 1). Hierbei ist festzustellen, dass der Steueranteil bei Heizöl deutlich geringer ausfällt als z. B. bei den Kraftstoffen.

Tabelle 1: Besteuerung von Heizöl und Diesel

| Steueranteil Pf/l (ohne MwSt) | bis 30.3.99 | ab 1.4.99 | ab 2000 | ab 2001 | ab 2002 | ab 2003 |
|----------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| Dieselsteuer | 62 | 68 | 74 | 80 | 86 | 92 |
| Heizölsteuer | 8 | 12 | | | | |
| Wärme-Kraft-Steuer (BHKW) | 8 | 0 ... 8 ^a | | | | |
| DK-Steuer Landwirtschaft | 20,1 ... 26,8 | | (44) ^b | 50 | 50 | 50 |
| Gasölverbilligung | 41,15 | | 0 ... 30 ^b | (30) | (36) | (42) |

a. ab 70 % Wirkungsgrad ist eine Rückerstattung möglich

b. maximal 3000 DM/Betrieb

Im landwirtschaftlicher Bereich ist in Europa eine Überproduktion an Nahrungsmitteln zu verzeichnen. Mit Instrumentarien, wie Flächenstilllegung, Quotenregelung, Agenda 2000 usw. wird versucht der Überproduktion entgegenzuwirken. Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die stoffliche und energetische Nutzung ist somit nicht nur für den einzelnen Landwirt eine beachtenswerte Produktionsalternative, da ja die heutige Zeit durch einen weltweit steigenden Energieverbrauch gekennzeichnet ist.

Bei der Bereitstellung von Biomasse in Form von Stroh oder Energiegetreide besteht eine direkte Konkurrenzbeziehung zu den Kosten für Wärme und damit zum fossilen Energieträger Heizöl. Die Konkurrenz zum Energieträger Strom ist erst in großen Einheiten vorhanden, bei welchem transportökonomische Fragen meist den Einsatz von Stroh und Energiegetreide aus Wirtschaftlichkeitsgründen deutlich erschweren.

Bei der Produktion und energetischen Verwertung von Biomasse sind deshalb die oben genannten Faktoren für den Ölpreisanstieg zu beachten. Die mögliche Lenkungswirkung durch die Steuerpolitik zum Einsatz alternativer Brennstoffe wird bei Heizöl im Gegensatz zu Kraftstoffen wenig genutzt. Dies ist für die Verbrennung von Stroh und Energiegetreide von großer Bedeutung, da der Heizölpreis über den Wärmepreis

einen direkten Einfluss auf die Rentabilität von Strohverbrennungsanlagen ausübt.

2 Verfahren zur Gewinnung halbgutartiger Biomasse

Bei der Bereitstellung halbgutartiger Biomasse für eine energetische Nutzung sind prinzipiell drei Verfahrenslinien zu unterscheiden.

- Die **Häckselgutlinie** stellt lose Biomasse mit einer sehr geringen Dichte bereit. Für Stroh werden Schüttdichten zwischen 40 und 65 kg und für Energiegetreide zwischen 100 und 150 kg/m³ erreicht.
- Die Bereitstellung von Biomasse in **Großballen** erfolgt mit landwirtschaftsüblichen Großballenpressen. Die erreichten Pressdichten liegen bei Strohverarbeitung zwischen 100 und 150 kg/m³ und beim Einsatz von ganzen Energiegetreide zwischen 150 und 230 kg/m³.
- Die höchsten Pressdichten bzw. Schüttdichten werden durch den Einsatz der **Pelletierungstechnologie** erreicht. Hierbei sind selbstfahrende Pelletierer in der Prototypenprobung. Die Pellets haben Schüttdichten in der Größenordnung 550 kg/m³. Eine Ernte als lose Biomasse und stationäre Pelletierung besitzt zwar den Vorteil einer hohen Auslastung der Pelletieranlage, aber den wesentlichen Nachteil der geringen Transporteffektivität durch den Einsatz der Häckselgutlinie.

Unter Beachtung der oben genannten Einschränkungen ist die Bereitstellung von halbgutartiger Biomasse in Form von Großballen als einziges zurzeit verfügbares und auch als effektives Ernteverfahren anzusehen.

Bei der Kalkulation der Bereitstellungskosten ist aus ökonomischer Sicht zu unterscheiden

- in die Ernte des Getreides mit Mähdrescher und einer Bereitstellung des Koppelproduktes Stroh frei Schwad
- und
- in die Energiegetreideernte mit Mähwerk bzw. Schwadmäher. Hierbei sind alle Aufwendungen der Feldproduktion dem Produkt Energiegetreide anzulasten.

3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

3.1 Bereitstellungskosten Stroh

Die Ermittlungen der Bereitstellungskosten Stroh erfolgte auf Grund ihrer folgenden Unterstellungen:

- Der erntbare Strohertrag wird mit 40 dt/ha unterstellt.
- Der Nährstoffwert des Strohes (Brutto 66 dt/ha) und die Kostenvorteile durch Nichteinsatz der Strohreiser (25 DM/ha) sowie die erforderliche Stickstoffgabe zur Strohrottebeschleunigung werden ökonomisch vernachlässigt. Somit liegt das Stroh kostenfrei auf dem Schwad.
- Im Mittel werden 33 % der Stroherntefläche gewendet.
- Die Ernte des Strohes erfolgt mit Quaderballenpresse (Ballengröße 1,2 x 0,8 x 2,4 m) mit 130 kW Schlepper.
- Die erste Transportstufe vom Feld zum Zwischenlager (Entfernung Feld - Zwischenlager 5 km) erfolgt durch Beladen mit Frontlader am Schlepper und Transport in 2 x 12 Ballen pro Transporteinheit (60 kW Schlepper) und ein Einlagern mit Teleskoplader.
- Für die Lagerung im Bergeraum wird eine Investition von 75 DM/m³ bei 1 DM/m³ und Jahr Unterhaltungskosten unterstellt.
- Die zweite Transportstufe (Entfernung Zwischenlager - Heizwerk 7 km) erfolgt durch Beladen mit Teleskoplader (60 kW) und 2 x 12 Ballen pro Transporteinheit (60 kW Schlepper). Die Einlagerung erfolgt durch den Heizwerkbetrieb und wird somit ökonomisch für den Strompreis nicht wirksam.

Unter Beachtung der Kalkulationsgrundlagen des KTBL sowie eigene Erhebungen ergibt sich ohne Zinsansatz, die in Tabelle 2 dargestellte Kostengliederung für die Strohbereitstellung.

Hinsichtlich des Arbeitszeitbedarfs (Lohnaufwendungen) ist zu beachten, dass der Hauptteil der Aufwendungen durch den Transport und Umschlag verursacht wird. Die Feldernte dagegen erfolgt mit geringem Aufwand (0,25 AKh/t).

Die Feldernte verursacht hohe variable und feste Kosten. Weiterhin ist zu beachten, dass mehr als die Hälfte der Kosten (54,5 %) allein durch den Transport verursacht werden. Ähnliche Ergebnisse wurden bereits von BERGER u.a. ermittelt /1/.

Insgesamt ergibt sich unter den gewählten Unterstellungen ein Strohpreis von 103 DM/t Frischmasse. Bei Umrechnungen auf Trockensubstanz ergeben sich Kosten von rund 120 DM/t Trockensubstanz.

Tabelle 2: Kostengliederung der Strohbereitstellung (DM/t)

| | Lohn | Var. Maschinenkosten | Feste Kosten | Summe |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|---------------|
| Feldernte | 5,31 | 10,44 | 14,26 | 30,01 |
| Umschlag/Transport zum Zwischenlager | 18,25 | 7,70 | 5,31 | 31,26 |
| Lagerkosten | - | - | 16,77 | 16,77 |
| Umschlag/Transport zum Heizwerk | 14,27 | 6,10 | 4,35 | 24,72 |
| Summe | 37,83 | 24,24 | 40,69 | 102,76 |

Die Höhe der Kosten für die Strohbereitstellung wird durch vielfältige Parameter beeinflusst. Im Einzelnen sind hierbei zu nennen:

Ballendichte

Während des Betriebes des Strohheizwerkes in Jena, wurde für Stroh eine mittlere Ballendichte von 120 bis 130 kg/m³ festgestellt /2/. Durch die Erhöhung der Ballendichte auf 150 kg/m³ könnten die Kosten um 8 DM/t bedingt durch den reduzierten Transport und Umschlagsaufwand sinken. Weiterhin führt eine Erhöhung der Ballendichte zu sinkenden Ballenverlusten und zu einem geringfügigen Minderverbrauch im Bereich des Bindegarns.

Strohertrag

Nach VETTER ist bei der Ermittlung der Stroherträge zu beachten, dass nur 60 % des Ertrages erntbar sind /3/. Hieraus erklären sich z.T. auch die oft diskutierten sehr unterschiedlichen Stroherträge. Bei reduzierten Stroherträgen von nur 2,5 t/ha die auch durch hohe Stoppeleinlagen bedingt sein können, steigen die Kosten im Vergleich zum Ertrag von 4 t/ha um 13 DM/t.

Transportentfernung

Bei Erhöhung der Transportentfernungen auf 7 km und 10 km im Vergleich zu den 5 km und 7 km werden die Kosten nur geringfügig (3 bis 6 DM/t) erhöht. Es ist zu beachten, dass bei so kurzen Entfernungen der Anteil an Be- und Entladeaufwand die Kosten wesentlich beeinflusst.

Beim Transport vom Feld zum Zwischenlager muss der notwendige Mehraufwand an Transporteinheiten bei größeren Entfernungen einkalkuliert werden. Der Transport vom Zwischenlager zum Heizwerk ist unproblematischer, da dieser außerhalb der Arbeitsspitzen erfolgt.

Biomassezentrallager am Heizwerk

Die Vermeidung der zweiten Transportstufe führt zu ökonomischen Kostenreduktionen von ca. 25 DM/t. Weiterhin entfallen die Lagerkosten für den Landwirt. Diese sind vom Heizwerksbetreiber zu tragen. Auf Grund der Notwendigkeit der Schaffung von Lagerraum am Heizwerk entstehen erhebliche Aufwendungen. Diese liegen meist deutlich über den Aufwendungen bei Nutzung vorhandenen Lagerraumes.

Lagerungsdichte

In Untersuchungen am Strohheizwerk Jena wurde bei 130 kg/m^3 Pressdichte eine Lagerungsdichte im Ballenstapel 98 bis 103 kg/m^3 festgestellt. Weiterhin ergab sich eine Raumausnutzung in der Lagerhalle von 75 bis 85 %. Hieraus folgend ist für ökonomische Kalkulationen eine Lagerungsdichte für Stroh von 80 bis max. 90 kg/m^3 Lagerraum zu unterstellen.

Management

Die Beladepazität wird bei Strohernte und Transportverfahren oft nicht ausgenutzt. Besonders beim Zwischentransport vom Lager zum Heizwerk ist eine straffere Organisation erforderlich, um technologische Kostenreduktionseffekte voll ausnutzen zu können. Die Beladezeiten die zwischen 0,4 und 0,7 Minuten/Ballen erfordern, steigen bei schlechter Organisation zum Teil auf Werte von 2 Minuten/Ballen, welches erheblich zur Kostensteigerung beiträgt.

3.2 Bereitstellungskosten Energiegetreide

Biomasse ist möglichst trocken zu ernten. Bei den Getreidearten bestehen zwischen den Arten und Sorten erhebliche Unterschiede zwischen der Reife von Korn und Stroh. Zielstellung muss eine möglichst gleichmäßige Abreife von Korn und Stroh sein, um die geforderten Trockensubstanzgehalte ($< 20\%$) in der Biomasse zu erreichen. Weiterhin ist ein fester Kornsitze erforderlich, um Biomasseverluste durch Ausfallkörner zu vermeiden. Von allen Getreidearten weist Triticale die beste Eignung als Energiegetreide für eine termische Nutzung auf /4/. Deshalb soll im Folgenden die ökonomische Berechnung am Beispiel von Triticale dargestellt werden.

Die Bereitstellungskosten für Energiegetreide erfordern eine vollständige Beachtung aller Aufwendungen die für die Produktion erforderlich sind (Tabelle 3). Hinsichtlich der Ernte und des Transportes werden die gleichen Prinzipien wie bei der Strohernte angewendet. Die Kalkulation der Aufwendungen erfolgt in Anlehnung an die betriebswirtschaftlichen Richtwerte für die Triticaleproduktion /5/.

In den drei Intensitätsstufen (50 bis 70 dt/ha Kornertrag) wird ein Energieertrag zwischen 42 und 53 MWh/ha bereitgestellt. Die Energiegetreideproduktion ist im Vergleich zur Produktion von Triticale durch höhere Aufwendungen im Düngemittelbereich gekennzeichnet, da die gesamte Biomasse abgefahren wird. Hierbei wird die Rückführung der Biomasseasche /6/ ökonomisch nicht bewertet.

Die variablen Kosten ohne Arbeitserledigung erhöhen sich in der Größenordnung um 120 DM/ha im Vergleich zur Triticalekörnerproduktion. Weiter ist zu beachten, dass die variablen Maschinenkosten ebenso wie die Aufwendungen von Transport und Umschlag erhöht sind.

Die hohe Transportaufwendungen erhöhen den Arbeitszeitbedarf wesentlich auf Werte von 11,6 bis 13,6 Akh/ha. Im Bereich der Festkosten ist eine Kostensteigerung im wesentlichen im Bereich Gebäude und Unterhaltung sowie im Bereich der Abschreibung festzustellen.

Im Ergebnis der Kalkulationen ergeben sich Kosten von 1.932 bis 2.282 DM/ha. Fügt man hierzu den notwendigen Beitrag zum Betriebsergebnis (300 DM/ha) hinzu und saldiert mit der Preisausgleichszahlung von 755 Mark, ergeben sich Produktionskosten von rd. 140 DM/t Energiegetreide (Tabelle 4). Diese Produktionskosten entsprechen einem Brennstoffbereitstellungsaufwand von 3,5 Pf/kWh.

Tabelle 3: Kosten der Energiegetreideproduktion

| | ME | Ertragsniveau (dt/ha) | | |
|---|--------------|-----------------------|------------|------------|
| | | niedrig | mittel | hoch |
| 1. Unterstellungen | | | | |
| Kornertrag | dt/ha | 50 | 60 | 70 |
| K-S-Verhältnis | | 1,1 | 1 | 0,9 |
| Biomassertrag | dt/ha | 105 | 120 | 133 |
| 2. variable Kosten | | | | |
| Saatgut | DM/ha | 97 | 99 | 100 |
| Düngemittel | DM/ha | 312 | 365 | 414 |
| Pflanzenschutzmittel | DM/ha | 108 | 118 | 127 |
| variable Kosten (ohne Arbeitserledigung) | DM/ha | 517 | 582 | 641 |
| variable Maschinenkosten Feldproduktion | DM/ha | 251 | 265 | 278 |
| Transport u. Umschlag | DM/ha | 97 | 106 | 113 |
| Summe variable Kosten | DM/ha | 865 | 953 | 1.032 |
| 3. Arbeitskosten | | | | |
| Arbeitszeitbedarf | | | | |
| - termingebunden | Akh/ha | 11,6 | 12,7 | 13,6 |
| - nicht termingebunden | AKh/ha | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Summe Produktion | DM/ha | 318 | 340 | 359 |
| Leitung und Verwaltung | DM/ha | 127 | 136 | 144 |
| Summe Arbeitskosten | DM/ha | 445 | 476 | 503 |
| 4. Festkosten | | | | |
| Gebäude und Unterhalt | DM/ha | 132 | 151 | 167 |
| Technik Feldwirtschaft | DM/ha | 223 | 223 | 223 |
| Summe AfA | DM/ha | 355 | 374 | 390 |
| Pacht | DM/ha | 158 | 203 | 248 |
| Berufsgenossenschaft u. allg. Betriebsversicherung | DM/ha | 45 | 45 | 45 |
| Betriebssteuern u. Abgaben | DM/ha | 15 | 15 | 15 |
| sonst. allg. Betriebsaufwand | DM/ha | 50 | 50 | 50 |
| Summe Festkosten | DM/ha | 622 | 686 | 747 |

Tabelle 4: Zusammenfassung der Bereitstellungskosten für Energiegetreide
Triticale

| | | Ertragsniveau (dt/ha) | | |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|
| | | niedrig | mittel | hoch |
| variable Kosten | DM/ha | 865 | 953 | 1.032 |
| Arbeitskosten | DM/ha | 445 | 476 | 503 |
| Feste Kosten | DM/ha | 622 | 686 | 747 |
| Summe Kosten | DM/ha | 1.932 | 2.116 | 2.282 |
| Beitrag z. Betriebsergebnis | DM/ha | 300 | 300 | 300 |
| Preisausgleichszahlung | DM/ha | 755 | 755 | 755 |
| Produktionskosten | DM/ha | 1.477 | 1.661 | 1.827 |
| | DM/t | 141 | 138 | 137 |
| | Pt/kWh | 35 | 35 | 34 |

3.3 Bewertung der Biomassekosten

Heizwerke auf Basis von Erdgas und Heizöl haben ein sehr hohes technisches Niveau erreicht. Untersucht man die Kostengliederung in solchen Heizwerken, so lässt sich feststellen, dass die Brennstoffkosten zwischen 50 und 70 % der Gesamtaufwendungen verursachen /7/ (Abb. 1).

Demgegenüber zeigt die Kostengliederung in Biomasseheizwerken, dass die Brennstoffkosten eindeutig einen geringeren Anteil an den Gesamtaufwendungen beanspruchen /8/. Ausgehend von einer Evaluierung bestehender Biomasseheizwerke durch CARMEN im Jahr 2000 ergibt sich für die 12 untersuchten Heizwerke, dass nur 13 bis 40 % der Kosten durch den Brennstoffeinkauf verursacht werden (Abbildung 2). Im Mittel der 12 untersuchten Anlagen ergibt sich ein Anteil von nur 20 %.

Die zeigt erstens, dass der technische Entwicklungsstand von Biomasseheizwerken noch deutliche Reserven erwarten lässt und zweitens das bei der Beurteilung der Rentabilität die Aufwendungen für den Brennstoff bzw. die Brennstoffkosten nicht wie bei den Heizwerken mit fossilen Brennstoffen den absoluten Schwerpunkt bilden.

Wärmekosten fossiler Quellen (Heizöl, Erdgas)

Erdgas/ÖL Invest 50% vom Angebotskatalog (Quelle TEAG)

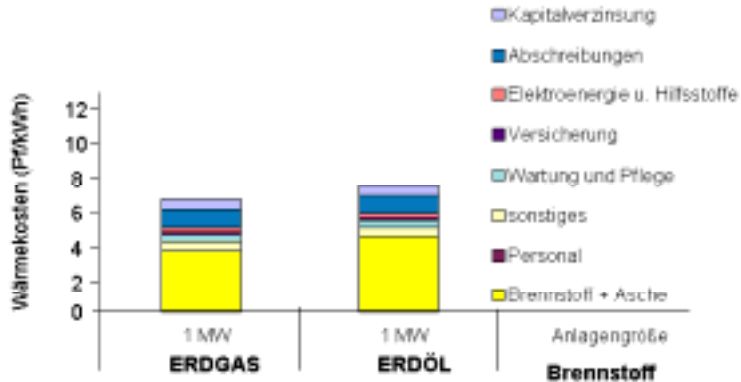


Abbildung 1: Wärmekosten bei Einsatz fossiler Energiequelle (Quelle [7], inhaltlich überarbeitet)

Kostengliederung in Biomasseheizwerken

Quelle: Evaluierung v. Biomasseheizwerken CARMEN 2000

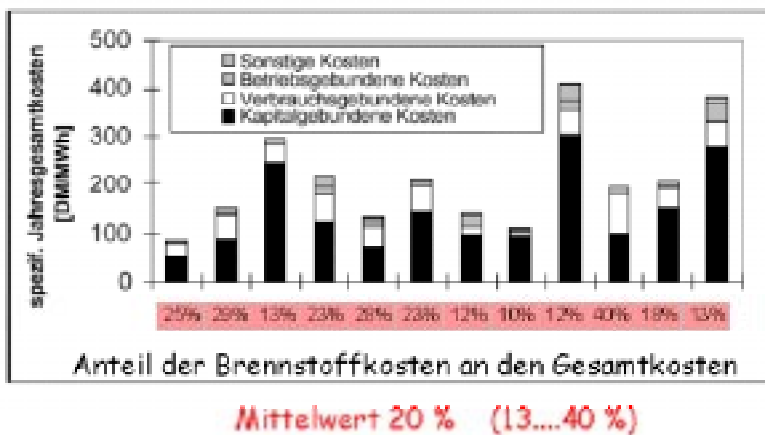


Abbildung 2: Kostengliederung in Biomasseheizwerken (Quelle [9], inhaltlich ergänzt)

Besonders durch Verminderung der Investitionshöhe und durch Maßnahmen zur Senkung der Aufwendungen für Wartung der Anlagen sind Rentabilitätsreserven zu erwarten.

4 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

- Die Kosten für Biomasse werden maßgeblich bestimmt durch die Ertragshöhe, die Effizienz der Verfahrensgestaltung und das Management besonders im Bereich Transport und Umschlag sowie die Lagerungskosten.
- In der Größenordnung ist unter Thüringer Bedingungen mit Aufwendungen von 100 DM/t Stroh bzw. 140 DM/t Energiegetreide zu kalkulieren.
- Betriebliche Effekte wie Nutzung vorhandener Lagerkapazität, Erhöhung der Auslastung vorhandener Technik können deutlich zur Kostenminderung beitragen.
- Der Anteil der Brennstoffkosten an den Gesamtaufwendungen ist bei Bioheizwerken für die Rentabilität der Heizwerke nicht von übergeordneter Bedeutung.
- Forschungsschwerpunkte sollten deshalb besonders auch die Möglichkeiten zur Kostenreduktion im Heizwerkbetrieb bzw. während der Errichtung des Heizwerkes darstellen.

5 Literaturverzeichnis

- /1/ BERGER, W.; BREITSCHUH, G.; REINHOLD, G.:
Strohpreis für Bioheizwerke - Auswirkungen von Verfahrensgestaltung und Feldstückgröße auf die Preisgestaltung. - 108. VDLUFA-Kongress Trier, Kongressband. - VDLUFA-Verlag, Darmstadt. - 1996. - S 461 - 464
- /2/ REINHOLD, G.; BREITSCHUH, G.; VETTER, A.; PILZ, M. :
Jahresbericht 1996/97- Pilot- und Demonstrationsvorhaben "Bioheizwerk Jena". - F/E-Bericht, TLL. - Jena 1997. - 47 S.
- /3/ VETTER, A.:
TLL Jena 2001. - Persönliche Mitteilung
- /4/ ALBRECHT, B.; SCHWABE, I.:
Untersuchungen zur züchterischen Verbesserung von Triticale bezüglich seiner Eignung als Energiepflanze. - F/E-Bericht, TLL. - Jena 1996. - 35 S.
- /5/ DEGNER, J.:
Betriebswirtschaftliche Richtwerte für die Triticaleproduktion.- TLL. - Jena, Eigenverlags 1998. - 14 S.

- /6/ VETTER, A.; KERSCHBERGER, M.; REINHOLD, G.:
Standpunkt zur umweltgerechten Verwertung von Aschen aus Bioheizanlagen.
- TLL Standpunkt, April 1997
- /7/ MENSKY, J.; HILLEMANN, E.:
TEAG Erfurt 1996. - Persönliche Mitteilung
- /8/ REINHOLD, G.:
Einsatzerfahrungen mit Biobrennstoffen am Beispiel des Bioheizwerks in Jena. -
In: Arbeitskreis Energieberatung Thüringen. - Bauhausuniversität Weimar, Mai
1999. - Heft 4/98, S. 61 - 72
- /9/ KRAPF, G.:
Evaluierung bestehender Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen
Energieerzeugung auf Basis Biomasse in der Bundesrepublik Deutschland -
Kurzfassung des Endberichtes. - C.A.R.M.E.N.e.V., Rimpf. - url: [http://
www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)

Anschrift des Autors:

Dr. Gerd Reinhold

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena,

Ref. 620 (Betriebswirtschaft)

Naumburger Str. 98

D-07743 Jena

g.reinhold@jena.tll.de

Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen

H. Hartmann

Technische Universität München, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik

1 Einleitung

Im Zuge der gestiegenen Energiepreise wird die Nutzung biogener Festbrennstoffe zunehmend interessant. Das trifft in besonderem Maße auf die Nutzung in Feuerungsanlagen für häusliche oder kleingewerbliche Anwendungen zu. In diesem Leistungssegment handelt es sich in der Regel um private oder kleingewerbliche Investoren, die sich meist durch eine höhere Entscheidungsbereitschaft und -fähigkeit auszeichnen, so dass die Realisierung von Installationen rascher erfolgen kann.

Neben Holz rückt auch die Nutzung landwirtschaftlicher Brennstoffe wie Stroh, Gras oder andere Halmgüter in die Nähe der Wirtschaftlichkeit. Allerdings ist die Nutzung dieser Brennstoffe mit einer Vielzahl von technischen Problemen und Umweltwirkungen verbunden, die beim Holz nicht auftreten oder zumindest weniger gravierend sind. Diese Nachteile, die größtenteils auf ungünstigere Brennstoffeigenschaften zurückzuführen sind, haben dazu geführt, dass halmgutartige Brennstoffe in der Praxis der Biomassenutzung in Deutschland bisher eine kaum nennenswerte Größenordnung erreicht haben, zumal auch die rechtliche Beurteilung dieser Brennstoffe im Rahmen der aktuellen Emissionsschutzregelungen einige Besonderheiten und Verschärfungen gegenüber den „konventionellen“ Holzbrennstoffen aufweist, die den Einsatz des Halmguts als Brennstoff erschweren.

Im vorliegenden Beitrag sollen die Probleme und technologischen Verfahren, die bei der dezentralen Energienutzung von Halmgut bekannt sind, vorgestellt und die in Frage kommenden Brennstoffe anhand von ausgewählten Messergebnissen bewertet werden.

2 Besonderheiten von Halmgutbrennstoffen

Landwirtschaftliche Festbrennstoffe wie Halmgut (Stroh, Gras, Ganzpflanzengetreide) oder Getreidekörner unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von den Holzbrennstoffen. Das gilt nicht so sehr für den Heizwert, der nur um durchschnittlich 9 % niedriger ist als bei Holz /5/, sondern vielmehr für verschiedene kritische Inhaltsstoffe. Insbesondere beim Aschegehalt werden in der Regel um das 10-fache höhere Werte beim Getreidestroh im Vergleich zum Fichtenholz gemessen. Auch beim Stickstoff-, Kalium- und Chlorgehalt weisen Halmgut oder Getreidekörner stets um ein Vielfaches höhere Werte auf als Holz (Abb. 1). Diese Stoffe sind an der Bildung von Luftschadstoffen beteiligt oder wirken bei der Korrosion und Verschlackung von Feuerraum- oder Wärmeübertragerflächen mit und sind dadurch von besonderer Bedeutung. Für die Frage der technischen Einsetzbarkeit in Feuerungen kommt es aber auch auf das Erweichungsverhalten der anfallenden Aschen an. Auch hier erweist sich Strohasche mit Erweichungspunkten um 1 000 °C als deutlich kritischer als Holz (Abb. 1), bei Getreidekörnern kommt es sogar noch früher zu Ascheverbackungen und Anhaftungen in der Anlage. Feuerungen für Halmgut oder Getreide müssen daher in besonderer Weise für diese kritischen Eigenschaften ausgelegt sein.

3 Anlagentechnik

Aufgrund der vorgestellten ungünstigen Brennstoffeigenschaften weisen Halmgutfeuerungen hinsichtlich verschiedener Merkmale wie Asche- und Schlackeabtrennung, Temperaturführung oder Brennstoffvorbehandlung einige Besonderheiten auf. Deshalb sind die speziell für relativ aschearme Holzbrennstoffe eingesetzten Systeme (z. B. Unterschubfeuerungen) für die Verbrennung von Halmgütern ungeeignet; zumindest ist eine leistungsstarke Entaschung erforderlich. Bestimmte Rostfeuerungen sind dagegen für ein breiteres Brennstoffband – und somit zum Teil auch für Halmgut – einsetzbar. Den Nachteilen der hohen Verschlackungs-

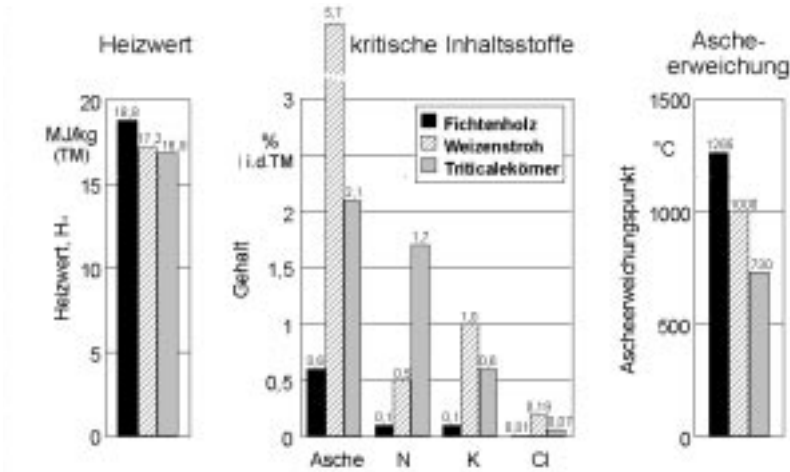


Abbildung 1: Qualitätsmerkmale und kritische Inhaltsstoffe von Holz, Stroh und Getreidekörnern als Brennstoff (Quelle: Mittelwerte der NAWARO-Datenbank /4/)

neigung wird dabei durch Begrenzung der Verbrennungstemperaturen im Glut- oder Bettbereich begegnet (z. B. durch gekühlte Rostelemente, wassergekühlte Brennraumoberflächen). Auch durch das kontinuierliche In-Bewegung-Halten von Brennstoff und Asche (z. B. in Vorschubrostfeuerungen) wird teilweise vermieden, dass einzelne Schlacketeilchen – trotz ggf. eintretender Ascheerweichung – festhaften.

Im Bereich der Wärmeübertrager (vor allem Überhitzer und Hochtemperaturwärmeübertrager von Dampferzeugern) ist die Vermeidung möglicher Schlackeablagerungen allerdings deutlich schwieriger. Zusätzlich können hier Chlor und Alkalien, deren Gehalt bei Halmgutbrennstoffen erhöht ist, am Korrosionsprozess an der Wärmeübertrageroberfläche mitwirken /11/.

Nachfolgend werden die wesentlichen Halmgutfeuerungen dargestellt. Dazu gibt Tabelle 1 eine entsprechende Übersicht.

Chargenweise beschickte Ganzballenfeuerungen. Bei chargenweiser Beschickung wird der Ballen als Ganzes in den Brennraum bzw. auf den Verbrennungsrost transportiert. Die Beschickung kann bei Kleinballen („Hochdruckballen“) für Anlagen mit Füllschacht und seitlichem Unterbrand (Abb. 2, oben) zwar noch von Hand erfolgen, jedoch sind derartige

Tabelle 1: Bauarten von Halmgutfeuerungen und derzeitige Leistungsbereiche (nach [9])

| Feuerungstyp | Leistung in MW | Brennstoff | Aufbereitung zur Beschickung |
|--|--------------------|-------------------------------------|---|
| Chargenweise mechanisch beschickte Ganzballenfeuerung (Beschickung mit Ladefahrzeug) | 0,15-0,5 | Rund- und Quaderballen | keine |
| Chargenweise automatisch beschickte Ganzballenfeuerung ^a | ≥ 3 | Quaderballen | keine |
| Ballenfeuerung mit stirnseitigem Abbrand ("Zigarrenabbrand") | ≥ 3 | Quaderballen | keine |
| Ballenfeuerung mit Ballenteiler | 0,5-3 | Quaderballen | Ballenteilen durch Abscheren von Teilstücken |
| Ballenfeuerung mit Ballenauflöser | ≥ 0,5 | Quaderballen | Ballenauflöser mit Häckselgut oder Langstrohbereitung |
| Halmguttaugliche Schüttgutfeuerungen - Schubbodenfeuerung - Vorschubrostfeuerung | 0,05-3 2,5- >20 | Häckselgut, Pellets, (Quaderballen) | Feldhäcksler bzw. Pelletierung, ggf. Ballenauflöser |

a. In den letzten Jahren wurden keine Neuanlagen mehr ausgeführt.

Systeme aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes und der inzwischen nur noch geringen Verfügbarkeit von Kleinballenpressen kaum noch im Einsatz. Bei den heute gebräuchlichen Ballenmaßen erfolgt die Beschickung mechanisch z. B. mit Frontlader-Schleppern, wobei in den größten Anlagen dieser Bauart bis drei Großballen (Rund- oder Quaderballen) gleichzeitig in den wassergekühlten Brennraum eingebracht werden können. Derartige Anlagen (Abb. 2, unten) sind vor allem in Dänemark im Leistungsbereich von ca. 150 bis 500 kW gebräuchlich, wobei Kesselgrößen mit einem Fassungsvermögen für einen Mini-Großballen oder alternativ 8-10 Hochdruckballen (Kleinballen) dominieren.

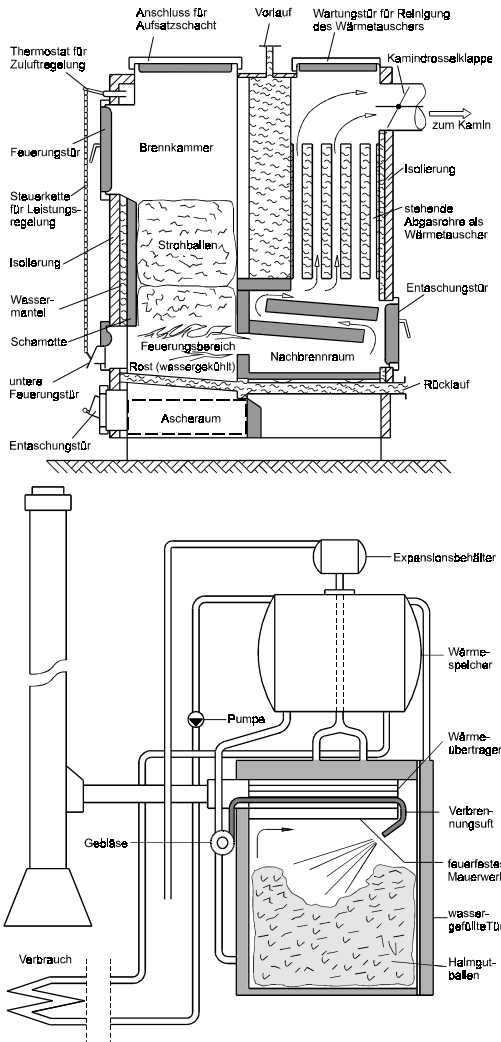


Abbildung 2: Chargenweise beschickte Ganzballenfeuerungen, oben: Unterbrandfeuerung für Holz und Stroh-Kleinballen nach Loibl (nicht mehr gebräuchlich), unten: mechanisch beschickte Großballenfeuerung mit Wärmespeicher nach Faust [1/ (hauptsächlich in Dänemark)

In der Feuerung findet – aufgrund dieser Beschickungstechnik – eine chargenweise Verbrennung mit den ihr typischen Phasen von Flüchtigenabbrand und anschließender Kohleverbrennung statt. Obwohl bei allen derartigen Ballenfeuerungen inzwischen Verbrennungsluftgebläse und eine separate Primär- und Sekundärluftführung üblich sind, kann der Verbrennungsablauf aufgrund dieser diskontinuierlichen Beschickung nur bedingt geregelt werden. Daher können während des Abbrands große Schwankungen von Leistung, Temperatur, Luftüberschuss und Schadstofffreisetzungen (z. B. Kohlenstoffmonoxid) auftreten. Hierin besteht Ähnlichkeit mit den handbeschickten Holzfeuerungen. Deshalb sind chargenweise beschickte Ganzballenfeuerungen möglichst immer unter Vollast zu betreiben (vor allem kleinere Anlagen); sie benötigen daher im Regelfall einen relativ großen Wärmespeicher.

Einem Einsatz solcher Anlagen in Deutschland stehen vor allem die hier zu Lande geltenden deutlich strengeren Emissionsgrenzwerte für CO und Staub entgegen; außerdem können Halmgutfeuerungen über 100 kW Leistung nur nach Durchlaufen eines aufwändigen Genehmigungsverfahrens errichtet werden.

Ballenfeuerungen mit Ballenteiler. Um die Vorteile einer kontinuierlichen Beschickung auch bei Anlagen im kleineren Leistungsbereich realisieren zu können, wurden Halmgutfeuerungen mit Ballenteiler entwickelt; hier wird der meist in Ballenform vorliegende halmgutartige Brennstoff in eine – im Vergleich zum Ballen – leichter dosierbare Form überführt (portioniert). Nach dem Scheibentrennprinzip wird der auf einer Transportbahn herantransportierte Ballen mit Hilfe einer Kipp-einrichtung senkrecht gestellt, damit ein horizontal arbeitendes, hydraulisch vorgeschobenes Trennmesser im unteren Ballenteil eine jeweils ca. 30 cm hohe Scheibe abtrennen kann. Unterhalb dieses Trennmessers arbeitet ein Schubzylinder, der die Ballenscheibe durch eine Rückbrand-schleuse in den Brennraum einer halmguttauglichen Rostfeuerungschiebt, wobei dieser entweder während eines getakteten Vorschubs zigarrenähnlich abbrennt (Abb. 3) oder als Ballenstück komplett in den Feuerraum eingebracht wird. Der Wechsel der Ballenscheibe ist allerdings stets mit Störungen im Verbrennungsablauf verbunden.

Ballenauflöser- und Schüttgutfeuerungen. Bei Anlagen mit Ballenauflösern wird der Strohballen vor der Verbrennung zerkleinert, so dass loses Stroh in kurzen zeitlichen Abständen (Schneckenkontakt) automatisch in die Feuerung gefördert wird, um so eine (quasi-)kontinuierliche Beschickung

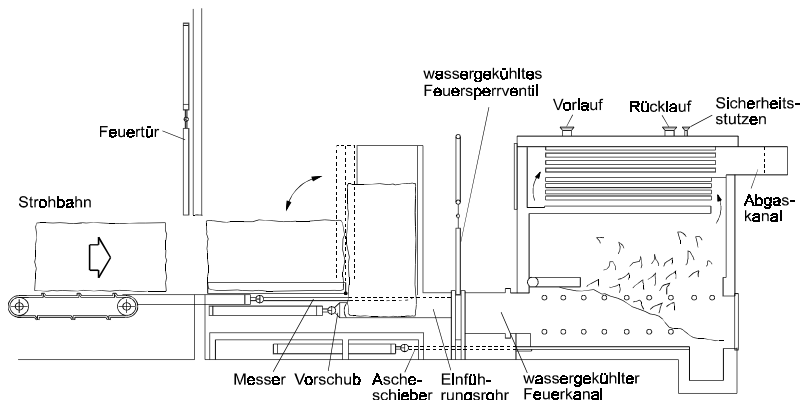


Abbildung 3: Ballenfeuerungen mit Ballenteiler und halmguttauglichem Rost (nach [8])

zu ermöglichen. Der Transport des losen Langguts oder des gehäckselten Halmguts erfolgt teilweise mit Schnecken; häufig kommen jedoch auch Rohrleitungen zum Einsatz, in denen das Material mit Hilfe eines Gebläseluftstroms transportiert wird. Am Rohrende wird das Halmgut in einem Zyklon vom Luftstrom getrennt und über eine Zentralschleuse luftdicht an das Beschickungssystem übergeben. Der Energieverbrauch der Fördergebläse ist zwar höher als bei Schneckenförderung; dafür jedoch bietet die pneumatische Förderung ein hohes Maß an Flexibilität bei der Anordnung des Ballenauflösers zu den übrigen Systemkomponenten.

Die Feuerung selbst kann eine halmguttaugliche Vorschubrostfeuerungsanlage mit Wasserkühlung sein. Kleinere Anlagentypen verwenden auch Schubbodenfeuerungen (Abb. 5), die bereits ab etwa 50 kW Nennwärmeleistung angeboten werden.

4 Schadstoffemissionen im Abgas

In einem mehrjährigen Versuchsprogramm der Landtechnik Weihenstephan wurden umfangreiche Feuerungsversuche an einer automatisch beschickten halmguttauglichen Kleinanlage für Schüttgutbrennstoffe mit 49 kW Nennwärmeleistung durchgeführt (Fa. Ökotherm, Typ Compact C0, vgl. Abb. 5). Am Beispiel dieses Anlagentyps werden nachfolgend die wichtigsten Kenngrößen und Emissionen, die mit verschiedenen Bio-

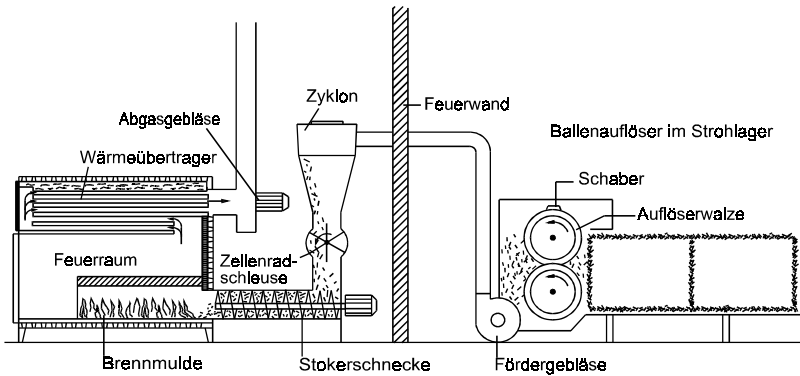


Abbildung 4: Halmgutfeuerung mit Ballenauflöser

masse-Brennstoffen, deren Merkmale in Tab. 2 zusammengestellt sind, sowie unterschiedlichen Aufbereitungsformen (Pellets/Häckselgut) bestimmt wurden, vorgestellt.

4.1 Brennstoffartenvergleich

Bei den erfassten Emissionsgrößen ist fast durchweg eine deutliche Zunahme der Massenkonzentrationen zu beobachten, wenn Nicht-Holzbrennstoffe (Stroh, Ganzpflanze, Heu und Rapspresskuchen) anstelle von Fichtenholz unter vergleichbaren Verbrennungsbedingungen eingesetzt werden. Da bei den Nicht-Holzbrennstoffen die Gehalte an emissionsrelevanten Inhaltsstoffen deutlich höher liegen als beim Holz (hier im wesentlichen N, Cl und Asche, vgl. Tab. 2), zeigt sich dieser Emissionsanstieg insbesondere bei solchen Schadstoffen, die aus eben diesen Brennstoffinhaltsstoffen gebildet werden. Beispielsweise steigen die Stickstoffoxid-Emissionen bei Einjahrespflanzenbrennstoffen im Durchschnitt um das 2- bis 4-fache gegenüber Holz an. Noch höher fällt die Zunahme bei den Staubemissionen aus. Sie steigt durchschnittlich um das 5-fache, wobei es im Submikronbereich (aerodynamischer Partikeldurchmesser $< 1 \mu\text{m}$) zu einer überproportionalen Emissionszunahme kommt (Abb. 7).

Weitaus drastischer als bei NO_x und Staub ist jedoch die Zunahme bei den chlorhaltigen Schadstoffemissionen. Das liegt im Wesentlichen

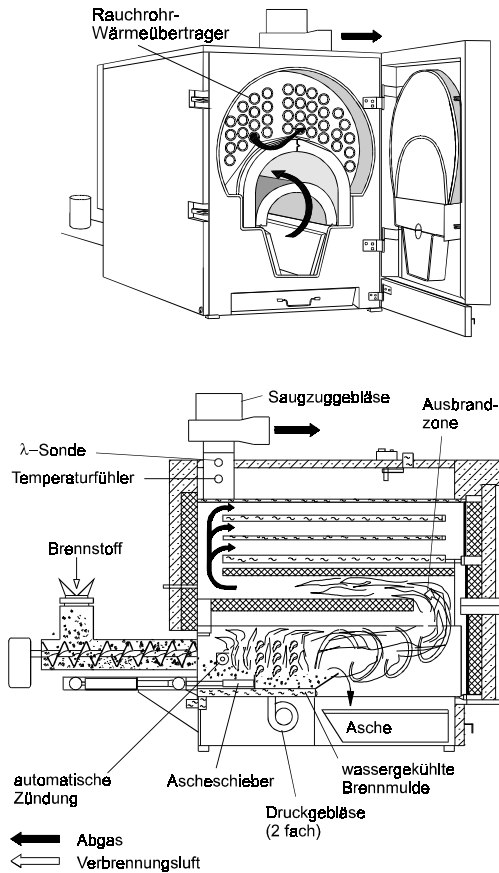


Abbildung 5: Schubbodenfeuerung (49 kW) mit wassergekühlter Brennmulde, hier ohne automatische Entaschung [7]

daran, dass die Unterschiede zwischen den Nicht-Holzbrennstoffen und dem Referenzbrennstoff Fichtenholz gerade beim Chlorgehalt stärker ausgeprägt sind als z. B. beim Stickstoff- und Aschegehalt. Unter den erfassten chlorhaltigen Emissionen werden diese Unterschiede besonders bei den anorganischen Chlorverbindungen (gemessen wurde HCl) sichtbar. Hier wurden bei den Nicht-Holzbrennstoffen gegenüber dem Fichtenholz 16- bis 107-fache Konzentrationszunahmen bestimmt, wobei der

Tabelle 2: Merkmale der eingesetzten Brennstoffe /7/
(FM Frischmasse, TM Trockenmasse)

| Brennstoffart | Form ^a | Wassergehalt ^b % FM | Aschegehalt % TM | Elementgehalte % TM | | |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|------|-------|
| | | | | N | K | Cl |
| Fichtenholz | Hä | 7-20 | 1,0 | 0,16 | 0,08 | 0,004 |
| Weizenstroh | Pe | 11 | 6,4 | 0,92 | 1,12 | 0,206 |
| | Hä | 21 | 6,5 | 0,69 | 0,88 | 0,150 |
| Heu (Landsch.- pflege) | Pe | 12 | 7,9 | 1,10 | 0,91 | 0,289 |
| | Hä | 17 | 6,5 | 1,17 | 0,87 | 0,168 |
| Triticale Ganz- pflanze | Pe | 13 | 3,8 | 1,22 | 0,50 | 0,058 |
| | Hä | 20 | 3,2 | 1,80 | 0,90 | 0,139 |
| Rapspress- kuchen | Hä | 11 | 6,2 | 4,97 | 1,60 | 0,019 |

- a. gehäckseltes (Hä) oder pelletiertes (Pe) Halmgut von der gleichen Anbaufläche
b. Wassergehalt zum Zeitpunkt der Verbrennung

Rapspresskuchen aufgrund seines vergleichsweise niedrigeren Chlorgehaltes das untere Ende dieser Bandbreite markiert.

Neben dem erhöhten Risiko der HCl-Bildung zeigen die Versuchsergebnisse auch, dass beim Einsatz von Nicht-Holzbrennstoffen ein beträchtliches Potential zur Bildung und Emission von hochtoxischen organischen Chlorverbindungen besteht. Das wird sowohl bei der Emission an polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F) als auch bei der Emission an chlorierten Kohlenwasserstoffen (gemessen wurden die polychlorierten Benzole und Phenole, die hier nicht dargestellt sind) sichtbar, diese Messgrößen sind zudem auch eng miteinander korreliert /7/. Generell besteht eine Abhängigkeit der PCDD/F-Emission vom Chlorgehalt (Abb. 8). Das führt dazu, dass bei Halmgütern gegenüber Holz deutlich höhere Dioxin-Emissionen auftreten. Beispielsweise wurde für Weizenstroh und Landschaftspflegeheu eine deutliche Konzentrationszunahme um durchschnittlich das 13- bzw. 17-fache gegenüber Fichtenholz gemessen (Abb. 6, unten links). Positiv fällt hier lediglich die Triticale-Ganzpflanze auf (vgl. auch Abb. 8). Trotz

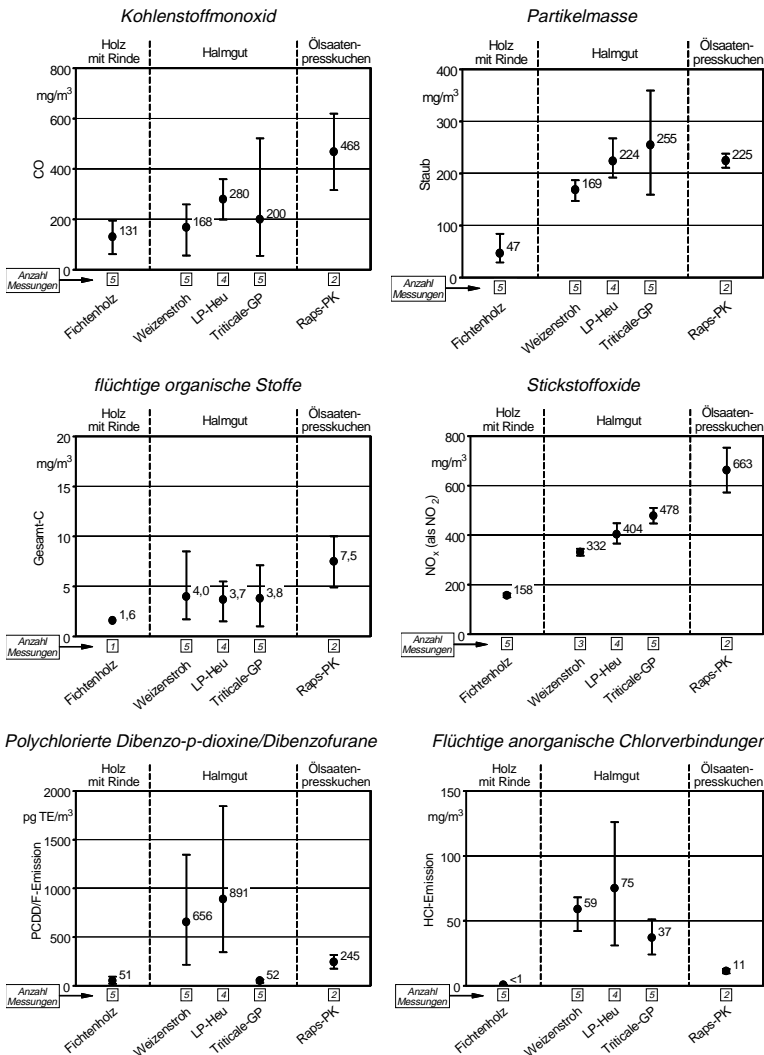


Abbildung 6: Schadstoffemissionen beim Einsatz verschiedener Brennstoffarten in einer halmguttauglichen Kleinf Feuerungsanlage (49 kW) bezogen auf trockenes Abgasvolumen im Normzustand bei 13 % O₂. Heizlast: 100 %; Aufbereitungsform und Wassergehalt (w) der Brennstoffe: Hackgut, w=7-20 % (bei Holz); Häckselgut, w=17-21 % und Pellet, w=10-13 % (bei Halmgut); Pellet, w=11 % (bei Ölsaatenpresskuchen) [7]

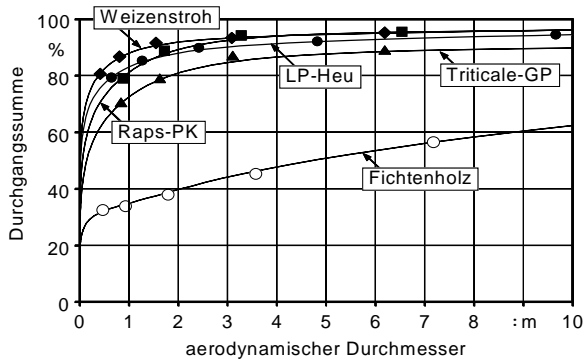


Abbildung 7: Verteilungssummen der im Flugstaub gemessenen Partikelkollektive bei unterschiedlichen Brennstoffen in einer 49 kW Schubbodenfeuerung – Mittelwerte aus je zwei Einzelmessungen [7]

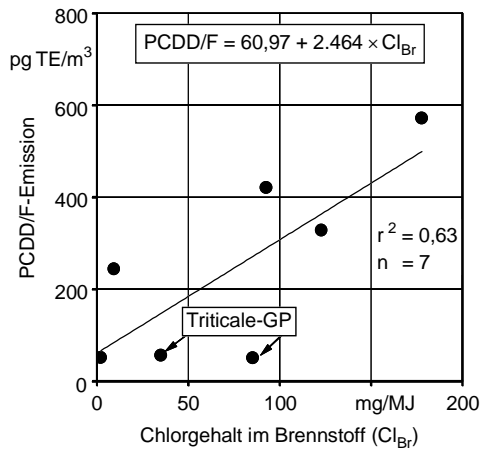


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen der PCDD/F-Emission und dem Chlorgehalt im Brennstoff in einer halmguttauglichen 49 kW Schubbodenfeuerung (bei Nennwärmeleistung) [7]

erhöhtem Brennstoff-Chlorgehalt liegen die PCDD/F-Emissionen bei diesem Halmgutbrennstoff auf dem Niveau von Fichtenholz. Die geringe Zunahme bei Rapspresskuchen ergibt sich dagegen auch hier – wie bei

der HCl-Emission – aus dem insgesamt geringeren Brennstoff-Chlorgehalt (im Vergleich zum Halmgut).

Die Halmgutbrennstoffe und der Rapspresskuchen zeigen darüber hinaus auch Nachteile bei den Emissionen an CO , C_nH_m (Abb. 6) und PAK (nicht dargestellt, vgl. hierzu /7/), bei denen es sich um Produkte einer unvollständigen Brennstoffumsetzung handelt. Bei den genannten Brennstoffen nehmen die Emissionen gegenüber dem Fichtenholz zu. Diese Zunahme ist jedoch weniger darauf zurückzuführen, dass die Verbrennung bei Nicht-Holzbrennstoffen grundsätzlich weniger vollständig als bei Holz abläuft. Im Gegenteil, bei den Verbrennungsversuchen mit Halmgut werden phasenweise häufig niedrigere Emissionswerte beobachtet, wenn die Verbrennungsreaktionen ungestört ablaufen. Allerdings führen die intermittierenden Bewegungen des Ascheschiebers, der für die Halmguttauglichkeit der Anlage eine wichtige Voraussetzung darstellt, zu zyklisch wiederkehrenden Emissionsspitzen, die zum Anstieg der Vierstundenmittelwerte führen. Aufgrund des niedrigeren Ascheschmelzpunktes der Nicht-Holzbrennstoffe /4/ muss dieser Schieber für einen Dauerbetrieb mit Nicht-Holzbrennstoffen auf eine deutlich höhere Taktfrequenz als bei Holz eingestellt werden, um die Ascheräumung zu bewerkstelligen und mögliche Anbackungen und Verschlackungen im Feuerraum zu vermeiden. Somit geht die Emissionszunahme bei CO , C_nH_m und PAK bei Nicht-Holzbrennstoffen zum großen Teil auf deren ungünstigeren Aschegehalt und Ascheschmelzverhalten zurück.

4.2 Vergleich der Aufbereitungsformen (Pellets/Häckselgut)

Pelletierte Halmgutbrennstoffe weisen aufgrund ihrer hohen Schüttdichte (hier zwischen 510 und 580 kg/m^3) vielfältige logistische Vorteile auf. Bedingt durch die günstigen physikalischen Eigenschaften werden den Halmgutpellets zudem auch Vorteile bei den Schadstoffemissionen – hier vor allem beim Staubausstoß nachgesagt.

Aufgrund der Ergebnisse aus der vorgestellten Untersuchung /7/ kann von einem solchen Trend jedoch nicht generell ausgegangen werden. Statt dessen ergibt der durchgeführte Vergleich zwischen Pellets und Häckselgut, für den insgesamt drei Halmgutarten (Stroh, Heu und Ganzpflanze) verwendet worden waren, ein uneinheitliches Bild bei den betrachteten Emissionsgrößen.

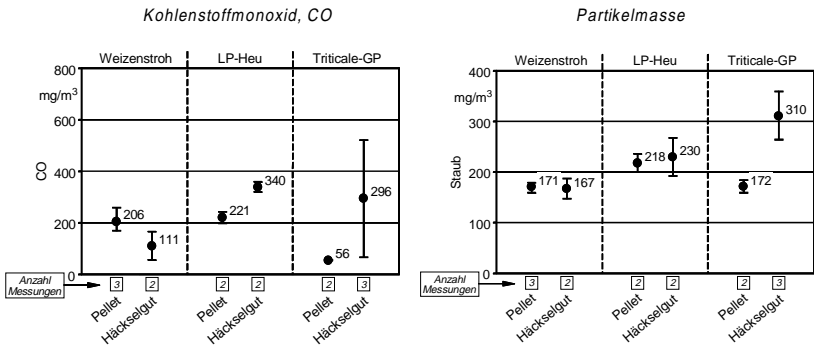


Abbildung 9: Schadstoffemissionen beim Einsatz unterschiedlicher Aufbereitungsformen von Halmgutbrennstoffen in einer Schubbodenfeuerung (49 kW) – Dargestellt sind Mittelwerte und Spannweiten aus mehreren Einzelmessungen, angegeben als Vierstundenmittelwerte, bezogen auf trockenes Abgasvolumen im Normzustand bei 13 % O₂. Heizlast: 100 %; Brennstoff-Wassergehalt: $w = 10-13$ % (Pellet), $w = 17-21$ % (Häckselgut)

Allgemein lässt sich feststellen, dass bei der Verbrennung von Pellets ein über einen längeren Zeitraum stabiler Betriebszustand auf niedrigerem Emissionsniveau möglich ist. In den meisten Fällen lässt sich daher der CO-Ausstoß auf ein niedrigeres Niveau einregeln, als bei Häckselgut (Abb. 9) – eine Beobachtung, die auch durch eine Untersuchung an einer größeren Schubbodenfeuerung (210 kW) bestätigt wird /10/.

Entgegen den Erwartungen sind jedoch derartige Vorteile beim Staubausstoß nicht erkennbar. Ungleichmäßige Betriebsbedingungen, die bei Häckselgut häufiger auftreten, können zwar auch beim Staub zu Emissionsspitzen führen (vgl. Triticale-Ganzpflanze in Abb. 9), ihre Wirkung auf die Höhe des Staubausstoßes ist aber insgesamt weniger ausgeprägt als beim CO. Die Tatsache, dass den Pellets hinsichtlich dieses Parameters keine generellen Vorteile zuzusprechen sind, wird auch durch die genannte Untersuchung an einer 210 kW Schubbodenfeuerung bestätigt /10/. Darin hatten die Versuche mit pelletiertem Getreideganzpflanzenbrennstoff sogar fast durchweg zu einem Emissionsanstieg gegenüber dem parallel gemessenen Häckselgut geführt (Abb. 10).

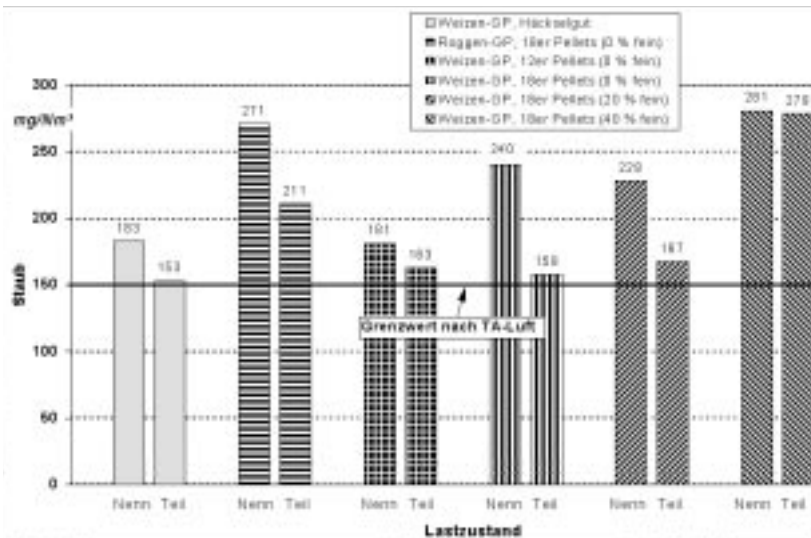


Abbildung 10: Staubemission beim Einsatz von Ganzpflanzengetreide (Roggen-GP, Weizen-GP) in einer automatisch beschickten Schubbodenfeuerung (210 kW) bei unterschiedlicher Brennstoffaufbereitung (Häckselgut, 12 und 18 mm Pelletdurchmesser) und unterschiedlichen Pelletqualitäten. Mittelwerte im Rohgas (vor Multizyklon) aus je drei Wiederholungsmessungen; Nennwärmeleistung 100 % und Teillast 50 % Heizlast, Werte bezogen auf 11 % O₂/10/

Wie beim Staub lassen sich auch bei Stickstoffoxid (NO_x) keine durchweg vorteilhaften Wirkungen durch eine Pelletierung des Halmgutbrennstoffs nachweisen (Abb. 9). Hierin besteht ebenfalls Übereinstimmung mit der vorgenannten Untersuchung /10/. Ähnliches gilt auch für die Emissionen an PAK und chlorhaltigen Schadstoffen /7/.

Pelletqualität. Auch der Einfluss der Pelletqualität auf den Gesamtstaubausstoß ist bei derartigen Schubbodenfeuerungen offenbar relativ gering. Das bestätigen Untersuchungen mit pelletierten Getreideganzpflanzenbrennstoffen (Winterweizen, Winterroggen), die nach Absiebung und Zumischung unterschiedlicher Feinanteile in definiert abgestuften Qualitäten (0, 20 und 40 % Feingehalt) verwendet wurden. Die Staubemission wurde lediglich bei sehr hohen Feingehalten von 40 % negativ beeinflusst (Abb. 10).

Staubemission wurde lediglich bei sehr hohen Feingehalten von 40 % negativ beeinflusst (Abb. 10).

Die in Abb. 10 dargestellten Ergebnisse zeigen auch, dass Teillastbetriebszustände (hier 50 % der Nennwärmeleistung) sich vorteilhaft auf den Gesamtstaubausstoß auswirken. Hierin besteht Übereinstimmung mit Beobachtungen bei Scheitholz-, Hackschnitzel- oder Holzpelletfeuerungen, bei denen der Gesamt-Staubausstoß mit der Heizlast durchweg abnimmt /5/. Der Staubausstoß wurde allerdings auch hier nicht durch den Aufbereitungsschritt der Pelletierung verringert; die ursprüngliche Annahme, dass der Einsatz von Pellets aufgrund ihrer hohen Einzeldichte möglicherweise zur Ausbildung eines kompakteren Glutbettes führt, in dem die Feianteile und Aschepartikel besser festgehalten werden, anstatt vom Gasstrom als Staubemission mit dem Rauchgas mitgerissen zu werden, konnte somit bisher nicht bestätigt werden.

5 Wirkungsgrad und Aschequalität

Wirkungsgrad. Beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad sind die Unterschiede, die sich zwischen den einzelnen Brennstoffen ergeben, relativ gering (Abb. 11). Die in den dargestellten Versuchen verwendete Kleinanlage weist bei Holzhackgut, für welches sie offenbar optimiert worden war, stets einen leicht (um ca. 1 bis 1,5 Prozentpunkte) höheren Wirkungsgrad auf. Pelletiertes Material erhöht den Wirkungsgrad ebenfalls nur leicht gegenüber Häckselgut; wodurch die bei der Pelletierung aufgewendete Primärenergie (ca. 4 % der im Brennstoff gebundenen Energie, vgl. /3/) zumindest teilweise kompensiert wird. Wirkungsgradunterschiede bis ca. 2 Prozentpunkte liegen jedoch im Rahmen der üblichen Messwertschwankungen und sollten daher nicht überinterpretiert werden.

Aschequalität. Während sämtliche hier betrachteten Halmgutbrennstoffe bei den Abgasemissionen fast ausschließlich Nachteile gegenüber dem Holz erkennen lassen, müssen ihre Aschen weitgehend günstiger beurteilt werden. Zumindest trifft dies auf die Feuerraumasche zu, die ca. 85 % bis 95 % der Gesamtasche ausmacht. Beispielsweise liegt der PAK-Gehalt der Nicht-Holzasche um rund das 8fache niedriger als bei der Fichtenholzasche und auch der Ausbrand ist höher /7/. In den Aschen wiederholen sich allerdings die schon im Abgas beobachteten Brennstoffunterschiede hinsichtlich des PCDD/F-Gehalts; die chlorreichen Brenn-

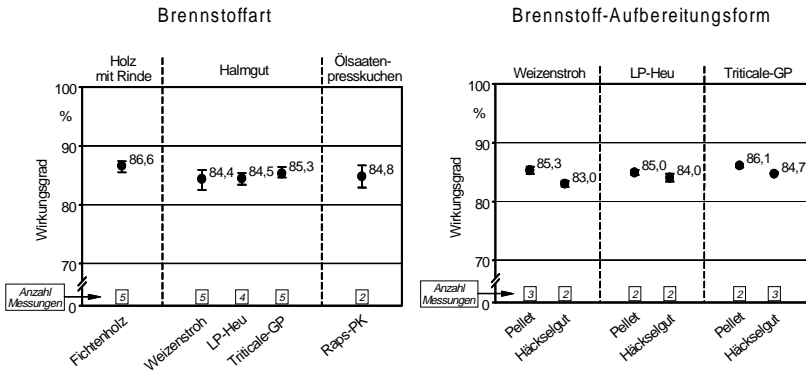


Abbildung 11: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Brennstoffen und Aufbereitungsformen in einer halmguttauglichen 49 kW Schubbodenfeuerung (Messungen bei Nennwärmeleistung) [7]

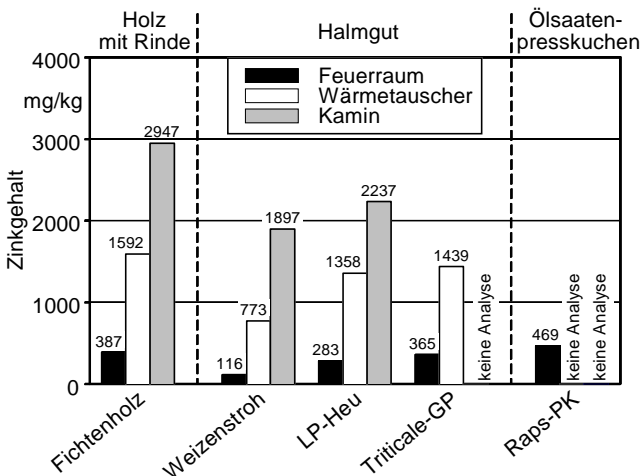


Abbildung 12: Schwermetallanfall am Beispiel der Zinkgehalte in Aschen aus verschiedenen Abscheidungsbereichen und von unterschiedlichen Biomassebrennstoffen in einer halmguttauglichen Schubbodenfeuerung (49 kW)

stoffe Weizenstroh und Landschaftspflegeheu zeigen auch bei den Aschen die höchsten PCDD/F-Gehalte.

Bei den untersuchten Schwermetallen ist eher mit Vorteilen für Halmgutbrennstoffe zu rechnen, wenngleich diese in der dargestellten Untersuchung aufgrund der geringen Gehaltsunterschiede in den Brennstoffen nicht zu Tage traten. Naturbelassene Brennstoffe aus Einjahrespflanzen weisen aber tendenziell niedrigere Schwermetallgehalte auf als Waldholz /4/. Das liegt zum einen an der langen Umtriebszeit, in der der Wald die Schwermetalleinträge aus der Atmosphäre akkumuliert, und zum anderen an den niedrigen pH-Werten der Waldböden, wodurch sich die Schwermetalllöslichkeit und damit auch die Pflanzenaufnahme erhöht.

Wie bei Großanlagen erscheint auch bei kleineren Halmgutfeuerungen eine nach Anfallort getrennte Ascheabscheidung geboten, da die Aschen aus den Wärmetauschern und dem Kaminsystem auch bei Kleinanlagen kritische Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Das wird am Beispiel des Zinkgehalts in Abb. 12 dargestellt. Die zu deponierenden Wärmetauscher- und Kaminaschen sind mengenmäßig jedoch unbedeutend, verglichen mit den relativ gering belasteten Feuerraumaschen.

6 Rechtliche Rahmenbedingungen

Abweichend von den Rahmenbedingungen für Holzbrennstoffe gelten für Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe besondere rechtliche Anforderungen und Einsatzbedingungen. Anlagen für die Nutzung solcher Brennstoffe sind schon ab 0,1 MW Feuerungswärmeleistung genehmigungspflichtig gemäß 4.BimSchV (Sp. 2 Abs. 1.3). Bis 100 kW wird hierfür noch das sogenannte "vereinfachte" Verfahren angewendet, das heißt, dass bei Planung und Errichtung der Anlage auf eine öffentliche Auslegung zur Bürgerbeteiligung gemäß BimSchG § 10 verzichtet werden kann. In der Praxis stellt jedoch auch dieses vereinfachte Verfahren eine – verglichen mit Holzfeuerungen, die noch bis 1 000 kW genehmigungsfrei sind – relativ große Hürde dar, die dazu führt, dass Strohfederungen zwischen 100 und ca. 1 000 kW Leistung in Deutschland nahezu nicht vorkommen.

Die Biomasse-Feuerungsanlagen müssen die Grenzwerte der jeweils gültigen Emissionsvorschrift einhalten. Bis 100 kW Nennwärmeleistung gelten beim Stroh die Begrenzungen der 1.BimSchV mit Kohlenmonoxid(CO)-Werten bis 4 000 mg/Nm³ und für Staub bis 150 mg/Nm³

(jeweils bezogen auf Abgas im Normzustand bei 13 % O₂). Ab 100 kW Leistung verschärfen sich diese Grenzen, da für die Schadstoffkonzentration im Abgas nun der Sauerstoff-Bezugswert der relevanten TA-Luft von 11 % O₂ gilt; dazwischen liegt der Faktor 1,25, d. h. der Staubgrenzwert von 150 mg/Nm³ bei 11 % O₂ entspricht einer Abgaskonzentration von 120 mg/Nm³ bei 13 % O₂. Zusätzlich müssen die genehmigungspflichtigen Strohfeuerungen (über 100 kW) auch Begrenzungen bei den organischen Kohlenstoffverbindungen sowie bei Stickstoffoxiden (NO_x) einhalten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen [2] (Im Rahmen der derzeit laufenden Novellierung der TA-Luft ist in Kürze mit weiter verschärften Grenzwerten für Staub, CO und NO_x und zusätzlichen Stoffen zu rechnen)

| Anlagen-nennleistung | relevante Vorschrift | Bezugs-sauerstoff Vol. % O ₂ | Emissionsbegrenzung | | | |
|--|----------------------|---|-------------------------|---|--|-----------------------------|
| | | | CO (g/Nm ³) | Ges.-C ^a (mg/Nm ³) | NO _x ^b (mg/Nm ³) | Staub (mg/Nm ³) |
| Emissionswerte bei der Verfeuerung von naturbelassenem Holz: | | | | | | |
| 15 – <50 kW | 1. BImSchV | 13 | 4 | - | - | 150 |
| 50 – <150 kW | 1. BImSchV | 13 | 2 | - | - | 150 |
| 150 – <500 kW | 1. BImSchV | 13 | 1 | - | - | 150 |
| 500 – <1000 kW | 1. BImSchV | 13 | 0,5 | - | - | 150 |
| 1 – <5 MW | TA Luft | 11 | 0,25 ^d | 50 | 500 ^c | 150 |
| 5 – <50 MW | TA Luft | 11 | 0,25 | 50 | 500 ^c | 50 |
| Emissionswerte bei der Verfeuerung von Stroh und ähnlichen pflanzlichen Stoffen: | | | | | | |
| 15 – <100 kW | 1. BImSchV | 13 | 4 | | - | 150 |
| 100 kW – <5 MW | TA Luft | 11 | 0,25 ^d | 50 | 500 ^c | 150 |
| 5 – <50 MW | TA Luft | 11 | 0,25 | 50 | 500 ^c | 50 |

- Die Emission flüchtiger organischer Kohlenstoffverbindungen wird als "Gesamtkohlenstoff" (Ges.-C) angegeben.
- angegeben als Stickstoffdioxid (NO₂)
- Für Wirbelschichtfeuerungen > 20 MW_{therm} oder für zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen gilt ein Grenzwert von 300 mg/Nm³.
- Bis 2,5 MW Feuerungsleistung gilt der Grenzwert nur bei Betrieb mit Nennlast.

Automatisch beschickte Anlagen für Stroh(ähnliche)-Brennstoffe müssen die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte im Betrieb wiederkehrend nachweisen. Bei strohtauglichen Feuerungen unter 100 kW (Holzfeuerungen: unter 1 000 kW) erfolgt diese Überwachung jährlich durch den Kaminkehrer; sie ist mit Kosten von ca. 100,- €/a verbunden. Genehmigungspflichtige Anlagen werden gemäß BimSchG §28 dagegen nach der vorgeschriebenen Erstmessung nur alle 3 Jahre überprüft. Da diese Messung aber nicht – wie bei den genehmigungsfrei errichteten Anlagen – vom Kaminkehrer, sondern von einem speziellen hierfür zugelassenen Prüfinstitut durchgeführt wird, sind die anfallenden Kosten meist um mehr als das 15-fache höher, zumal dabei eine Vielzahl weiterer Messgrößen erfasst wird.

Unsicherheit besteht außerdem bei der Beurteilung von Körnern als zulässiger Brennstoff in Kleinanlagen (unter 100 kW). Getreide- oder Rapskörner werden nicht ausdrücklich unter den Regelbrennstoffen der 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung genannt; inwieweit sie als „Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe“ (gemäß Ziffer 8 in §3 (1) der 1.BImSchV) gelten können, wird in Deutschland regional unterschiedlich interpretiert.

7 Schlussfolgerungen

Aufgrund der vorgestellten Messungen, Erfahrungen und Rahmenbedingungen werden nachfolgend die wichtigsten Schlussfolgerungen zusammengestellt.

Technische Konzepte:

- Bei den Kleinf Feuerungen werden nur wenige Systeme mit Strohtauglichkeit angeboten.
- Aufgrund unsicherer Marktchancen und zunehmend verschärfter Umweltauflagen ist die Weiterentwicklung derartiger Anlagen in Deutschland behindert.

Betrieb und Emissionen:

- Bei Halmgut handelt es sich um einen – im Vergleich zu Holz – deutlich problematischeren Brennstoff, dessen Eigenschaften und

Inhaltsstoffe in Kleinfeuerungen ohne sekundäre Abgasreinigung in der Regel zu erhöhten Schadstoffemissionen führen.

- Als kritischste Schadstoffkomponente bei der Halmgutverbrennung erweist sich der Staub, zumal es sich dabei überwiegend um Submikronpartikel ($< 1 \mu\text{m}$) handelt und diese Stäube gleichzeitig ein Transportmittel und Kondensationskeime für die ebenfalls erhöhten Konzentrationen aromatischer und chlorhaltiger organischer Stoffe (PAK, PCDD/F) darstellen.
- Während beim Kohlenmonoxid(CO) die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen der 1.BimschV und sogar der TA-Luft auch mit Halmgut möglich ist, ist dies beim Staub ohne sekundäre Entstaubungsmaßnahmen kaum zuverlässig denkbar. Das gilt insbesondere vor dem Hintergrund der anstehenden Grenzwertverschärfungen im Bereich der TA-Luft.
- Die Pelletierung des Brennstoffs führt nicht zuverlässig zu Emissionsverbesserungen und stellt für das Hauptproblem (Staub) keinen sinnvollen Lösungsweg dar. Gleichwohl kann die Pelletierung aufgrund der Vereinfachung der Beschickungsprozesse als eine Art Schlüsseltechnologie für kleinere Strohfeuerungen angesehen werden.
- In den Aschen aus dem Wärmetauscher und Kamin sind verschiedene Schadstoffe (Schwermetalle und organische Kohlenstoffverbindungen) stark angereichert; diese Aschefractionen sollten daher – sofern sie bauartbedingt getrennt von den Feuerraumaschen anfallen – nicht als Düngemittel verwendet werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen:

- Die Errichtung von Strohfeuerungsanlagen wird durch die Genehmigungspflicht ab 100 kW Feuerungswärmeleistung deutlich erschwert.
- Die rechtliche Einordnung der landwirtschaftlichen Brennstoffe ist vielfach noch unklar und wird regional verschieden gehandhabt (z. B. Zulässigkeit von Getreidekörnern und Korn-Stroh-Gemischen in nicht-genehmigungspflichtigen Anlagen).
- Bei der Feststellung der anzuwendenden Grenzwerte für Halmgut- und Getreidefeuerungen besteht vielfach noch ein Interpretationsspielraum, so dass die Planungssicherheit der entwickelnden Her-

steller und Errichter – auch nach der anstehenden Novellierung der TA-Luft – derzeit nicht gegeben ist. Beispielsweise sind in der Praxis verschiedene Ausnahmen bei der Grenzwertzuordnung oder bei der Genehmigungspflicht für Strohfeuerungen bekannt geworden, wenn die 100 kW Grenze nur geringfügig überschritten war (gemäß dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes der TA-Luft).

- Für die Prüfung von Halmgutfeuerungen existieren nur unzureichende Vorschriften. Insbesondere hinsichtlich der Staubmessverfahren sowie der Prüfbrennstoffauswahl und deren Zusammensetzung besteht Klärungs- bzw. Harmonisierungsbedarf.

8 Literatur

- /1/ Maskinfabriken Faust ApS. Vester Fjordvej 2, DK-9280 Storvorde, Dänemark
- /2/ Feldhaus, G. Hansel, H.D. (Bearb.): Bundes-Immissionsschutzgesetz. 11. Auflage. Heidelberg, C.F. Müller Verlag, 1997, 646 S.
- /3/ Hartmann, H.; Strehler, A.: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1995, 396 S.
- /4/ Hartmann, H.; Böhm, T.; Maier, L.: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München, 2000, Reihe "Materialien", Nr. 154, 155 S.
- /5/ Hartmann, H.; Schmidt, V.; Link, H.: Untersuchungen zum Staubausstöß von Holzcentralheizungsanlagen kleiner Leistung – Partikelgrößenverteilungen, Gesamtstaub und weitere Kenngrößen. Abschlussbericht (Teilbericht) der Landtechnik Weihenstephan für das Umweltbundesamt Berlin (noch unveröffentlicht), Freising, 2001, 64 S.
- /6/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer, Berlin, 2001, 770 S.
- /7/ Launhardt, T.; Hartmann, H.; Link, H.; Schmid, V.: Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinf Feuerungsanlage – Emissionen und Aschequalität. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München, 2000, Reihe "Materialien", Nr. 156, 133 S.
- /8/ Linka Maskinfabrik (Firmenunterlagen), Lem, Dänemark
- /9/ Nussbaumer, T., Hartmann, H. (2001): Automatisch beschickte Feuerungen. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 2001, S. 345-363

- /10/ Oberhauser, K.; M. Kanak und H. Hartmann (1998): Vergleich der Emissionen bei der Verbrennung von Getreideganzpflanzen an einer Praxisanlage in Abhängigkeit von der Brennstoffaufbereitung. Unveröffentlichter Abschlussbericht für das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, TU München-Weihenstephan, Freising, Selbstverlag, 24 S.
- /11/ Obernberger, I.: Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente - Habilitation am Institut für Verfahrenstechnik der TU-Graz. Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung (1). dbv-Verlag, Graz, 1997, 349 S.

Anschrift des Autors:

Hans Hartmann

Technische Universität München, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik

Vöttinger Straße 36

D-85354 Freising-Weihenstephan

hartmann@tec.agrar.tu-muenchen.de

Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa

*D. Thrän, M. Kaltschmitt
Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig*

Aus umwelt- und energiepolitischen Gründen unterstützt die Europäische Kommission eine verstärkte Nutzung nachwachsender Energieträger. Dies beinhaltet sowohl holz- als auch halmgutartige Bioenergieträger. Aufgrund der schon teilweise weitgehenden Holznutzung und der dadurch bedingten Knappheit an kostengünstig verfügbaren Biomassen erscheint – im Hinblick auf eine Erfüllung der politischen Zielvorgaben – unter bestimmten Bedingungen eine energetische Nutzung von Stroh sinnvoll und vielversprechend. Sie ist z. B. überall dort möglich, wo Getreide angebaut wird. Innerhalb der Europäischen Union trifft dies für sämtliche Mitgliedsstaaten zu, wobei sich allerdings sowohl die Potenziale wie auch die Nutzungsstrukturen deutlich unterscheiden. Deshalb werden im Folgenden die Möglichkeiten und Grenzen einer energetischen Strohnutzung in den EU-Mitgliedsstaaten diskutiert. Dazu werden neben den technischen Potenzialen das erschließbare Aufkommen und die gegenwärtige Nutzung dieses nachwachsenden Energieträgers dargestellt. Im Vergleich der einzelnen Länder werden darauf aufbauend Schlussfolgerungen in Hinblick auf die weitere Entwicklung bzw. die vorhandenen Defizite gezogen.

1 Einleitung

Die Energiepolitik der Europäischen Union verfolgt die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger und hat u. a. für den Zeitraum von 1995 bis 2010 eine Verdreifachung des Biomasseeinsatzes zum Ziel (EG-

Kom. 1997). Unterstützt werden soll dieses Ziel z. B. durch die europäische "Green-Electricity" Richtlinie sowie der europaweit einheitlichen Normierung von biogenen Festbrennstoffen im Rahmen des CEN TC 335 "Solid Biofuels".

Unter den biogenen Festbrennstoffen stellt Stroh eine mögliche Option dar. Stroh ist ein Rückstand aus der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion, der prinzipiell für eine energetische Nutzung verfügbar und geeignet ist. Eine Strohnutzung ist damit überall dort grundsätzlich möglich, wo Getreide angebaut wird und wo folglich landwirtschaftliche Nutzflächen bewirtschaftet werden. Innerhalb der Europäischen Union trifft dies für sämtliche Mitgliedsstaaten zu. Damit ist Stroh auch dort verfügbar, wo Holz – als der „klassische“ biogene Festbrennstoff mit einer z. T. schon weitgehenden Nutzung im jeweiligen Energiesystem – nicht (mehr) als Energieträger zur Verfügung steht.

Anders als Holz ist die energetische Strohnutzung bisher allerdings nicht europaweit verbreitet, was u. a. in den zunächst gegenüber Holz teilweise ungünstigeren Brennstoffeigenschaften (z. B. geringere Dichte, höherer Aschegehalt, erhöhte Chlor- und Stickstoffgehalte, niedrigere Ascheschmelztemperaturen) begründet ist. Erst in den letzten Jahren hat – insbesondere aufgrund der Energie- und Umweltpolitik in Dänemark und den Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen der Europäischen Kommission und einiger Mitgliedsstaaten – die energetische Nutzung von Stroh an Bedeutung in den energie- und umweltpolitischen Diskussionen in Europa und auch in Deutschland gewonnen.

Für die Einordnung der energetischen Strohnutzung in Europa sind die Brennstoffpotenziale (d. h. technische Potenziale), ihre Erschließbarkeit und damit das erschließbare Aufkommen sowie der aktuelle Stand der Nutzung in den heute auf dem Markt vorhandenen Konversionsanlagen entscheidend. Dies näher zu analysieren ist Ziel der folgenden Ausführungen.

2 Technische Strohpotenziale

Das technische Brennstoffpotenzial einer energetischen Nutzung nachwachsender Energieträger ist definiert als der Anteil an der gesamten vorhandenen Biomasse, der unter Berücksichtigung technischer und struktureller Restriktionen als Energieträger verfügbar gemacht werden könnte /Kaltschmitt et al 1999/.

Das technische Potenzial beispielsweise an biogenen Festbrennstoffen setzt sich in Europa in erster Näherung als Summe aus Waldrest- und Schwachholz, Industrierest- und Altholz sowie Straßenbegleitholz und sämtlichen halmgutartigen Bioenergeträgern (d. h. Stroh, Landschaftspflegematerial) einschließlich dem festen organischen Material, das durch einen Energiepflanzenanbau auf dafür verfügbaren Flächen produziert werden könnte, zusammen. Die jeweiligen Potenziale können u. a. aus den entsprechenden Wald- bzw. landwirtschaftlichen Anbauflächen und anderen Basisdaten, die regionalisiert vorliegen, abgeschätzt werden.

Zusammengenommen errechnet sich für die genannten Fraktionen biogener Festbrennstoffe ein Brennstoffpotenzial in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union von etwa 10 000 PJ/a (Abb. 1); bezogen auf den fossilen Primärenergieverbrauch in der Europäischen Union sind dies knapp 15 %. Nachwachsende Energieträger in Form biogener Festbrennstoffe sind damit – im Vergleich zu anderen Optionen zur Nutzung regenerativer Energien – durchaus von signifikanter energiewirtschaftlicher Relevanz in der Europäischen Union, da sie einen energiewirtschaftlich relevanten Beitrag zu Deckung der Energienachfrage leisten können.

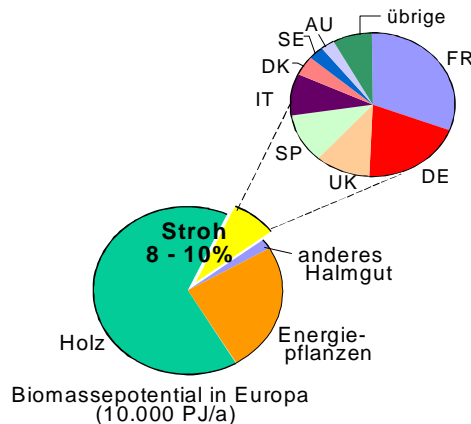


Abbildung 1: Technische Biomassepotenziale (ca. 10 000 PJ/a) in den Ländern der Europäischen Union und Anteil des Strohs

Dieses technische Brennstoff- bzw. Primärenergiepotenzial an biogenen Festbrennstoffen in der Europäischen Union setzt sich zu knapp der Hälfte aus holzartigen Bioenergieträgern, zu rund 15 % aus halmgutartigen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen und zu etwa 35 bis 40 % aus Energiepflanzen, durch die sowohl holz- als auch halmgutartige Biobrennstoffe bereitgestellt werden können, zusammen. Stroh als Rückstand bzw. Nebenprodukt der landwirtschaftlichen Getreidekornproduktion trägt dabei mit rund 800 bis 970 PJ/a zum Gesamtpotenzial bei; bezogen auf das in der Europäischen Union vorhandene Gesamtpotenzial an biogenen Festbrennstoffen sind dies etwa 10 bis maximal 15 % und bezogen auf den fossilen Primärenergieverbrauch entspricht dieses Potenzial knapp 2 %.

Dabei wurde – infolge der bei der Abschätzung der technischen Potenziale zu berücksichtigenden technischen und strukturellen Nutzungsrestriktionen – unterstellt, dass nur ein bestimmter Teil des bei der Getreidekornproduktion anfallenden Strohs für eine energetische Nutzung letztlich auch verfügbar ist. Der überwiegende Teil des gesamten bei der Getreidekornproduktion anfallenden Strohs wird zur Erhaltung des innerbetrieblichen Nährstoffkreislaufes auf den landwirtschaftlichen Betrieben benötigt und dem Boden direkt bzw. über den Umweg durch die Nutztierhaltung und Mistproduktion sowie –rückführung wieder zugeführt.

Für die sonstige und damit z. B. eine energetische Nutzung (d. h. als „freie“ Mengen) verbleiben – wenn, wie in der Praxis derzeit im Regelfall üblich, keine speziellen Maßnahmen zur Nährstoffanreicherung (z. B. Zwischenfruchtanbau) getroffen werden – im Mittel der betrieblichen Praxis und im langjährigen Durchschnitt rund ein Viertel bis ein Drittel des insgesamt anfallenden und technisch nutzbaren Strohs. Nur dieser Anteil am gesamten anfallenden Stroh kann i. Allg. auf den entsprechenden landwirtschaftlichen Betrieben problemlos aus den betrieblichen Stoffkreisläufen ausgeschleust werden. Vor diesem Hintergrund wurde bei diesen Abschätzungen eine Verfügbarkeit von 30 % unterstellt. Diese vereinfachte und für Abschätzungen der technischen Potenziale übliche Annahme schließt jedoch nicht aus, dass es infolge regionalspezifischer und/oder betriebsinterner Besonderheiten lokal z. T. zu deutlichen Abweichungen von dieser Größenordnung kommen kann.

Wird – unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge – das aufgezeigte Primärenergiepotenzial an Stroh nach Ländern differenziert analy-

siert, zeigt sich, dass über 80 % des gesamten technischen Energiepotenzials an Stroh in nur fünf Ländern anfällt (Frankreich, Deutschland, Großbritannien, Spanien und Dänemark). Da das potenziell energetisch nutzbare Strohaufkommen näherungsweise mit der landwirtschaftlichen Nutzfläche korreliert, ist in Frankreich und Deutschland, die mit die größten Flächenstaaten innerhalb der Europäischen Union darstellen, mehr als die Hälfte des europäischen Energiestrohpotenzials verfügbar.

Bei einer regionalisierten Analyse des Strohanteils am gesamten Potenzial an den hier betrachteten biogenen Festbrennstoffen wird deutlich, dass zwischen verschiedenen Staaten der Europäischen Union erhebliche Unterschiede gegeben sind (Abb. 2). Während das energetisch nutzbare Stroh in Dänemark rund ein Drittel und in Deutschland etwa ein Viertel des gesamten Potenzials an Biofestbrennstoffen einnimmt und in Spanien, Frankreich, Italien und Großbritannien immerhin mit 17 bis 19 % zum Gesamtpotenzial beiträgt, ist die Bedeutung in Schweden, Finnland und Portugal mit unter 5 % des Gesamtpotenzials vergleichsweise gering. Dies liegt u. a. darin begründet, dass beispielsweise in den nördlichen Regionen Europas die landwirtschaftlichen Nutzflächen im Vergleich zu der Waldfläche gering sind. In den Ländern mit einem hohen Strohanteil am Gesamtpotenzial nachwachsender Energieträger zur Festbrennstoffbereitstellung ist umgekehrt aber auch davon auszugehen, dass – infolge der großen Verbreitung von Ackerflächen – regional und lokal auch merklich größere Strohdichten erreicht werden können.

3 Erschließbares Strohaufkommen

Bei den im vorherigen Kapitel diskutierten Überlegungen ist stets zu beachten, dass die auf der Grundlage von Anbauflächen, mittleren Erträgen und durchschnittlichen Korn-Stroh-Verhältnissen – und den dargestellten verallgemeinerten Ansätzen zur grundsätzlichen Verfügbarkeit des für eine energetische Nutzung einsetzbaren Anteils am gesamten technisch gewinnbaren Strohaufkommen – errechneten Größenordnungen der technischen Primärenergiepotenziale nur eine Einordnung des als Energieträger potenziell nutzbaren Strohs im energiewirtschaftlichen Gesamtzusammenhang ermöglicht. Systemimmanent kann eine derartige Analyse deshalb nur erste Hinweise auf das unter den spezifischen Bedingungen vor Ort aus technischer Sicht potenziell als Energieträger verfügbare maximale Aufkommen an Stroh liefern. Für Untersuchungen der

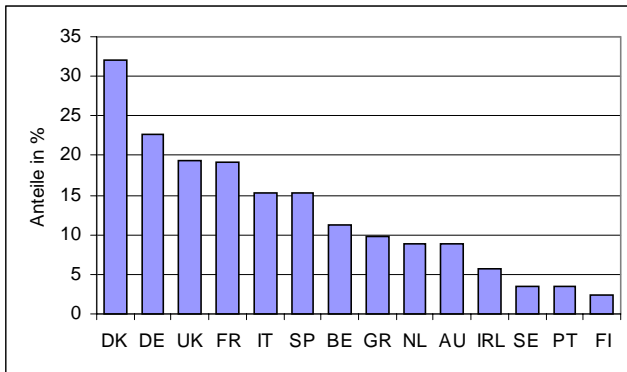


Abbildung 2: Anteil von energetisch nutzbarem Stroh am gesamten vorhandenen Potenzial an biogenen Festbrennstoffen in Ländern der Europäischen Union

– z. B. in einem konkreten Einzelfall – auch tatsächlich erschließbaren Mengen stellt damit das technische Primärenergiepotenzial nur eine realistische Obergrenze des insgesamt vorhandenen und als Energieträger grundsätzlich einsetzbaren Strohs dar.

Um vor dem Hintergrund dieser Einschränkungen eine Abschätzung des wahrscheinlich unter Marktbedingungen auch erschließbaren Anteils zu ermöglichen, wird oft das sogenannte erschließbare Aufkommen definiert; es beschreibt den Anteil des technischen Potenzial, der unter Berücksichtigung einer konkurrierenden Nutzung und anderer nicht technischer und struktureller Restriktionen voraussichtlich unter den gegebenen Randbedingungen im Energiesystem auch erschlossen werden kann.

Dieses letztlich unter Beachtung der jeweiligen Bedingungen vor Ort und der energiewirtschaftlichen Randbedingungen voraussichtlich erschließbare Strohaufkommen ist dabei u. a. von folgenden Faktoren abhängig.

- a. Konkurrierende Nutzung. Stroh ist ein wichtiger Rohstoff in der Freizeittierhaltung (z. B. Pferdepensionen, Kleintierzüchter) u. a. als Einstreu und ggf. als Futterzuschlagstoff. In Regionen mit einem hohen Bestand an nicht zur Nahrungsmittelproduktion gehaltenen Tieren (z. B. Kölner Bucht, Teile der Niederlande) ist deshalb eine

entsprechend große Strohnachfrage gegeben. Sinngemäß gilt dies auch für die Strohnachfrage von Gartenbaubetrieben und Kleingartenkolonien, in denen dieses organische Material u. a. als Bodenverbesserer und Unterlegmaterial eingesetzt wird. Aufgrund dieser und weiterer Nachfrager können – regionalspezifisch – die potenziell energetisch nutzbaren Strohmenge (d. h. das im vorherigen Kapitel ausgewiesene technische Primärenergiepotenzial) vollständig genutzt werden; beispielsweise liegen infolge derartiger Aspekte in den Niederlanden die Strohpreise bei 50 bis 75 €/Mg. Damit steht unter solchen Bedingungen das Energiestrohpotenzial für eine praktische Nutzung faktisch nicht mehr zur Verfügung. Auch aufgrund derartiger Restriktionen sind beispielsweise aus Belgien und den Niederlanden keine Strohfeuerungsanlagen bekannt.

- b. Wachstumsbedingungen. Die klimatischen und geografischen bzw. standörtlichen Bedingungen vor Ort bestimmen den verfügbaren Strohanfall entscheidend. Deshalb variiert aufgrund unterschiedlicher Temperatur-, Boden- und Niederschlagsverhältnisse das in verschiedenen europäischen Ländern zu erwartende Strohaufkommen sehr stark; es umfasst beispielsweise eine Bandbreite von 2 bis 3,5 Mg/(ha a) in Griechenland, Portugal, Spanien und Finnland bis zu 6,5 bis 8 Mg/(ha a) in Belgien, Frankreich, Großbritannien, Deutschland und den Niederlanden. Zusätzlich dazu sind jahresabhängige Schwankungen zu berücksichtigen, die – gerade in klimatisch ungünstigeren Regionen – an unterschiedlichen Jahren bis zu 40 % des gesamten Biomasseaufkommens ausmachen können. Beispielsweise wird für das technisch verfügbare Strohaufkommen in Spanien – aufgrund derartiger Aspekte – eine Spanne von 10 bis 24 Mio. Mg/a angegeben. Dies hat zur Folge, dass in Jahren mit schlechter Ernte in manchen Regionen das gesamte Stroh – zu entsprechend hohen Preisen – von der Tierhaltung nachgefragt wird; hier werden dann z. T. in „guten“ Jahren Strohlager für die nächste Saison gebildet.
- c. Erntebedingungen. Voraussetzung für die kostengünstige und umweltverträgliche energetische Strohnutzung ist die Ernte eines lagerfähigen und damit weitgehend trockenen Produktes. Dazu muss zumindest über einen Zeitraum von mehreren Tagen trockenere Wetter herrschen. In Ländern, in denen diese Voraussetzung

nicht unbedingt gegeben ist (z. B. Irland, Finnland, Schweden, Dänemark), können die vorhandenen Strohpotenziale in entsprechend „nassen“ Jahren nur teilweise erschlossen werden, da das Material bei der Ernte nicht lagerfähig verfügbar gemacht werden kann (eine separate Trocknung auf den landwirtschaftlichen Betrieben scheidet i. Allg. infolge ökonomischer Überlegungen aus) bzw. sogar bereits teilweise verrottet. In Schweden geht man beispielsweise davon aus, dass auch aufgrund derartiger Überlegungen nur etwa ein Fünftel des insgesamt vorhandenen Energiestrohpotenzials realistisch auch konkret erschlossen werden kann.

- d. Räumliche Verteilung der Anbauggebiete. Eine weitere Einschränkung der Nutzung des insgesamt vorhandenen technisch erschließbaren Strohpotenzials kann sich durch Restriktionen infolge der Brennstofflogistik ergeben. Da i. Allg. die Entfernungen zwischen dem Standort der Brennstoffproduktion (d. h. Acker) und dem der Feuerungsanlage infolge der geringen Energiedichte von Stroh aus ökonomischen Gründen nicht zu groß werden dürfen, ist – insbesondere bei größeren Anlagen – eine ausreichende Brennstoffversorgung meist nur an ausgewählten Standorten in Gebieten mit einem hohen spezifischen Strohaufkommen realisierbar. Beispielsweise gehen Untersuchungen in Österreich von einer maximalen Transportentfernung von rund 50 km aus /Stoiffl 2000/. Auch zeigt eine Untersuchung aus Großbritannien, dass bei einer Brennstoffversorgung innerhalb eines 90 km auf 90 km-Gebietes und einer zu installierenden Leistung von mindestens 10 MW_e unter diesen spezifischen Bedingungen nur ein Achtel des insgesamt verfügbaren Strohaufkommens nutzbar ist /SWES 1999/.

Insgesamt zeigen diese Aspekte, dass unter bestimmten Bedingungen das realistisch erschließbare Energiestrohaufkommen deutlich unter dem für eine energetische Nutzung grundsätzlich verfügbaren technischen Strohpotenzials liegen kann. Während hierbei in den klimatisch aus Sicht der Strohproduktion und –nutzung ungünstigeren Zonen Europas (d. h. Nordeuropa, Südeuropa, Irland) vor allem witterungsbedingte Restriktionen vorherrschen, sind in den klimatisch begünstigteren Regionen primär Einschränkungen infolge der vergleichsweise intensiven Landnutzung (d. h. Konkurrenznutzung und unzureichende Dichte der Anbauggebiete) gegeben.

Für die Abschätzung des erschließbaren Aufkommens müssen folglich derartige Aspekte beachtet werden. Zusammengenommen wird hier näherungsweise davon ausgegangen, dass gegenwärtig und damit unter Berücksichtigung der derzeitigen energiewirtschaftlichen Gegebenheiten in einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union nur rund die Hälfte bis ein Drittel – je nach den jeweiligen Gegebenheiten vor Ort – des in Kapitel 2 ausgewiesenen technischen Potenzials auch letztlich erschließbar ist. Dies kann sich dann grundlegend ändern, wenn durch energie- und umweltpolitische Maßnahmen die Randbedingungen dergestalt geändert werden, dass ein größerer Teil des technischen Potenzials erschlossen werden kann; derartige Ansätze sind beispielsweise in Dänemark bereits erkennbar.

4 Strohnutzung

Die derzeitige energetische Nutzung der aufgezeigten Stroh-Potenziale bzw. des davon erschließbaren Aufkommens zeigt innerhalb Europas ein sehr uneinheitliches Bild. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Situation in einzelnen Ländern der Europäischen Union als auch in Bezug auf die zur Nutzung jeweils eingesetzten Konversionstechniken und –verfahren bzw. der jeweiligen Nutzungskonzepte. Beide Aspekte werden nachfolgend diskutiert.

4.1 Ländersituation

Abb. 3 zeigt deshalb die derzeit in den verschiedenen Ländern der Europäischen Union aus Stroh gewonnene Energie (vordere Balkenreihe) und deren Anteil am entsprechenden erschließbaren Aufkommen¹ (hintere Balkenreihe). Die einzelnen Länder sind dabei nach der Größe ihres Energiestrohpotenzials geordnet dargestellt. Zusammengenommen werden – bei jedoch vergleichsweise unsicherer Datenlage – im europäischen Mittel rund 6 % des abgeschätzten erschließbaren Energiestrohs bereits – bei jedoch deutlichen Unterschieden zwischen verschiedenen Ländern – genutzt.

¹ Hier wird ein Anteil von 30 % am technischen Potenzial als erschließbar angesehen (Kapitel 3). In der Summe können damit rund 10 % des insgesamt anfallenden technisch gewinnbaren Strohs für eine energetische Nutzung erschlossen werden.

Zu einzelnen Ländern bzw. Ländergruppen kann die Situation wie folgt zusammengefasst werden.

- Frankreich und Deutschland, die zusammen etwa über die Hälfte des erschließbaren Energiestrohs verfügen, nutzen dieses nur in einem sehr geringen und näherungsweise zu vernachlässigenden Umfang.

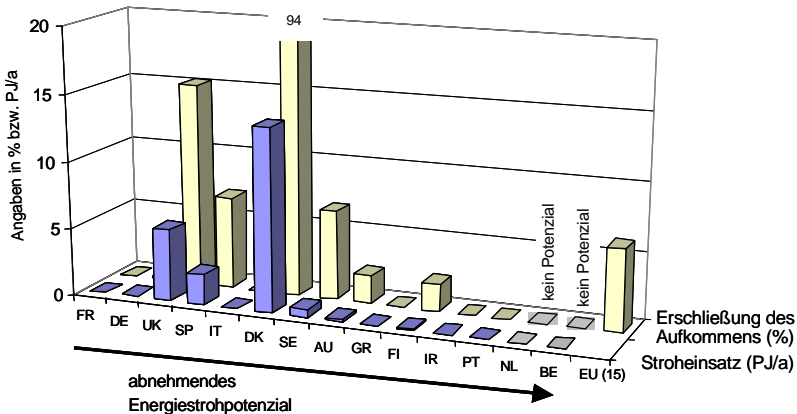


Abbildung 3: Energiegewinnung aus Stroh und Potenzialerschließung nach Ländern in der Europäischen Union

- Dänemark, wo knapp über 5 % des erschließbaren europäischen Energiestrohaufkommens anfallen, verfügt über etwa 70 % der in der Europäischen Union in Anlagen zur energetischen Strohnutzung installierten Leistung. Hier wird das unter den diskutierten Randbedingungen hier abgeschätzte erschließbare Aufkommen bereits weitgehend energetisch genutzt.
- In Spanien und Großbritannien sind weitere 38 % der in Europa installierten Leistung in strohgefeuerten Anlagen installiert, die 6 bzw. 15 % des national erschließbaren Aufkommens abschöpfen.
- In Italien ist die Strohnutzung, ähnlich wie in Deutschland und Frankreich gering bis sehr gering. Das erschließbare Aufkommen ist weitgehend ungenutzt.
- In Österreich, Schweden und Finnland sind die als Energieträger erschließbaren Energiestrommengen eher gering. Sie werden aber

in einem gewissen Umfang bereits energetisch genutzt. In Finnland wird die energetische Strohnutzung beispielsweise in Co-Verbrennung mit Torf realisiert, während in Österreich Strohheizwerke betrieben werden.

- In den übrigen Ländern sind keine größeren Anlagen zur Strohfederung bekannt. In den Niederlanden und Belgien ist zusätzlich kaum ein Energiestrohaufkommen zur Deckung der Energienachfrage erschließbar. Auch in Irland, Griechenland und Portugal dürfte kaum Stroh als Energieträger erschlossen werden können.

4.2 Nutzungstechniken und -konzepte

Europaweit sind 11 (Heiz-)Kraftwerke, 78 Fernwärmewerke und ca. 13 000 dezentrale Kleinanlagen bekannt, die in Betrieb bzw. in Bau sind (Tabelle 1). Zusätzlich sind z. B. in Großbritannien und den Niederlanden weitere wärmeerzeugende Anlagen zur thermischen Verwertung von verschmutztem Stroh (d. h. Stroh, das zuvor in der Nutztierhaltung eingesetzt wurde, und „entsorgt“ werden muss; es stammt vor allem aus der Hühnerhaltung) vorhanden; da es sich dabei im Wesentlichen um Anlagen zur Verbrennung von Mist (d. h. Entsorgung) und nicht von Stroh im eigentlichen Sinne handelt, sind derartige Anlagen bei der Zusammenstellung in Tabelle 1 nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Strohfederungsanlagen nach Anlagentypen

| Anlagentyp | Anzahl | Installierte Leistung | Länder (in Klammern: Anzahl der Anlagen) |
|--------------------------|------------|--------------------------|---|
| (Heiz-)Kraftwerke | 11 | 144 MW _{el} | Dänemark (9), Großbritannien (1), Spanien (1) |
| Fernwärmeeanlagen | 78 | ca. 180 MW _{th} | Dänemark (58), Österreich (11), Schweden (4), Deutschland(2), Großbritannien (2) Finnland (1) |
| Nahwärme-/ Einzelanlagen | ca. 13.000 | | Dänemark (ca.10.000) Großbritannien (ca. 2 000 bis 3.000), Schweden (einige 100) |

Der Energieeinsatz in den verschiedenen in Tabelle 1 dargestellten Anlagen zeigt Abb. 4. Demnach werden von den europaweit derzeit ener-

getisch genutzten rund 1,5 Mio. Mg/a Stroh (22 PJ) jeweils knapp 40 % in (Heiz-)Kraftwerken und Nahwärmesystemen bzw. Einzelheizungen und etwas über 20 % in Feuerungsanlagen zur Fernwärmebereitstellung eingesetzt.

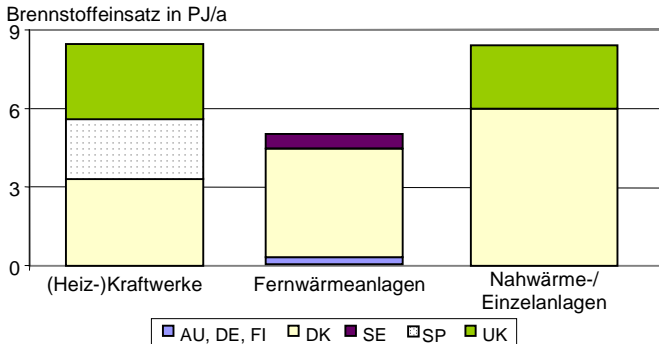


Abbildung 4: Strohenergieeinsatz in die verschiedenen Anlagentypen

Die mit Stroh betriebenen Kraftwerke verfügen dabei über einen Leistungsbereich von 2,3 bis 40 MW_{el}; die älteste Anlage wurde 1989 in Betrieb genommen (Tabelle 2). Über die Hälfte der Kraftwerke betreibt eine Co-Feuerung mit Hausmüll, Hackschnitzeln oder fossilen Energieträgern.

Dabei liegt dieser in Tabelle 1 und 2 deutlich werdende Stroheinsatz im Wesentlichen in der jeweiligen nationalen Energie- und Umweltpolitik begründet.

- In Dänemark wurde der Höhepunkt des Einsatzes dieser Technik mit etwa 14 000 Anlagen Ende der achtziger Jahre erreicht. In der Zwischenzeit wurde jedoch ein Teil dieser Anlagen durch größere Systeme (d. h. (Heiz-)Kraftwerke und Fernwärmesysteme) ersetzt /Nikolaisen et al 1998/.
- In Schweden und Großbritannien, wo ebenfalls seit den achtziger Jahren kleinere Anlagen betrieben werden, geht man indes derzeit eher von einer Zunahme von Anlagen zur energetischen Strohnutzung aus.
- In Österreich, wo Fernwärmenetze dominieren, liegt die installierte Kapazität seit Beginn der neunziger Jahre konstant bei 27 MW_{th}.

Tabelle 2: Ausgewählte strohgefeuerte (Heiz-)Kraftwerke in Europa / Nikolaisen et al 1998/; /Beunza 2001/; /E&M 2001/

| Standort | Leistung | Feuerungssystem | Jährlicher Brennstoffeinsatz | Inbetriebnahme |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|--|----------------|
| Ensted Dänemark | 40 MW _{el} | aufgelöst/ Stoker | 120 000 Mg Stroh 30 000 Mg Hackschnitzel | 1998 |
| Cambridgeshire Großbritannien | 36 MW _{el} | aufgelöst/ Stoker | 200 000 Mg Stroh (50-miles-Radius) sowie Erdgas | 2001 |
| Studstrup Dänemark | 30 von 150 MW _{el} | aufgelöst/ Stoker | 50 000 Mg Stroh sowie mind. 80 % Kohle | 1995 |
| Sangüesa Spanien | 25 MW _{el} mit KWK | aufgelöst/ Stoker | 160 000 Mg Stroh | 2002 |
| Slagelse Dänemark | 11,7 MW _{el} mit KWK | aufgelöst/ Stoker | 25 000 Mg Stroh 20 000 Mg Hausmüll | 1990 |
| Maribo Dänemark | 9,3 MW _{el} mit KWK | aufgelöst/ Stoker | 40 000 Mg Stroh | 2000 |
| Grena Dänemark | 8,5 von 17 MW _{el} mit KWK | aufgelöst/ pneumatisch | 55 000 Mg Stroh 40 000 Mg Kohle | 1992 |
| Masnedø Dänemark | 8,3 MW _{el} mit KWK | aufgelöst/ Stoker | 40 000 Mg Stroh 8 000 Mg Hackschnitzel | 1996 |
| Mabjerg Dänemark | 5,6 von 28 MW _{el} mit KWK | Zigarrenbrenner, 2 weitere Kessel | 35 000 Mg Stroh, 150 000 Mg Hausmüll, 25 000 Mg Hackschnitzel, Erdgas | 1993 |
| Haslev Dänemark | 5,0 MW _{el} mit KWK | Zigarrenbrenner | 25 000 Mg Stroh | 1989 |
| Rundkøbing Dänemark | 2,3 MW _{el} mit KWK | aufgelöst/ Stoker | 12 500 Mg Stroh | 1990 |

Während in Dänemark als einzigem europäischen Land bereits seit Mitte der neunziger Jahre klare politische Zielvorgaben für die Strohnutzung vorhanden sind (1993 wurde für das Jahr 2000 ein Anteil von 1,2 Mio. Mg Stroh als Brennstoff in den Kraftwerken als Ziel vereinbart; diese Forderung wurde allerdings 1997 auf 1 Mio. Mg reduziert), wurden in den an-

deren europäischen Ländern bisher kaum politische Zielgrößen im Hinblick auf eine energetische Strohnutzung verabschiedet /Nikolaisen et al 1998/. In anderen europäischen Ländern (z. B. Österreich, Spanien) gibt es lediglich Hinweise auf realistisch erschließbare Potenziale in verschiedenen staatlichen Programmen bzw. Strategiepapieren /Rathbauer 2000/, /Beunza 2001/.

Mit den beiden großen (Heiz-)Kraftwerken in Großbritannien und Spanien wurde in beiden Ländern technisches Neuland beschritten, was durch dezidierte nationale politische bzw. administrative Unterstützung ermöglicht wurde.

- In Großbritannien wird im Rahmen der NFFO 3 (Non Fossil Fuel Obligation) der Bau eines Strohkraftwerkes unterstützt.
- In Spanien bemüht sich die Region Sangüesa (Navarres) darum, eine der im EU-Weißbuch geforderten 100 energieautarken Kommunen zu werden. Gleichzeitig sieht das spanische Stromerzeugungsgesetz für Strom aus Biomasse eine Vergütung von 0,06 €/kWh vor.

Weitere konkrete Planungen für große Heizkraftwerke bestehen z. B. in Dänemark (z. B. Avedøre) und in Österreich, wo derzeit die Umstellung vorhandener Heizkraftwerke auf Stroh geprüft wird. In diesen Anlagen sollen zusammengenommen etwa 300 000 Mg (4 PJ) Stroh eingesetzt werden /Nikolaisen et al 1998/; /Stoiffel 2000/. Auch gibt es Überlegungen, Stroh durch eine Pelletierung in den Markt zu bringen. Für Deutschland lassen sich diese Optionen aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen – d. h. der Ausgrenzung von Stroh aus den Regelbrennstoffen der 4. BImSchV und der geplanten Verschärfung der TA Luft, die die Emissionen für Strohfeuerungsanlagen ab 100 kW Nennwärmeleistung begrenzt (vgl. /Weiss 2001/) – in absehbarer Zeit jedoch nicht erschließen.

Zusammengenommen sind damit durchaus eine ganze Reihe von Anlagen zur thermischen Strohnutzung in Betrieb; die jeweils eingesetzten Nutzungskonzepte überdecken dabei die gesamte aus gegenwärtiger Sicht mögliche Bandbreite denkbarer Anlagen und Nutzungskonzepte. Insgesamt gesehen ist aber die Nutzung – aufgrund der infolge der ungünstigen verbrennungstechnischen Eigenschaften teilweise aufwändigen Anlagentechnik und der damit verbundenen hohen Kosten – vergleichsweise gering.

5 Schlussbetrachtung

Stroh ist ein biogener Festbrennstoff, der bisher in der Energie- und Umweltdiskussion in Deutschland wenig Bedeutung hatte. Da jedoch zu erwarten ist, dass infolge der in der nächsten Zeit wahrscheinlich verabschiedeten Biomasse-Verordnung Holz als Biofestbrennstoff ggf. knapp werden könnte, stellt sich verstärkt die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen einer verstärkten energetischen Nutzung dieses halmgutartigen Bioenergieträgers. Vor diesem Hintergrund werden hier die technischen Potenziale, das erschließbare Aufkommen und die gegenwärtige Nutzung in Europa zusammengestellt, um aus den bereits vorliegenden Erfahrungen in anderen europäischen Ländern Schlüsse für Deutschland ableiten zu können.

Die gemachten Ausführungen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- Stroh als ein biogener Festbrennstoff unter vielen fällt – bei erheblichen Variationen – innerhalb der gesamten Europäischen Union als Rückstand und Nebenprodukt der Getreidekornproduktion an. Die technischen Potenziale liegen bei rund 800 bis 970 PJ/a; bezogen auf das in der Union vorhandene Gesamtpotenzial an biogenen Festbrennstoffen sind dies – bei jedoch regional erheblichen Unterschieden – etwa 10 bis maximal 15 % und bezogen auf den fossilen Primärenergieverbrauch in der Europäischen Union knapp 2 %. Damit ist das technische Strohpotenzial im Kontext der Gegebenheiten im Energiesystem Europa durchaus energiewirtschaftlich relevant.
- Das gesamte technische Potenzial ist u. a. infolge einer konkurrierenden Nutzung nur eingeschränkt erschließbar. Wird deshalb unterstellt, dass nur ein Teil des technischen Potenzials als Energieträger letztlich auch verfügbar gemacht werden könnte, lässt sich aber immer noch eine Größenordnung (d. h. erschließbares Aufkommen) abschätzen, die einen kleinen, aber doch merklichen Beitrag zur Deckung der Energienachfrage in Europa leisten könnte. Dabei muss zusätzlich beachtet werden, dass Stroh immer in Ergänzung zur Nutzung anderer biogener Festbrennstoffe zu sehen ist. Da Stroh tendenziell eher dort anfällt, wo spezifisch relativ weniger Holz verfügbar ist, kann dieser halmgutartige Bioenergieträger auch bei insgesamt vergleichsweise kleinem erschließbarem Auf-

- kommen lokal bzw. regional doch erhebliche Beiträge zur politisch gewünschten weitergehenden Biomassenutzung in Europa leisten.
- Dieses erschließbare Strohaufkommen wird bisher in Europa nur punktuell in einem relevanten Umfang genutzt; bekannt ist, dass primär in Dänemark, Großbritannien, Schweden und Österreich derzeit rund 1,5 Mio. Mg Stroh – infolge der dortigen energie- und umweltpolitischen Vorgaben – genutzt werden. Beispielsweise sind in Dänemark, das über weniger als 5 % des in der Europäischen Union erschließbaren Energiestrohaufkommens verfügt, über 70 % der bekannten Anlagenkapazität, mit der Stroh als Energieträger zur Deckung der Energienachfrage genutzt wird, installiert. Dabei wird Stroh in sehr unterschiedlichen Anlagen bzw. mit sehr verschiedenartigen Nutzungskonzepten eingesetzt; es wird z. B. in vorhandenen Kohlekraftwerken zugefeuert, in Feuerungsanlagen im Megawatt-Bereich zur Wärme- und ggf. Strombereitstellung verwendet, in Kleinfeuerungsanlagen zur Wärmenachfragedeckung genutzt und – jedoch erst ansatzweise – die Möglichkeiten einer Pelletierung und deren Nutzung in Klein- und Kleinfeuerungsanlagen geprüft.

Diese vergleichsweise geringe Nutzung von Stroh liegt u. a. in den gegenüber Holz teilweise ungünstigeren Brennstoffeigenschaften und den vergleichsweise starken Schwankungen der Verfügbarkeit begründet. Auch sind die Energieträgerkosten z. T. vergleichsweise hoch. Daher dürfte in der nächsten Zukunft der energetische Einsatz von Stroh in Europa auf bestimmte Zielgruppen beschränkt sein (z. B. landwirtschaftliche Betriebe mit Strohäberschuss und hoher Wärmenachfrage, Regionen mit sehr hohem und räumlich konzentriertem Getreideanbau und wenig Waldflächen und vorhandenen Nah- bzw. Fernwärmenetzen, Co-Feuerung in konventionellen bzw. holzgefeuerten Kraftwerken) und/oder auf solche Märkte, in denen Stroh ggf. vorhandene Vorteile nutzen kann (ggf. Nutzung als Pellets). Die Realisierung dieser Optionen bedarf außerdem von politischer Seite sachdienlicher, anlagenangepasster Emissionsbegrenzungen, die den noch zu leistenden technischen Fortschritt sicherstellen.

Trotz der brennstoffspezifischen Nachteile von Stroh im Vergleich zu Holz ist das Interesse an einer energetischen Strohnutzung in Europa hoch. Deshalb wird es hier die Aufgabe der nächsten Jahre sein, Techniken und Konzepte zu (weiterzu-)entwickeln bzw. zu optimieren, mit

denen Stroh als Energieträger umweltfreundlich und klimaverträglich sowie vor allem kostengünstig genutzt werden kann. Nur so kann sichergestellt werden, dass Stroh der ihm zustehende Beitrag zur Deckung der Energienachfrage in Europa – im Rahmen eines nachhaltigen Energiesystems – leisten kann.

Danksagung

Für ihre unbürokratische und engagierte Unterstützung bei der Datenbeschaffung danken wir Richard Bain (USA), Ausilio Bauen (Großbritannien), Jean Louis Bonnet (Frankreich), Alex Brouwer (Niederlande), Juan Carrasco (Spanien), Kirsten Chambers (Großbritannien), Hermann Dissemmond (Österreich), Panagiotis Grammelis (Griechenland), Paul Johnson (Irland), Helle Junker (Dänemark), Jaap Koppejan (Niederlande), Henk de Lange (Italien), Ana Mastral (Spanien), Jan Erik Mattsson (Schweden), Claudia Mendes (Portugal), Lars Nikolaisen (Dänemark), Daniel Nilsson (Schweden), Bert Reijkema (Niederlande), Yves Schenkel (Belgien), Yrjo Solantausta (Finnland), Barbara Stoiffl (Österreich), Armin Vetter (Deutschland), Manfred Wörgetter (Österreich), Jeremy Woods (Großbritannien).

Literatur

- /1/ Beunza, C.: Planta de biomasa de Sangüesa de combustion de paja con una potencia total neta de 25 MW. Pamplona 2001. Zu beziehen über citoiz@ehn.es.
- /2/ Energie & Management (E&M): Mehr als Stroh im Kopf. Nr.7/2001 vom 15.Mai 2001, Seite 8. Energie & Management Verlagsgesellschaft mbH, Herrsching.
- /3/ EuroStat Yearbook 2000
(www.europa.eu.int/comm/eurostat/Public/datashop/print-catalogue/EN?catalogue=Eurostat&product=100indic_-EN-22k-)
- /4/ <http://www.maff.gov.uk/farm/acu/Acuren-4>
- /5/ Kaltschmitt, M.; Bauen, A.: Contribution of Biomass towards CO₂ Reduction in Europe (EU). 4th biomass conference of the Americas. Oakland, California, USA. Tagungsband 08.09.1999.
- /6/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EG-Kom.) (Hg.): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. KOM (97)599 vom 26.11.1997. (www.parlinkom.gv.at/pd/pm/XX/J/his/043/J04303_.html)

- /7/ Nikolaisen, L.; et al: Stroh als Energieträger. Technik – Umwelt – Ökonomie. 2. Auflage. Kopenhagen 1998.
- /8/ Rathbauer, J.: Biomassepotenzialabschätzung für Österreich im Jahr 2010. In: BLT Wieselburg (Hg.): Nachwachsende Rohstoffe – Mitteilungen der Fachbeiratsgruppe. Nr. 17, September 2000.
- /9/ Scribe Writing and Editing Service (SWED) (Hg.): Energy from Biomass – Summaries of the Biomass Projects carried out as part of the Department of Trade and Industry's New and Renewable Programme. Volume 5: Straw, Poultry Litter and Energy Crops as Energy Sources. London 1999.
- /10/ Stoiffel, B.: Stroh als Brennstoff in Wärmekraftwerken. In: BLT Wieselburg (Hg.): Nachwachsende Rohstoffe – Mitteilungen der Fachbeiratsgruppe. Nr. 18, Dezember 2000.
- /11/ Weiss, V.: Derzeitige und künftig zu erwartende emissionsbegrenzende Anforderungen der TA Luft an Feuerungsanlagen für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe. Beitrag zum Gülzower Fachgespräch „Energetische Verwertung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse: Stand der Technik und Perspektiven im ländlichen Raum“. Tautenhain am 08./09. Mai 2001.

Anschrift der Autoren:

*Dr.-Ing. Daniela Thrän, PD Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt
Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH
Torgauer Str. 116
D-04347 Leipzig
Thraen@ife-le.de, Kaltschmitt@ife-le.de*

Straw-fired Combined Heat and Power Plant

L. H. Sørensen

Tech-wise A/S, Fredericia, Denmark

1 The Danish background for utilising biomass

In Denmark, the combined production of heat and power (CHP) has been extensively used since 1904 and has paid a significant contribution to energy saving and CO₂ emission reduction long before the greenhouse effect was considered a problem.

In the beginning of the 90s, awareness of the CO₂ problem increased and a political decision to achieve a 20 % reduction of the CO₂-emission (from the 1988 level) was made. As a result the Danish electric utilities were obliged to utilise 1.0 million tonnes of straw, 0.1 million tonnes of wood chips and 0.1 million tonnes of various types of biomass annually from the year 2000. The difficulties experienced especially with straw and the uncertainty about how renewable technologies are supported in a competitive power market have postponed the time schedule for implementation.

2 Technologies considered

ELSAM is the largest utility pool in Denmark and as a consequence of political decisions, ELSAM and its subsidiary Tech-Wise A/S have been major actors in developing and implementing technologies for utilisation of biomass for combined heat and power production in Denmark. In an extensive R&D programme the following biomass utilisation technologies were examined:

- Co-firing of straw and coal and further co-firing of wood powder and coal in pulverised coal-fired (PF) boilers;
- Installation of new biomass-fired boilers, either as stand-alone units with own turbine plant or in connection with an existing power plant in which the biomass boiler supplies steam to an existing large scale turbine plant. A process diagram showing the combination with an existing power plant is found in figure 2;
- Installation of a circulating fluidised bed boiler (CFB) fired with coal, wood chips and straw;
- Gasification of straw/coal and in addition stand-alone gasification CHP plants utilising wood chips mainly originating from short rotation forestry.
- Research and development of biofuel pre-treatment processes with the purpose of extracting harmful elements from the biofuels (mainly straw) thereby enabling the utilisation of difficult biomass types in plants with higher steam data and higher efficiencies.

The R&D programme also encompassed other aspects related to biomass utilisation such as logistics, investigations of biomass availability, biomass characterisation, working environment issues, optimisation of biomass CHP plants etc.

3 Plant examples

The following section briefly describes some of the straw-fired plants built, owned and operated by Elsam, starting with the plant, which first went into operation.

Rudkøbing CHP plant

The plant in Rudkøbing was commissioned in 1990. The steam data are 3.7 kg/s / 65 bar / 450 °C. The boiler is 100 % straw-fired and equipped with a vibrating grate, and the annual consumption amounts to 13-14,000 tonnes of straw. The output of the plant is 2.3 MW electricity and 7.0 MJ/s heat, and the annual production of heat amounts to 150 TJ at an electricity production of 12 GWh. The plant operates unmanned during nights and weekends.

The straw feeding system is automatically operated. After cutting and removing the bale strings, the straw is fed to the furnace by means of a

hydraulically operated piston. This type of feeding system has proven very robust and reliable, however not suitable for larger plants.

Following various difficulties during the initial operation period the plant now operates very well.

Måbjergværket



Figure 1: Måbjerg CHP Plant

Måbjerg CHP Plant is a combined waste, straw and wood chip-fired plant co-fired with natural gas. Two of the three boilers are waste-fired and the third boiler is fired with straw and wood chips. A natural gas-fired superheater is located in the steam line from each boiler providing the final superheat of the steam. The plant went into operation in 1992 and supplies heat to the city of Holstebro and power to the national grid. Figure 1 shows a photo of the plant.

The steam data of the bioboiler are 15 kg/s / 65 bar / 410 °C and the firing concept is designed according to the so-called "cigar principle" feeding straw onto a vibrating grate.

The boiler is 100 % straw and wood chip-fired and the annual consumption amounts to 50,000 tonnes of straw and 17,000 tonnes of wood chip. The total net output is 28 MW electricity and 67 MJ/s heat at an annual production of 1,440 TJ heat and 160 GWh electricity.

By crane the straw bales are transported to the boiler and lowered into ducts located at two opposite walls of the furnace. The straw bale is pushed into the furnace while burning, and burning straw layers fall on a vibrating grate on which they burn out. The wood chips are fed to the furnace through three air spouts. The flue gas is cleaned in a bag filter with an inlet temperature of 130 °C.

Grenaa CHP

The plant in Grenaa is a Circulating Fluid Bed (CFB) plant that was put into operation in January 1992. The steam data are 29 kg/s / 92 bar / 505 °C at a feedwater temperature of 170 °C. The plant delivers heat to the city of Grenaa, process steam to industry and power to the national grid.

The boiler is designed for firing 100 % coal or a mix of coal and straw with up to 60 % straw. At a 50 %/50 % mixture of coal and straw the plant consumes 38,000 tonnes of coal and 70,000 tonnes of straw. During the latest years of operation, other types of biomass such as spoiled corn or waste products from production of vegetable oils have been utilised in the plant.

Limestone is injected into the combustion chamber for desulphurisation, and the combustion air is staged for reduction of the NO_x emission. Further, the flue gas is cleaned for dust particles by means of an electrostatic precipitator.

The plant has suffered from severe corrosion problems and has been modified several times. In the latest modification the final superheater was relocated from the convective pass to a fluid bed heat exchanger located in the return leg of the circulating ash circuit.

Extensive tests have been conducted at the plant over the years and these tests together with the operating experience have paid a significant contribution to the knowledge on corrosion and slagging/fouling problems as well as knowledge on CFB-specific problems such as erosion/corrosion.

Biomass boiler at EV3

At the power plant Sønderjyllands Højspændingsværk a once-through bioboiler with live steam pressure of 200 bar has been in operation for more than three years. The annual fuel consumption of the plant is

120,000 tonnes of straw and 30,000 tonnes of wood chips. An extensive EC-supported test programme has been completed to gain as much valuable information from the plant as possible.

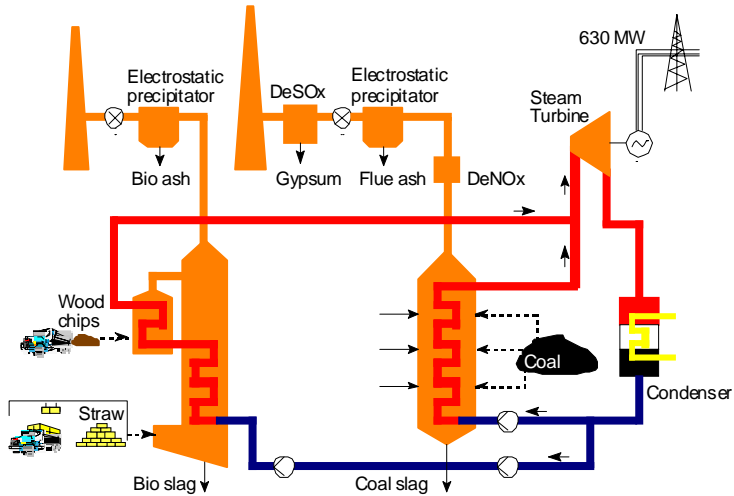


Figure 2: Biomass boiler connected to a coal-fired power plant

The boiler is connected to an existing 600 MW power plant according to the principle shown in figure 2. The straw-fired boiler supplies steam at 470 °C to a wood chip-fired final superheater, which provides the final superheat from 470 °C to 542 °C.

In this way, a high electrical efficiency (39 %) of the power production from biomass is achieved without exposing final superheaters to the harmful flue gases from straw combustion.

However, recently it turned out that even the minute content of potassium chloride in the wood chips is sufficient to induce serious corrosion problems in the wood chip-fired superheater, and an extensive repair has just been completed. A test programme aimed at finding measures to avoid the corrosion has followed the repair.

4 Experience

The experience summarised in the following has been collected from all biomass plants operated by Elsam. The difficulties with utilising biomass in general and straw in particular have been described before, so this section will concentrate on the practical implications of the problems on the plants' availability and performance.

Straw Handling

The basic ideas behind the straw handling concept now widely used for straw-fired plants were first developed by Tech-wise for the Grenå CHP plant and subsequently improved in the plants at Studstrup (co-firing) and Enstedværket. It is based on bales each weighing approx. 400-700 kg. The transport from the fields or farmers' storage to the plant is performed by trucks, which are unloaded by a specialised crane simultaneously performing measurements of weight and moisture of the straw.



Figure 3: Straw unloading crane in operation

The fully automated storage is normally designed for 2-3 days' full load capacity of the boiler. Figure 3 shows the crane in operation. Incidents with bale columns tipping in the storage have been experienced, hence staff access to the storage area has to be restricted, but in general the automated straw handling works very well.

Straw feeding system

In large straw-fired boilers the straw is typically fed to the boiler in 4 parallel lines, where the bale strings are cut and the bales are shredded and pushed into the furnace by stoker screws designed to create a straw plug limiting air leakage into the furnace. The single most important problem with feeding systems is related to the capability of handling wet bales. Wet straw is very tough and flexible and tends to wrap-up on all moving parts in the system resulting in mechanical overload, and this causes many feed line trips. Making sure that the wet part of the bales (often the bottom of the bales which have been standing in the fields) is turned upwards reduces the problem significantly. The problem highlights the necessity of having strict acceptance criteria for the straw supply. Furthermore, the automated systems involve many photoelectric cells and other sensors, which require careful placement and fine-tuning to avoid feed line trips.

Combustion, Grate and Furnace

The experience shows that one of the major challenges of straw firing is to achieve a smooth and steady combustion rate, and in this respect the reliability of each straw feeding line plays a major role. The high variability of bale density and moisture also causes disturbances in the combustion rate, and such disturbances affect the complete performance of the boiler such as steam production, steam temperature, emissions, unburned in ash and slag, etc. The latest improvements foresee weight and moisture measurements of each feeding line in order to approach an energy based feed rate instead of the original volumetric feed rate.

For firing straw alone, only water-cooled vibrating grates are being used. In some grates, mechanical problems with the vibrating gear have been experienced, and the discontinuous vibration sequence itself is a source of disturbance of the conditions in the furnace.

Slagging and corrosion

When the first straw-fired plants were built, the problems of corrosion and slagging were severely underestimated leading to serious operational problems. Elsam also experienced such problems and besides the ne-

cessary plant modifications, ambitious research programmes were initiated to determine the basic causes and potential remedies. The problems were mainly created by a combination of too high furnace exit temperature, too high material temperature and too narrow tube pitch in the superheaters. The knowledge gained through plant modifications and through the research and test programmes now means that the basic principles for avoiding the problems are well known.

Emissions

In Denmark, the emissions from large biomass-fired plants are governed by a number of directives, typically resulting in the following limits for a large straw fired plant:

- SO₂: 400 mg/Nm³ (at 6 % O₂)
- NO_x: 400 mg/Nm³ (at 6 % O₂)
- Dust: 50 mg/Nm³ (at 6 % O₂)

In addition the SO₂ emission is subject to a SO₂ tax. CO, HCl and other pollutants are governed by local authorities as well as ground level concentration limits. The recommended CO limit for straw fired plants larger than 1MW_{th} is 0,05 vol% (at 10 % O₂).

The emission from straw-fired plants has also been the subject of many tests and research programmes, and the table below gives measured HCl and SO₂ emission values (mg/Nm³ at 6 % O₂).

| mg/Nm ³ at 6% O ₂ | Annual mean | Max. daily mean | Max. hourly mean |
|---|-------------|-----------------|------------------|
| SO ₂ | 150 | 300 | 400 |
| HCl | 100 | 300 | 400 |

The non-averaged measurement values show a large variability, and for SO₂ a declining emission over the year has been observed, indicating dependence on the age of the straw.

The hourly mean NO_x emission levels are typically 300 to 400 mg/Nm³ at 6 % O₂. The NO_x emission of the EV3 boiler is very low (around 200 mg/Nm³) mainly due to the staged combustion air supply.

CO emission levels are typically less than 200 mg/Nm³ at 10 % O₂. The CO emission exhibits very high short-term peaks particularly in con-

nection with grate vibration sequence and in situations with unsteady fuel energy input.

Dioxines and PAH have also been measured and the emission levels were found to be very low. At three plants the dioxine levels were measured to be between 0.5 and 4.6 pg I-TEQ/Nm³ at 10 % O₂, which is very low compared to the future limit for waste incinerators of 100 pg I-TEQ/Nm³.

At elevated flue gas temperatures, electrostatic precipitators have problems observing the dust emission limit. When the flue gas temperature upstream the precipitator is kept within design limits the electrostatic precipitators work well, but in general bag filters are recommended for straw firing.

Slag and ash handling

The wet slag systems are subject to considerable wear and corrosion, and in several cases the material has been changed to stainless steel in order to reduce problems. Another issue has been uncombusted matter catching fire in the ash hopper below the grate exit. Such incidents have caused considerable damage and outage time. In general, the fly ash systems have not caused major problems.

The bottom ash can be utilised directly in the fields as a fertiliser, however the fly ash cannot be used for that purpose due to the elevated content of cadmium. Laboratory tests have proven that it is possible to produce a potassium rich product without cadmium, and this opens up for future re-use of a large share of the fly ash as fertiliser.

5 Economic Considerations

This section outlines the economics of a straw-fired combined heat and power plant. The figures given refer to Danish conditions.

Plant size has been chosen to approximately 25 MW net electric capacity, and the district heat supply capacity is approximately 50-53 MJ/s. The investment is approximately 400 Mio DKK (≈100 Mio DEM), and the straw price is 40-46 DKK/GJ (≈10-12 DEM/GJ). The power price is 300+100 DKK/MWh (≈100 DEM/MWh), and it is assumed that the DH-water is sold at a price of 47 DKK/GJ (≈12 DEM/GJ). It is further assumed

that the district heating system is large enough to allow for 8000 full load hours per year.

Since the subvention of the power price is only ensured for a period of 10 years, the same duration is chosen for the loan and depreciation period.

In spite of the high operating hours and the additional income from the sale of district heating the net present value is still negative after 10 years, indicating that the plant owner is running a considerable risk in building the plant. The example illustrates that substantial subventions for straw-fired CHPs are unavoidable if straw is expected to contribute to the ambitious goals of the EU. In Denmark the incentives for establishing stand-alone straw-fired CHP plants are not sufficient to ensure that new plants will be built in the future, and stand-alone CHP's cannot compete with co-firing of straw, which achieve similar incentives.

6 Summary and Conclusions

For many years, Tech-wise has been a major actor on the Danish CHP and biomass scene and in the latest decade Tech-wise has acquired an extensive knowledge in utilising straw and other types of biomass as fuel in the combined production of heat and power. An extensive R&D programme has been paralleled by establishing full-scale plants providing many years of operating experience.

The experience gained shows that although straw exhibits problematic behaviour mainly as a result of its physical/chemical properties, utilisation is technically feasible if a number of important aspects are taken into consideration when a plant is designed. The most important aspects are described in this paper.

Facing the prices of the liberalised power market and some of the competing renewable technologies, straw-fired CHPs will need economic assistance in the form of subventions and/or tax incentives.

If the incentives are sufficient, straw can contribute to the ambitious goals of the EU. Furthermore, a biomass/straw-fired CHP is an excellent opportunity for a local community to create local activity and employment, and at the same time pay a positive contribution to the ongoing battle against the pollution from energy production.

*Anschrift des Autors:
Leif Høgh Sørensen
Tech-wise A/S
Kraftværksvej 53
DK-7000 Fredericia
mail@techwise.dk*

Stroh- und Ganzpflanzenverbrennung am Beispiel der Strohheizwerke Schkölen und Jena

Th. Hering
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena/Dornburg

Einleitung

Im Rahmen des Projektes der FNR 97NR055 „Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe“ fanden in Ergänzung zu bereits stattgefundenen Versuchen und parallel zu Versuchen bei anderen Feuerungstechnologien weitere Verbrennungsversuche mit Stroh und Ganzpflanzengetreide in den beiden Thüringer Strohheizwerken statt. Dabei sollte speziell der Einfluss der Brennstoffeigenschaften auf die Verbrennungsführung, das Emissionsverhalten und die Aschezusammensetzung in größeren Feuerungsanlagen untersucht sowie die Probleme bei der Verbrennung erkannt und Grenzen aufgezeigt werden. Die Versuche wurden in Zusammenarbeit zwischen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Brennstoff- und Ascheanalytik) und der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Emissionsmessungen) durchgeführt.

Weitere Versuche mit unterschiedlichsten Feuerungstechnologien fanden am IVD (Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen; Universität Stuttgart) sowie der LTW (Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan; TU-München) statt.

Anlagenbeschreibung

Strohheizanlage Jena

Bei der Strohheizanlage in Jena handelt es sich um eine sogenannte Ballenteiler-Einschubfeuerung der dänischen Firma Linka mit einer Nennwärmeleistung von 1,75 MW. Der Brennstoff wird in einer Lagerhalle mit einem Fassungsvermögen von ca. 100 t bevorratet. Das entspricht ungefähr einem Fünftel des gesamten Jahresbedarfes an Brennstoff. Zwei Strohbahnen zu je 22 m Länge dienen als Tagesvorrat und gewährleisten die automatische Beschickung des Ofens. Die Ballen können dabei unterschiedliche Abmaße (Breite 1,20 m, Höhe von 0,6 bis 1,30 m, Länge von 1,50 bis 2,40 m) aufweisen. Das ermöglicht die Verwendung unterschiedlicher Quaderballenpressen.

Technologiebedingt wird der Ballen senkrecht aufgestellt und in Scheiben zu etwa 30 cm Stärke geschnitten. Diese Scheiben werden in einem frei wählbaren Pause-Puls-Regime in den wassergekühlten Feuerraum eingeschoben. Aufgrund der Vorgänge beim Aufrichten und Schneiden der Scheiben kommt es zu einer Diskontinuität in der Brennstoffbeschickung, welche emissionsseitig mit nicht unerheblichen Kohlenmonoxid-Spitzenwerten verbunden sind.

Die Anlage beheizt seit der Heizperiode 1995 die Gebäude der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

Strohheizanlage Schkölen

Die in Schkölen installierte 3,15 MW (Nennwärmeleistung) Strohheizanlage der Firma Volund aus Dänemark basiert auf dem Zigarrenabbrandprinzip. Die automatische Beladung des Einspeisezylinders mit den Brennstoffballen erfolgt mit Hilfe eines Strohkranes aus dem in vier Bahnen bereitgestellten Wochenlager. Der eigentliche Abbrand der Ballen erfolgt im vordersten Teil dieses Einspeisekanals bzw. auf den weiter vorgelagerten Eisenträgern. Noch unverbrannte Strohrefte fallen auf den Rost und werden infolge der Rostdurchlüftung weiter ausgebrannt. Durch die Ballenwechsel kommt es zu kurzen Unterbrechungen in der Brennstoffbeschickung, welche auch bei dieser Technologie mit kurzzeitigen Emissionsspitzen verbunden ist. Weiterhin ist die Anlage mit einer Rauchgasrezirkulation ausgerüstet.

Mit der Anlage wird seit 1993 die Kommune Schkölen (ca. 1600 Einwohner) weitestgehend mit Fernwärme versorgt. Der Strohbedarf liegt bei ca. 3000 t/a.

Beide Anlagen sind mit einem nachgeschalteten Zyklon- und Gewebefilter ausgerüstet, womit die Grenzwerte für Staub im Abgas eingehalten werden können. Außerdem sind die Anlagen mit einem automatischen Ascheaustrag ausgestattet, welcher eine Zusammenführung, Sammlung und Abtransport aller Aschefractionen ermöglicht. Um die Anlagen in einem möglichst hohen Leistungsbereich zu betreiben, wurden in beiden Anlagen Wärmespeicher nachgerüstet (Jena 1 x 55 m³; Schkölen 2 x 140 m³).

Eingesetzte Brennstoffe

In den vergangenen Jahren wurden an beiden Anlagen zahlreiche Versuche zum Einsatz unterschiedlichster Brennstoffe durchgeführt (s. Tab. 1).

Dabei zeigte es sich, dass bestimmte Brennstoffe besonders gut geeignet waren (feuerungstechnisch, emissionsseitig) und andere teilweise Probleme aufzeigten.

Als besonders günstig erwiesen sich Triticale (Stroh und Ganzpflanze), Winterweizenstroh und Ölleinstroh. Letztgenannter Brennstoff lies sich allerdings nur im Zigarrenbrenner verwenden, da dieser sehr faserhaltige Biobrennstoff ebenso wie Hanf in der Ballenteileranlage massive Probleme beim Schneidvorgang verursachte. Verbrennungsversuche mit Rapsstroh mussten aufgrund hervorgerufener starker Druckschwankungen im Feuerraum abgebrochen werden. Die Verbrennung von Haferstroh erwies sich in beiden Anlagen als ungeeignet.

Rechtliche Rahmenbedingungen (Emissionsgrenzwerte)

In Tabelle 2 werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf Emissionsgrenzwerte aufgezeigt. Dabei wird deutlich, dass es bereits bei den gegenwärtig gültigen Genehmigungsbescheiden deutliche Verschärfungen des Staubgrenzwertes gegeben hat und gegenüber den Vorschriften der TA Luft (spezieller Teil) zusätzliche Rauchgaskomponenten limitiert werden.

Tabelle 1: Zur Wärmeerzeugung und Versuchszwecke eingesetzte Fruchtarten in den Strohheizwerken Schkölen und Jena-Zwätzen 1994-2001

| Fruchtarten | Schkölen | | Jena | |
|---------------------------|----------|-------------|-------|-------------|
| | Stroh | Ganzpflanze | Stroh | Ganzpflanze |
| Winterweizen | o | X | o | |
| Wintertriticale | o | o | o | o |
| Winterroggen | | X | | |
| Bergroggen | | X | X | |
| Sommergerste | X | | | |
| Hafer | X | | X | |
| Raps | X | | | |
| Öllein | o | | X | |
| Hanf | X | | X | |
| Landschafts- pflegeheu | | | X | |
| Feldgras | X | | X | |

X eingesetzte Brennstoffe

O empfehlenswerte Brennstoffe

Der Entwurf zur Novellierung der TA Luft vom 08.12.2000 weist zudem weitere Verschärfungen und neue grenzwertrelevante Rauchgas-komponenten auf. Da nach dem gegenwärtigen Stand auch die novel-lierte TA Luft weiterhin Gültigkeit für strohbefeuerte Anlagen ab einer Anlagengröße von 100 kW Nennwärmeleistung besitzen wird, bedeutet das aufgrund von unverhältnismäßig hohen zusätzlichen Investitionen und Nebenkosten im Betrieb einen Stillstand in der Installation und Ent-wicklung von Anlagen im genannten Leistungsbereich. Da dieser Bereich von 100 kW bis 5 MW besonders für landwirtschaftliche Betriebe von besonderen Interesse ist, wird hier der Handlungsspielraum der regiona-len Wertschöpfung stark eingeschränkt.

Tabelle 2: Emissionsgrenzwerte nach TA Luft bzw. Genehmigungsbescheiden für Strohfeuerungsanlagen von >1 MW

| Rauchgaskomponente | TA Luft | Genehmigungsbescheide | | Entwurf TA Luft | Neu Jena |
|---|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Schkölen | Jena-Zwätzen | | |
| Staub | 0,15 g/m ³ | 50 mg/m ³ | 50 mg/m ³ | 20 mg/m ³ | 30 mg/m ³ |
| Kohlenmonoxid CO | 0,25 g/m ³ | 0,25 g/m ³ | 0,25 g/m ³ | 0,25 g/m ³ | 0,25 g/m ³ |
| Stickstoffmonoxid/dioxid - NO _x (als NO ₂) | 0,50 g/m ³ | 0,5 g/m ³ | 0,50 g/m ³ | 0,4 g/m ³ | 0,50 g/m ³ |
| Schwefeloxide – SO _x (als SO ₂) | k. GW | 0,4 g/m ³ | 0,60 g/m ³ | k. GW | 0,50 g/m ³ |
| Kohlenstoff-Gesamt - C _{Ges} | 50 mg/m ³ | 50 mg/m ³ | 50 mg/m ³ | 50 mg/m ³ | 50 mg/m ³ |
| Polyaromatische Kohlenwasserst. PAK | k. GW | 0,1 mg/m ³ ^a | 5 mg/m ³ ^b | k. GW | k. GW |
| anorg. Chlorverbindungen (als HCl) | k. GW | k. GW | 50 mg/m ³ | 30 mg/m ³ | k. GW |

- a. Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen bei einem Gesamtmassenstrom von 0,5 g/h oder mehr
 - b. Gesamtsumme krebserzeugender Stoffe Benzo(a)pyren und Benzol bei einem Massenstrom von 0,5 g/h oder mehr
- k.GW - kein Grenzwert

Die angegebenen Emissionswerte beziehen sich auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 11 vom Hundert (Normzustand 0°C, 1013 mbar)

Ergebnisse

Im Vergleich der beiden Strohheizanlagen wird deutlich, dass es aufgrund der unterschiedlichen Beschickungstechnologien zu einem technologisch bedingten unterschiedlichen Abbrand- und damit auch Emissionsverhalten kommt. Existiert bei der Ballenteiler-Einschubfeuerung bei jedem Ballenwechsel aufgrund einer etwa 2-minütigen Unterbrechung der Brennstoffzufuhr eine relativ hohe und bei jedem Schneidvorgang

eine zusätzliche absolut gesehen etwas niedrigere Emissionsspitze für Kohlenmonoxid (s. Abb. 1) sind beim Zigarrenabbrand diese hohen Werte nur beim Ballenwechsel zu verzeichnen (s. Abb. 2). Wie lang die Phase des Ballenwechsels im Praxisbetrieb ist, wird maßgeblich durch die Ballenlänge, die Pressdichte und die Anlagenfahrweise bestimmt. Unterschiedliche Ballenlängen und Pressdichten führen beim Zigarrenabbrand zu Problemen beim Nachschieben der Ballen im Einspeisekanal. Aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass sich beim automatischen Betrieb der Anlage (ab ca. 18:00 Uhr) die Phase des unvollständigen Ausbrandes bis auf 20 Minuten ausdehnen kann. Diese Fahrweise ist für die Einhaltung der geforderten Emissionsgrenzwerte als kritisch anzusehen. Weiterhin wird deutlich, dass bei einem wärmeabnahmebedingten Vollastbetrieb die für eine Abnahmemessung relevanten Halbstundenmittelwerte im Durchschnitt durchaus höher liegen können als im Teillastbetrieb. Das beruht im Wesentlichen auf der Tatsache, dass es bei Vollast ca. jede halbe Stunde zu einem Ballenwechsel mit den damit verbundenen Emissionsspitzenwerten kommt.

Beim Vergleich von Ganzpflanzengetreide zu Getreidestroh lässt sich generell ein höheres Niveau an Stickoxidwerten bei ersteren feststellen. Dieses lässt sich zum einen mit den höheren Stickstoffgehalten des Brennstoffes erklären zum anderen aber auch durch den verbesserten Ausbrand bei Ganzpflanzengetreide. Dieser wurde nicht zuletzt auch durch die Struktur des Ganzpflanzengetreides positiv beeinflusst. Lange Halme verbunden mit einem verbesserten Ausbrand in der Brennzone und einem geringeren Anteil von unverbrannten Material, welches auf dem Rost nachverbrannt werden muss, stellen einen Vorteil gegenüber den in jüngster Zeit aufgrund des Einsatzes von Strohrefißern immer kurzhalzigeren Stroh dar. Nur aufgrund des Einsatzes der Rauchgasrezirkulation war es möglich, den geforderten Grenzwert einzuhalten. Weiterer Spielraum zugunsten der Absenkung der Stickoxidwerte wird nur zu Lasten höherer CO-Emissionen im Rahmen der gegebenen Anforderungen gesehen. Die Einhaltung des Grenzwertes bei Schwefeloxiden ist als unproblematisch anzusehen. Ebenso stellen sich die bei der eingesetzten Filtertechnik ermittelten Staubwerte dar. Wesentlich kritischer sind die besonders in Bezug auf die Novellierung der TA Luft (allg. Teil) ermittelten Werte für Dioxine und Furane sowie Chlorwasserstoffemissionen zu betrachten (s. Abb. 4 und 5). Während der Zusammenhang steigender PCDD/F-Gehalte mit einem steigenden Chlorniveau im Brennstoff nicht

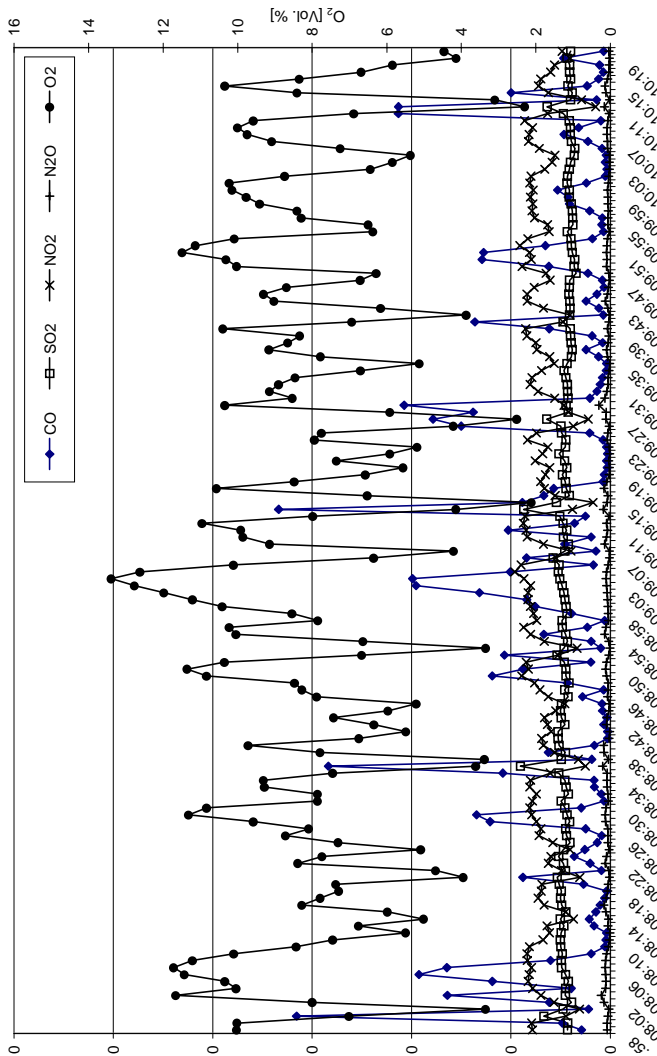


Abbildung 1: Typische Emissionsverläufe beim Ballenteilerprinzip (Strohfeuerungsanlage Jena-Zwätzen, Triticale-Ganzpflanze, 3.2.1999)

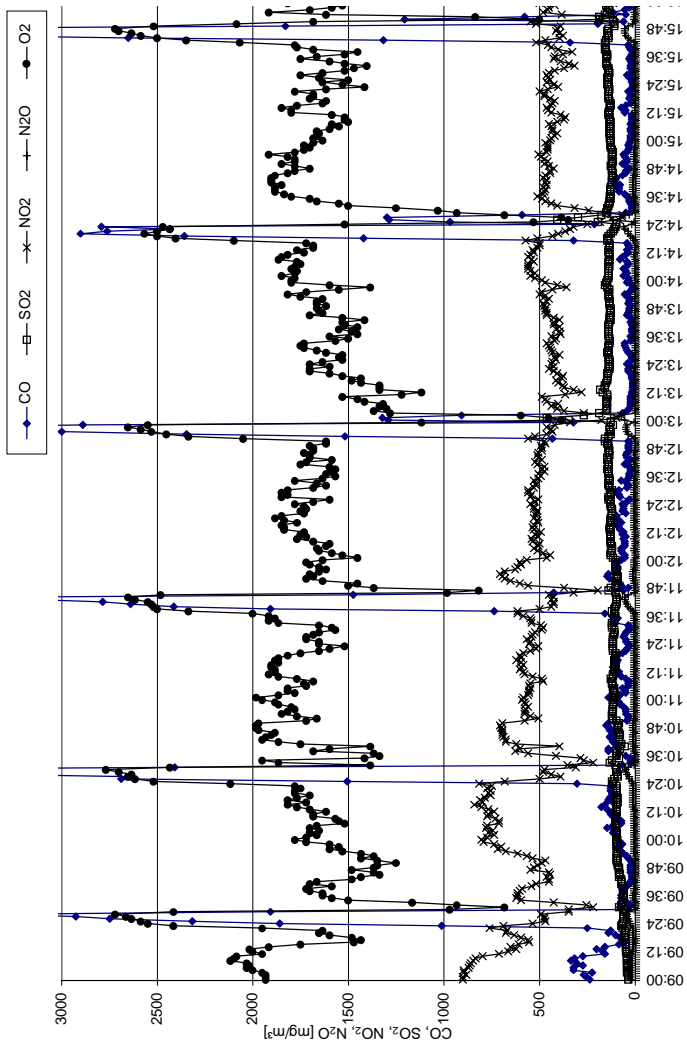


Abbildung 2: Typische Emissionsverläufe beim Zigarrenabbrandprinzip (Strohfeuerungsanlage Schkölen, Triticale-Ganzpflanze, 21.2.2001)

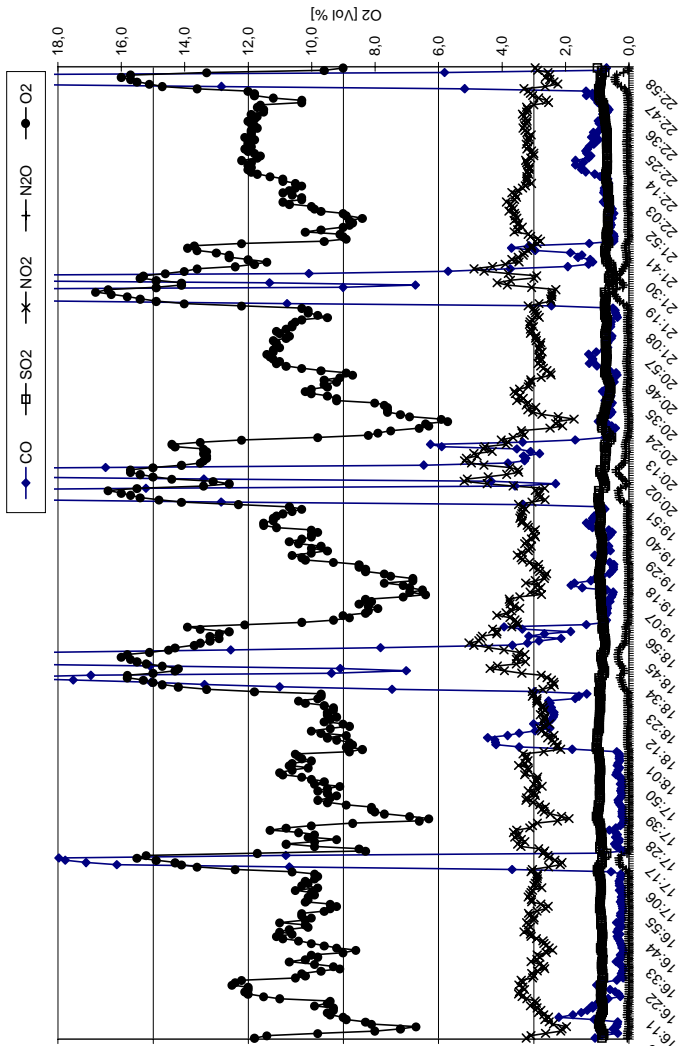


Abbildung 3: Typische Emissionsverläufe beim Zigarrenabbrandprinzip (Strohfeuerungsanlage Schkölen, Triticale-Ganzpflanze, 21.2.2001)

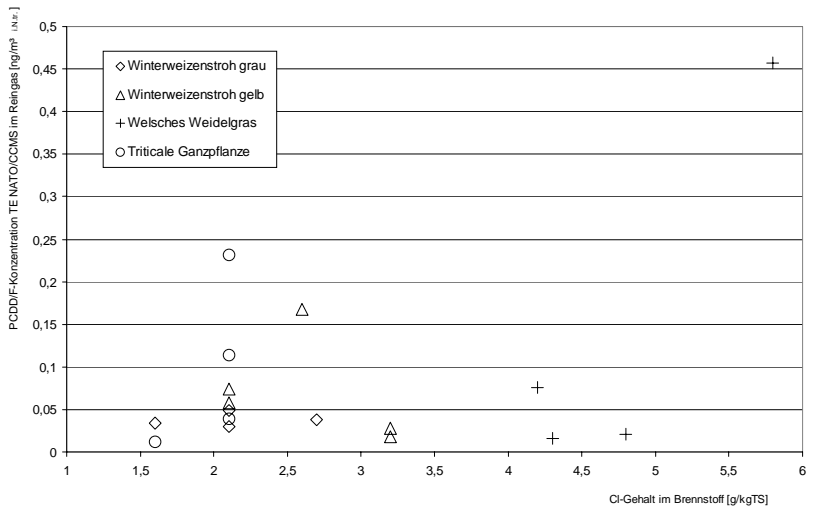


Abbildung 4: PCDD/F-Emissionen in Abhängigkeit vom Chlorgehalt des eingesetzten Brennstoffes

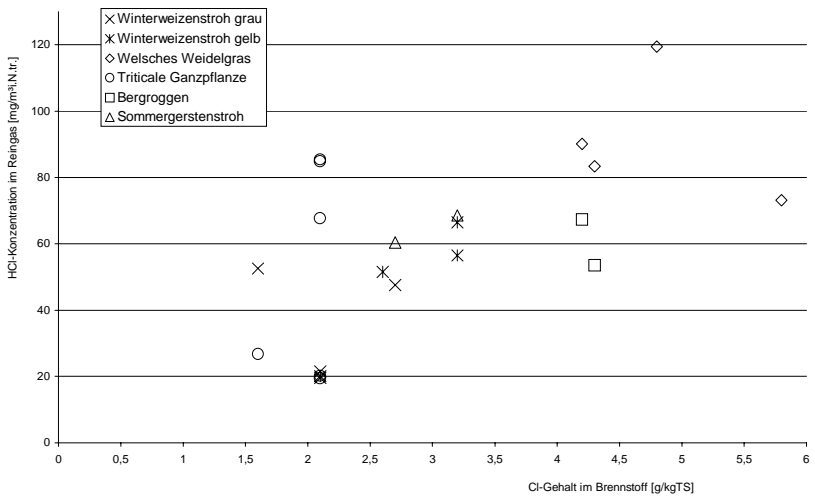


Abbildung 5: HCl-Emissionen in Abhängigkeit vom Chlorgehalt des eingesetzten Brennstoffes

eindeutig nachgewiesen werden konnte, werden die ansteigenden HCl-Emissionen deutlich. Mit einem evtl. herangezogenen Grenzwert für PCDD/F von $0,1 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ sowie 30 mg/m^3 für HCl sind die bislang ermittelten Werte als sehr kritisch zu betrachten. Geeignete Minderungsmaßnahmen sollten im Vorfeld geprüft und monetarisiert werden.

Da im Falle der Jenaer Anlage umfangreiche Optimierungsversuche nicht zu einer wesentlichen Senkung des mittleren CO-Emissionsniveaus führten (s. Abb. 6), wurden zur Behebung der Mängel Umbaumaßnahmen notwendig. In der Schköleener Anlage werden die gegenwärtig bestehenden Mängel beim automatischen Betrieb in der nächsten Sommerpause behoben.

SHW Jena (Triticale Ganzpflanze)

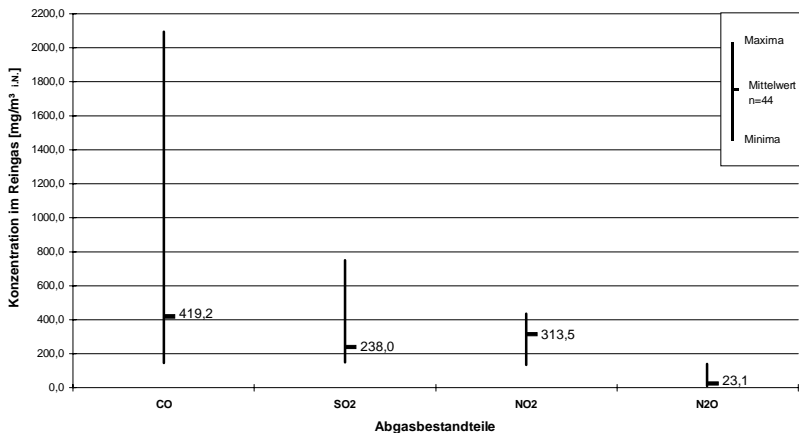


Abbildung 6: Halbstundenmittelwerte der CO, SO₂, NO₂, N₂O - Emissionsmessungen

Probleme in der Praxis

Neben den bereits dargestellten Problemen bereitet der besonders bei Halmgütern aufgrund der Inhaltsstoffzusammensetzung (Na, K, Mg, Ca) herabgesetzte Ascheschmelzpunkt zahlreiche Probleme. Dabei ist besonders Augenmerk auf die Feuerraumtemperatur zu lenken, welche sich

im Falle des Schkölener Strohheizwerkes in einem Temperaturfenster von ca. 600 - 750 °C bewegen sollte. Diese für einen optimalen Ausbrand relativ niedrige Temperatur hat sich im Betriebsregime der Anlage als ein Kompromiss zwischen Ausbrandqualität (CO- und NO_x-Emissionen) und Kesselstandzeiten (vertretbaren Reinigungsintervallen) herauskristallisiert. Damit konnten die Wartungsintervalle verdoppelt werden (von 3 auf 6 Wochen). Die nachfolgenden Probleme der Grobschlackeanteile bei der Ascheverwertung konnten mit Hilfe des Einsatzes einer Düngermühle gelöst werden mit deren Hilfe die bis zu 400 mm Kantenlänge aufweisenden Schlackebrocken auf Kantenlängen bis max. 40 mm reduzierbar sind. Diese bereiten keine weiteren Probleme bei der Ausbringung mit einem herkömmlichen Düngerstreuer.

Zusammenfassung

Brennstoffvergleich

Im Vergleich von Ganzpflanzengetreide gegenüber Getreidestroh hat sich eine Reihe von Vor- und Nachteilen herauskristallisiert. Die entscheidenden Vorteile bei der Nutzung von Ganzpflanzengetreide liegen verbunden mit einer höheren Pressdichte in der höheren Energiedichte. Damit werden nicht nur die Umschlagszeiten verkürzt, sondern es wird ebenso die Brenndauer erhöht, was sich unmittelbar auf das Emissionsniveau auswirkt. Außerdem steigt mit höherer Pressdichte die Kontinuität der Brennstoffzufuhr, was zu einem gleichmäßigeren Abbrand führt. Weiterhin hat sich die längere Halmlänge bei Ganzpflanzengetreide als günstig gegenüber den aufgrund des häufigeren Einsatzes von Strohrefßern immer kürzer werdenden Halmabschnitten beim Getreidestroh erwiesen. Der geringere Anteil an Chlor im Brennstoff führt zu geringeren HCl-Emissionen, die geringeren Anteile an Kalium zu einer verringerten Schlackebildung. Ebenso positiv für das Gesamtsystem sind die niedrigeren Aschegehalte bei Ganzpflanzengetreide.

Als Nachteil sind, mit Ausnahme bei Verwendung von Triticale-Ganzpflanze, die höheren Verluste bei Ernte, Lagerung und Transport von Ganzpflanzengetreide gegenüber Getreidestroh sowie die höheren Stickstoffgehalte anzumerken. Letztere führen zu erhöhten NO_x-Emissionen.

Anlagenvergleich

Vergleicht man beide Anlagen so liegen die Vorteile der Anlage in Schkölen (Zigarrenbrenner) im:

- modulierenden Anlagenbetrieb \Rightarrow kein Gluthaltebetrieb
- kontinuierlichere Brennstoffzufuhr \Rightarrow weniger Emissionsspitzen
- vorhandene Rauchgasrezirkulation \Rightarrow Minderung der NO_x -Emissionen
- erweiterte Brennstoffpalette nutzbar \Rightarrow faserhaltige Brennstoffe einsetzbar
- vorhandene Erfahrung durch enge Zusammenarbeit mit Hersteller der Anlage und Begleitforschung

Nachteile liegen in den höheren Anforderungen an die Ballenmaße (Breite 1,20 m, Höhe 1,30 m, Länge von 2,00 bis 2,60 m) und in der zeitaufwendigeren Stapelung.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. Thomas Hering

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Apoldaer Str. 4

D-07778 Dornburg

TLL-Dornburg@t-online.de

Erfahrungen und Aussichten der energetischen Verwertung halmgutartiger Biomasse in Österreich

J. Rathbauer

Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, Österreich

1 Generelle Daten Österreich

Österreich hat eine Staatsfläche von 83.900 km². Bei einer Einwohnerzahl von 8,1 Millionen steht pro Kopf eine Fläche von 1 ha zur Verfügung. Die Waldfläche liegt bei 39.000 km². Dies entspricht einem Anteil von 47 %. Aufgrund des Rückgangs der in der Landwirtschaft Beschäftigten und der Topographie nimmt die Waldfläche im Durchschnitt der letzten Jahre mit 7.700 ha pro Jahr zu. Dies unterstreicht die Bedeutung der auf der Holznutzung basierenden Bioenergieträger. Vom jährlichen Holzzuwachs von 31 Millionen Festmetern werden nur rund zwei Drittel genutzt. So kommt es zu einem stetigen Anstieg des Holzvorrates in den Wäldern. Die Nutzung dieser vorhandenen Biomasse ist in allen Konzepten prominent vertreten. Die landwirtschaftliche Nutzfläche umfasst rund 34.000 km². Der Anteil des Ackerlandes nimmt stetig ab und liegt derzeit bei rund 1,39 Mio. ha. Die Fläche des Dauergrünlandes, derzeit 1,94 Mio. ha ist ebenso rückläufig.

2 Potential

Getreidestroh:

Auf rund 600.000 ha wird in Österreich Getreide (Weizen, Gerste, Roggen, Hafer) angebaut. Daraus resultiert eine Gesamtstrohmenge von rund

2,4 Mio. Tonnen. Ein Teil davon wird nach wie vor als Einstreu genutzt bzw. direkt in den Boden eingearbeitet. Bei einer angenommenen energetischen Nutzung von 25 % dieser Gesamtstrohmenge stünden für die energetische Nutzung rund 600.000 t Stroh pro Jahr zur Verfügung.

Körnermaisstroh:

Die Anbaufläche für Körnermais beläuft sich in Österreich auf 170.000 ha. Das dabei anfallende Maisstroh in einer Menge von 1,2 Mio. t wird in den Boden eingearbeitet. Aufgrund des zum Erntezeitpunkt hohen Wassergehaltes ist Maisstroh nicht ohne Behandlung (Silagebereitung, Trocknung) lagerfähig. Bei Annahme einer 50%-igen Nutzung läge das Potential bei 600.000 t pro Jahr.

Energiepflanzen

In Österreich liegt die Stilllegungsfläche bei rund 100.000 ha. Diese Fläche steht für die Produktion von Biomasse zur Verfügung. Unter österreichischen Bedingungen werden bei Getreideganzpflanzen wie Winterweizen oder Triticale rund 10 t Trockenmasse geerntet. Bei Miscanthus (Riesenchinaschilf) werden in Gunstlagen über jetzt nahezu 10 Jahre 18 bis 20 t Trockenmasseertrag pro ha und Jahr erzielt. Bei Versuchen mit Kurzumtriebsholz liegen die Zuwächse bei rund 7 t Trockenmasse pro ha und Jahr. Auf Kurzumtriebsholz wird aufgrund der anderen Zielsetzung nicht näher eingegangen. Das Potential bei den halmartigen Energiepflanzen liegt bei 0,7 bis 2 Mio. t Trockenmasse pro Jahr.

Grünland:

Aufgrund der Reduktion der Tierzahl sowie des Anstiegs der spezifischen Milchleistung kommt es in den nächsten Jahren zu einer Freisetzung von extensivem Grünland in der Größenordnung von 250.000 bis 400.000 ha. Auf dieser Fläche stünde dann eine Menge von 500.000 t Trockenmasse für die energetische Nutzung zur Verfügung.

Schilf:

Der Neusiedler See als flacher Steppensee besitzt in Österreich ein Schilffläche von rund 6.000 ha. Das jährlich nutzbare Potential beläuft sich bei vorsichtiger Schätzung auf bis zu 30.000 t pro Jahr.

3 Stand der Technik

Zur Zeit gibt es in Österreich 10 strohbefeuerte Fernheizwerke mit einer Gesamtnennleistung von 22 MW. Die in diesen Anlagen jährlich genutzte Getreidestrohmenge liegt bei rund 12.000 t. Die Anlagen sind alle in den nordöstlichen Ackerbaugebieten lokalisiert. Die Anlagen sind dänischer, niederländischer und österreichischer Provenienz. Das Strohpressen und die Logistik sind in der Regel überbetrieblich gelöst. Die Anlieferung erfolgt meist in Form von Großquaderballen. Die Strohballen werden vor der Einbringung in den Kessel aufgelöst oder portionsweise eingeschoben. Die Rauchgasreinigung erfolgt über Elektrofilter oder Schlauchfilter.

Im Jahre 1995 wurden seitens der BLT bei 6 Strohfeuerungen Kurzzeitmessungen durchgeführt. Die Emissionswerte – CO₂, CO und NO_x – sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Emissionswerte Strohfernheizwerke

| Anlage | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|------|-----|-----|------|------|------|
| CO ₂ [%] | 13,1 | 9,0 | 5,1 | 10,7 | 5,2 | 7,0 |
| CO [ppm] | 322 | 792 | 436 | 2523 | 1692 | 2139 |
| NO _x [ppm] | 155 | 83 | 47 | 151 | 52 | 80 |

Von einem österreichischen Biomassenkesselhersteller wurde eine neue Feuerung für die Nutzung von Stroh entwickelt. Die Strohballen werden vom Lager mittels Hallenkran auf einem Tisch aufgelegt, um 90° gekippt und portionsweise in den Brennraum eingeschoben. Die Zufuhr von Verbrennungsluft erfolgt über drei Gebläse. Den Rauchgasen wird im Wärmetauscher Energie entzogen. Die Rauchgasreinigung erfolgt mittels Elektrofilter. In dieser Anlage mit einer Nennwärmeleistung von 2,5 MW wurden in einem Forschungsprojekt Getreideganzpflanzen – Triticale in gedüngter und ungedüngter Variante – eingesetzt und mit Stroh

verglichen. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die wesentlichen Ergebnisse festgehalten.

Tabelle 2: Emissionsmessungen mit Stroh und Getreideganzpflanzen

| | CO ₂ [Vol %] | CO | NO _x | SO ₂ | TOC | Staub | Abgas- temp. [°C] |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----------------|-----------------|-----|-------|----------------------|
| | [mg/Nm ³] | | | | | | |
| Limit | --- | 250 | 300 | --- | --- | 120 | --- |
| Stroh I | 6,6 | 94 | 164 | 55 | 2 | 17 | 88,6 |
| Stroh II | 5,4 | 92 | 218 | 68 | 6 | 24 | 88,1 |
| GGP ung. ^a | 5,2 | 39 | 198 | 166 | 2 | 26 | 89,2 |
| GGP ged. | 3,6 | 82 | 206 | 173 | 2 | 19 | 91,8 |

a. GGP = Getreideganzpflanzen (Triticale); ung. = ungedüngt; ged. = gedüngt

Mit einer identen Anlage sind Tastversuche mit Schilfbällen durchgeführt worden. Die Schilfbälle sind bei gleichem Format um rund 100 kg schwerer als die Strohbälle. Dies führte zu Problemen beim Hallenkran. Die gemessenen Emissionswerte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Emissionsmessung bei Schilfbetrieb

| | |
|-------------------------|---------|
| CO ₂ [Vol %] | 7 - 8 |
| CO [ppm] | 40 - 60 |
| NO _x [ppm] | 100 |

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden von einem österreichischen Energieversorgungsunternehmen die Chancen für den Einsatz von Stroh in einem kalorischen Kraftwerk in Niederösterreich untersucht. Bei einem Einzugsgebiet mit 50 km Radius um das Kraftwerk sind 300.000 t Stroh frei verfügbar. Bei einem Preis von 58,1 € (800 ATS) pro t Stroh exkl. Umsatzsteuer frei Kraftwerk ergeben sich Stromerzeugungskosten von 6,54 €cent/kWh (0,9 ATS/kWh). Bei dieser Kalkulation werden die Anlagenkosten mit 43,6 Mio € (600 Mio. ATS) veranschlagt. Das Anlagenkonzept sieht dabei einen externe Strohfeuerungsanlage mit einer Leistung von 100 MW thermisch mit Anbindung an den Kohleblock vor.

4 Beurteilung

Bei der nachfolgenden Beurteilung wurden bei den verschiedenen 4 Bereiche bewertet:

- Die Produktion – in wie weit sind die pflanzenbaulichen Belange geklärt
- Die Ernte bzw. die Logistik – ist eine schlagkräftige Mechanisierung verfügbar
- Die energetische Nutzung – sind kommerzielle Anlagen am Markt, ist die Technik etabliert
- Die Wirtschaftlichkeit – ist die energetische Nutzung der entsprechenden Halmgüter als ganze Kette wirtschaftlich umgesetzt oder realisierbar

Stroh:

Stroh ist ein Koppelprodukt bei der Getreideproduktion. Die Ernte ist mit schlagkräftigen Maschinen durchführbar. Die Logistik sowie die energetische Nutzung in Fernheizwerken und in Kraftwärmekopplungen sind realisiert. Die Wirtschaftlichkeit ist bei sorgfältiger Planung und Umsetzung gegeben.

Nasse Biomasse wie Mais, Gras, Körnermaisstroh:

Hinsichtlich Produktion, Ernte und Logistik kann die Technik und das Know-how der Futterwerbung und Konservierung genutzt werden. Die energetische Nutzung als Cofermentationssubstrat in Biogasanlagen steht in Österreich noch am Anfang. Ein großes Problem ist es diese Anlagen wirtschaftlich zu betreiben, da es in Österreich keine für das ganze Bundesland einheitlichen Einspeisetarife für Strom aus erneuerbaren Energieträgern gibt.

Getreideganzpflanzen:

Die Produktion von Getreideganzpflanzen ist vom konventionellen Getreidebau her bekannt. Der Bestand wird kurz vor der Totreife auf Schwad gelegt und nach einer Abtrocknungsphase mit Großballenpressen gepresst. Die energetische Nutzung in Strohfeuerungsanlagen hat gut

funktioniert. Die Wirtschaftlichkeit ist zur Zeit im Vergleich zu Kornnutzung und Strohnutzung noch schwer erreichbar.

Miscanthus:

In Österreich wurden der Anbau, Sorteneignung, Vermehrung und Fragen der Düngung von Miscanthus auf verschiedenen Standorten über ein Jahrzehnt eingehend untersucht. Nach wie vor ist die Erntetechnik und die Lagerung bei größeren Mengen nicht zufriedenstellend gelöst. Die Wirtschaftlichkeit kann daher auch noch nicht seriös beurteilt werden.

Grünland:

Die Bearbeitung, Ernte von Grünlandbeständen ist von der Futterbereitung her bekannt. Die energetische Nutzung von Heu wird in den nächsten Jahren in einem Forschungsprojekt behandelt. Die Wirtschaftlichkeit ist derzeit eine offene Frage.

Schilf:

In Österreich gibt es von der Größe her interessante Schilfflächen, die nur zu einem geringen Teil mit einem hohen manuellem Aufwand beerntet werden. Die Erntetechnik ist somit auch die zentral zu lösende Frage, um diesen biogenen Energieträger energetisch in größerem Umfang zu nutzen.

5 Zusammenfassung

- Die Nutzung von Großquaderballen von Stroh in mittleren und größeren Anlagen ist eine etablierte Technologie. Aufgrund der relativen geringen spezifischen Dichte sind die Transportradien begrenzt.
- Ein Einsatz von Getreidestroh in kalorischen Kraftwerken ist technisch grundsätzlich möglich. Eine zentrale Frage sind die Rahmenbedingungen bzw. die Preise des internationalen Strommarktes.
- Für eine größere Marktdurchdringung mit Halmgütern im Kleinanlagenbereich erscheint der Weg der Pelletierung als aussichts-

reichster. Diese Technik ist hinsichtlich der Qualität und der Kosten bei Halmgütern noch zu verbessern.

- Miscanthus ist vom pflanzenbaulichen Potential her nach wie vor interessant. Die Umsetzung in einem konkreten Biomassefernheizwerk ist zur Zeit in der Phase der Konzepterstellung.
- Bei Schilf ist die Erntetechnik der wesentliche Knackpunkt. Es gibt einige Praxisüberlegungen bezüglich der Ernte von Altschilfbeständen.
- Der Einsatz von halmartigen Energiepflanzen wie Mais, Sudan-gras, Hanf nach Zerkleinerung und eventueller Silagekonservierung in Biogasanlagen ist im Anlaufen.
- Der Aufwuchs von nicht mehr für die Fütterung benötigtem Grünland wird in einem Projekt in aller Breite erforscht.

Anschrift des Autors:

Josef Rathbauer

Bundesanstalt für Landtechnik

Rottenhauserstrasse 1

A-3250 Wieselburg

josef.rathbauer@blt.bmlf.gv.at

Gesetzliche Grundlagen und Emissionen bei der Korn- und Ölsaatenverbrennung

Th. Hering

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena/Dornburg

1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die gegenwärtigen gesetzlichen Rahmenbedingungen zeigen, dass Körner und Ölsaaten keine explizit zugelassene Brennstoffe sind. Die 1. BImSchV verweist im § 5 für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung kleiner 15 kW auf die zugelassenen Brennstoffe nach § 3 Nr. 1-4 oder 5a, welche keine Einsatzmöglichkeit für Getreidekörner und Ölsaaten darstellen. Für Anlagen ≥ 15 kW bis < 100 kW sind die einsetzbaren Brennstoffe ebenfalls im § 3 Nr. 1-12 aufgezeigt. Speziell der Punkt Nr. 8 „Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe“ ist dabei besonders relevant. Hier wird im Kommentar von Feldhaus, 1988 zur 1. BImSchV der Begriff „strohähnliche pflanzliche Stoffe“ wie folgt näher erläutert \Rightarrow „Energiepflanzen, wie z. B. Schilf, Elefantengras, Heu, Maisspindeln“. Es bleibt jedoch immer noch Ermessensspielraum für die entsprechende Vollzugsbehörde, ob Ölsaaten und Getreidekörner zugelassene Brennstoffe im Sinne von „strohähnlichen pflanzlichen Stoffen“ sind. Für genehmigungsbedürftige Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung > 100 kW gilt die 4. BImSchV und damit die TA Luft. In dieser wird im Punkt 3.3.1.3.1. bislang nur bei den relevanten pflanzlichen Brennstoffen Stroh als zugelassener Brennstoff erklärt.

2 Vorhandene Technik/ Anlagen

Trotz der bislang noch nicht vollständig geklärten rechtlichen Situation gibt es gegenwärtig Anbieter von Heizungsanlagen für die Verbrennung von Getreidekörnern, -reststoffen, Ölsaaten etc. In Deutschland bieten z. B. die Firmen Ökotherm und Bioflamm WVT nach eigenen Angaben geeignete Anlagen für die Verbrennung o. g. Brennstoffe an. Während die Firma Ökotherm bereits ein Dutzend Anlagen im Kleinanlagenbereich (Nennwärmeleistungen von 33/49/88 kW), hauptsächlich im süddeutschen Raum (Baden-Württemberg) verkauft hat, bietet die Firma Bioflamm WVT international seit längerer Zeit Anlagen auch im Bereich bis über 1 MW an. Die Saatzuchtgenossenschaft Dudingingen (Schweiz) nutzt schon seit über 10 Jahren einen derartigen Ofen zur Verbrennung von Fehlchargen.

Zahlreiche Anbieter für Kornverbrennungsanlagen gibt es in Dänemark. Diese Anlagen unterscheiden sich dabei in Anlagen zur ausschließlichen Verbrennung von Körnern und in Anlagen, welche in Kombination mit Holzhackschnitzeln und/oder Holzpellets bzw. Scheitholz betrieben werden können. Da die gesetzlich geforderten Emissionsgrenzwerte für derartige Anlagen in Dänemark jedoch weit über den in Deutschland gültigen Grenzwerten liegen, bleibt es zu überprüfen, ob diese Anlagen entsprechend den Anforderungen der 1. BImSchV betreibbar sind.

3 Eingesetzte Brennstoffe

Die gegenwärtig vorhandenen Anlagen für die Verbrennung von anderen Brennstoffen als denen, welche im § 3 Nr. 1-12 der 1. BImSchV bzw. in der TA Luft im Punkt 3.3.1.3.1. genannten, sind laut den einzelnen Herstellerangaben feuerungstechnisch für eine umfangreiche Brennstoffpalette geeignet. Diese reicht von Getreidekörnern, Getreidereststoffen (Spelzen, Ausputz, Kleie, Mutterkorn usw.), Ölsaaten, Ölsaatenreststoffen, Reisschalen über Erbsen, Röstzwiebeln, Maisspindeln bis hin zu Kirsch-, Pflaumen-, Oliven- und Pfirsichkernen. Diese Brennstoffe können dabei sowohl in loser als auch z. T. in komprimierter Form als Pellet vorliegen und energetisch genutzt werden.

4 Emissionen

Zu den derzeit in Deutschland wenig eingesetzten Brennstoffen (s. Punkt 3.) liegen für eine emissionsseitige Bewertung nur unzureichende Erkenntnisse vor. Es gibt bislang kaum wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse zum Abbrandverhalten von derartigen Brennstoffen. Besonders im Hinblick auf die nach 1. BImSchV nicht emissionsseitig begrenzten Rauchgaskomponenten wie z. B. NO_x , SO_2 , PCDD/F, HCl liegen nur unzureichende Ergebnisse von unabhängigen Instituten vor. Eine durchgeführte Anfrage bei zahlreichen dänischen Herstellern der in Punkt 2 genannten Anlagen führte u. a. durch einen ungenügenden Rücklauf zu keinen klaren Aussagen über die Emissionen derartiger Anlagen. Zum Teil finden gegenwärtig Typenprüfungen einzelner Öfen z. B. beim TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt sowie der BLT Wieselburg in Österreich statt.

5 Handlungsbedarf

Besonderer Handlungsbedarf wird seitens der Thüringer Landesanstalten für Umwelt und Geologie bei der Prüfung der Emissionen von Feuerungsanlagen beim Einsatz von Stroh und ähnlichen pflanzlichen Stoffen über alle Anlagengrößen und Verbrennungstechnologien gesehen. Dabei sollten ebenso Untersuchungen zur Korngrößenverteilung der Stäube stattfinden (Feinstaubproblematik).

Weiterhin ist eine Bewertung der Emissionen unter Berücksichtigung der Immissionswirksamkeit und der Klimarelevanz notwendig. Dabei ist auch dem Brennstoffhandling z. B. im Hinblick auf mögliche Keimbelaftung Beachtung zu schenken.

Die Feststellung des Standes der Technik z. B. der Verbrennungstechnik und der Abscheidetechnik ist unabdingbare Voraussetzung für einen Einstieg und die Entwicklung der Körner- und Ölsaatenverbrennung.

Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen sollte eine Einarbeitung der erweiterten Brennstoffpalette und Emissionsniveaus in rechtliche, technische Regelwerke erfolgen. Hier könnten Ergänzungen bzw. Angleichungen für eine bessere Rechtssicherheit bei Verwaltungsentscheidungen sorgen.

*Anschrift des Autors:
Dipl.-Ing. Thomas Hering
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Apoldaer Str. 4
D-07778 Dornburg
TLL-Dornburg@t-online.de*

Ergebnisse der Diskussion und Zusammenfassung

A. Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

Im Rahmen dieses Fachgespräches ist es den Vortragenden und den Diskussionsteilnehmer in ausgezeichneter Weise gelungen, den Stand der Technik im Bereich der energetischen Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und vergleichbaren halmgutartigen Bioenergieträgern herauszuarbeiten und die Hemmnisse einer verstärkten Nutzung von Stroh und ähnlichen biogenen Brennstoffe zu identifizieren und zu beschreiben.

Bedingt durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen des Emissionsrechts muss klar zwischen nicht genehmigungspflichtigen Anlagen zur Nutzung von Stroh und ähnlichen biogenen Brennstoffe unterhalb einer Feuerungswärmeleistung von $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ und den genehmigungspflichtigen Anlagen oberhalb dieser Feuerungswärmeleistung unterschieden werden. Während im Geltungsbereich der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung (1. BImSchV) unterhalb von $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ eine Reihe von Anbietern strohtaugliche Feuerungsanlagen anbieten, ist oberhalb dieser Grenze der Feuerungswärmeleistung festzustellen, dass in den letzten 10 Jahren in Deutschland quasi keine Zubau an Leistung bzw. keine eigenständige deutsche Weiterentwicklung erfolgte. Dabei ist festzustellen, dass insbesondere im Bereich der für die Landwirtschaft interessanten dezentralen Wärmeerzeugung im Leistungsbereich zwischen 200 und $500 \text{ kW}_{\text{th}}$ nahezu keine Fortentwicklung festzustellen ist. Damit unterscheidet sich die Entwicklung in Deutschland deutlich von der in Nachbarländern wie Dänemark und Österreich, die ihr im Vergleich zu Deutschland kleineres Potential an halmgutartigen Brennstoffen erheblich stärker ausnutzen.

Die Ansatzpunkte für die zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung sowie der Ziele des Weißbuchs "Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger" (KOM(97) 599 endg.) der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vom 26. November 1997 notwendige Ausweitung der energetischen Nutzung von Stroh und ähnlichen halmgutartigen Brennstoffen lassen sich in drei unterschiedliche Bereiche einordnen:

1. Technische Anlagenoptimierung,
2. Rechtliche Rahmenbedingungen,
3. Fördermaßnahmen.

Im einzelnen wurden die folgend dargestellten Maßnahmen diskutiert:

Technische Anlagenoptimierung

Hinsichtlich der Anlagentechnik zur energetischen Nutzung von Stroh und ähnlichen halmgutartigen Biomassen wurde, gerade im Bereich von Anlagen oberhalb von 100 kW_{th} Feuerungswärmeleistung, noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf festgestellt.

Dieser FuE-Bedarf resultiert aus dem Wechselspiel zwischen den feuerungstechnischen Eigenschaften von Stroh u. ä. einerseits und dem geltenden Emissions- und Genehmigungsrecht andererseits.

Für viele Anlagentypen im gesamten Leistungsbereich wird die zukünftige Einhaltung des Grenzwertes für Stäube, besonders bei der Einführung eines Grenzwertes für Feinstäube, als problematisch angesehen. Für Feuerungsanlagen unterhalb von 1 MW_{th} ist praktisch keine kostengünstige und damit wirtschaftliche Entstaubungstechnik vorhanden. Nach Auffassung vieler Teilnehmer des Fachgesprächs sollten hierzu entsprechende FuE-Vorhaben initiiert werden. Gleichzeitig sollte, auch im Zusammenhang mit dem zukünftig zu erwartenden Grenzwert für Gesamt-Kohlenstoff im Abgas, die Kenntnisse der Zusammensetzung und Entstehung der Stäube vertieft werden, um mögliche Ansätze zur Verhinderung der Staubbildung zu identifizieren. Dabei sind auch verschiedene Konditionierungsformen des Brennstoffes zu untersuchen. Spezielle Vorbehandlungen der Brennstoffe bereits bei der Ernte wurden allerdings als wenig aussichtsreiche Möglichkeit angesehen.

Aus der Notwendigkeit der Einhaltung zukünftiger Grenzwerte heraus ergaben sich auch Forderungen nach einer Weiterentwicklung der

Anlagentechnologie, speziell bei größeren Anlagen für den Heiz(kraft)werksbereich. Hier wurde die mehrheitlich von Teilnehmern am Fachgespräch die Auffassung vertreten, dass die heute vorhandenen, auf dänischer Technologie basierenden, absatzweise den Brennstoff zuführende Anlagen Schwierigkeiten hätten, in der Zukunft den Grenzwert für CO einzuhalten. Da auch die zulässige Anzahl der Grenzwertüberschreitungen erheblich reduziert werde, müssten neue, kontinuierlich Brennstoff zuführende Feuerungstechniken entwickelt werden. Auf die vergleichsweise schwierige kontinuierliche Förderung von halmgutartiger Biomasse, insbesondere bei der üblichen Ballenform, wurde hingewiesen. Bei der Entwicklung neuer Feuerungstechniken müssen ebenfalls weitere Verbesserungen hinsichtlich des Ascheschmelzverhaltens von Stroh, der bei vielen halmgutartigen Biomasse auftretenden Korrosion durch Chlor und Alkalien sowie des zukünftigen Grenzwertes für Dioxine und Furane vorgenommen werden. Die Entwicklung solcher Technologien wird, insbesondere wegen der fehlenden Rechtssicherheit im Genehmigungsrecht, als schwierig angesehen.

Angeregt wurde auch ein Großversuch mit mindestens 10 Anlagen mit gegenüber dem heutigen Rechtsstand verminderten emissions- und genehmigungsrechtlichen Anforderungen. Dieser Großversuch sollen einmal dem Sammeln von Erfahrungen mit Anlagen in der Praxis dienen, zum anderen einen Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung der eingesetzten Feuerungstechniken geben. Die Bildung einer logistischen Ketten soll ebenfalls durch einen solchen Großversuchs angeregt werden. Die FNR wird diesen Vorschlag prüfen.

Daneben gilt es, bei bisher unüblichen Brennstoffen wie verschiedenen Schilf- und Grasarten sowie Getreidekorn und direkt genutzte Ölsaaten die grundsätzlichen, für die energetische Nutzung wichtigen Größen zu erfassen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Es wurde darin Übereinstimmung erzielt, dass die nationalen Bestimmungen des Emissions- und Genehmigungsrechts in der Vergangenheit den Einsatz von Stroh und vergleichbaren biogenen Energieträgern in Deutschland verhindert haben. Entwicklungen wie in Dänemark, wo sich das Genehmigungsrecht im Gegensatz zu Deutschland am Stand der

Technik orientiert, konnten in Deutschland deshalb nicht stattfinden. Veranlasst durch Änderungen im EU-Recht und bei EU-Vorschriften zur Emissionsbegrenzung werden die deutschen Vorschriften des Emissions- und Genehmigungsrechts weiter verschärft werden. Der vorgestellte Entwurf der TA Luft in der Verbindung mit dem Nachfolgegesetz zur 4. BImSchV verschärft die emissionsrechtlichen Anforderungen gerade im interessanten Bereich zwischen $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ und 1 MW_{th} drastisch. Abgesehen vom noch nicht von den Änderungen betroffenen Geltungsbereich der 1. BImSchV wird damit zukünftig die energetische Nutzung von Stroh und vergleichbaren halmgutartigen Bioenergieträgern in der Praxis verhindert. **Die Teilnehmer des Fachgespräches vertraten daher nahezu einhellig die Auffassung, dass das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) in den Entscheidungsprozess zur TA Luft und zur Überführung der 4. BImSchV in ein Artikelgesetz umgehend mit dem Ziel eingreifen sollte, die Verhinderung der energetischen Nutzung von Stroh und vergleichbaren biogenen Brennstoffen, beispielsweise durch eine Heraufsetzung der Genehmigungsgrenze auf $500 \text{ kW}_{\text{th}}$, zu beseitigen oder zumindest für einen mehrjährigen Übergangszeitraum bzw. im Rahmen von bundesweiten Modellversuchen auch gegenüber der heute gültigen TA Luft bzw. 4. BImSchV deutliche Erleichterungen für diesen Nutzungsbereich mit seinem großem Brennstoffpotential herbeizuführen. Letztendlich Ziel muss es sein, Stroh u. ä. mit dem Brennstoff Holz gleichzustellen.**

Von vielen am Fachgespräch Beteiligten werden die derzeitigen und voraussichtlich zukünftigen Regelungen und Definitionen des deutschen Emissions- und Genehmigungsrechts als ungenau angesehen. Aus dieser Ungenauigkeit heraus resultiert eine regional stark differierende Genehmigungspraxis, die, als aktuelles Beispiel sei hier die energetische Nutzung von Getreidekorn genannt, zu einer regional unterschiedlichen Einordnung und damit auch zu regional unterschiedlichen Emissionsauflagen bei gleichen Brennstoffen und vergleichbaren Anlagentypen. Durch diese fehlende Rechtssicherheit werden die Marktchancen für in- und ausländische Hersteller schwer abschätzbar und damit auch das bisherige Interesse der Unternehmen am Bau von Strohfeuerungen erklärlich. Die Teilnehmer des Fachgespräches waren sich darin weitgehend einig, dass zur Herstellung einheitlicher Verhältnisse in Deutschland das BMVEL bei den anstehenden Änderungen von Emissions- und Genehmi-

gungsrecht auf eine starke Einschränkung des Ermessensspielraums der lokalen Genehmigungsbehörden hinarbeiten sollte.

Fördermaßnahmen

Im Bereich von Forschung und Entwicklung wird das bestehende Programm Nachwachsende Rohstoffe des BMVEL zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben als ausreichend angesehen. Ein verstärktes Interesse der Feuerungsanlagenhersteller an FuE-Arbeiten ist aber erforderlich, um wirksam die erkannten Lücken in der technischen Entwicklung schließen zu können.

Bei der Förderung der Marktdurchdringung der energetischen Nutzung von Stroh und ähnlichen halmgutartigen Brennstoffen wurden erhebliche Defizite gesehen. Aufgrund des derzeitigen Emissionsrechts und des damit verbundenen technischen Aufwands sind für die Errichtung und Betrieb derartiger Anlagen erheblich höhere Kosten anzusetzen als bei der Nutzung von Holz. Sollten die geplanten drastischen Verschärfungen der TA Luft sowie des Artikelgesetzes in der Nachfolge der 4. BImSchV in die Rechtspraxis umgesetzt werden, so ist mit einer ebenfalls drastischen Kostensteigerung für Feuerungsanlagen in diesem Bereich zu rechnen. In beiden Fällen sind die derzeit geltenden Regelungen des Marktanzreizprogramms „Erneuerbare Energien“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als vollkommen unzureichend für einen verstärkten Einsatz von Anlagen zur energetischen Nutzung von Stroh und ähnlichen halmgutartigen Brennstoffen anzusehen. Dies ist für kleinere Anlagen ($100 \text{ kW}_{\text{th}}$ bis 1 MW_{th}) gilt umso mehr, als durch den regelmäßigen Prüfaufwand erhebliche Kosten entstehen, die bei einer energetischen Nutzung von Holz in diesem Bereich nicht anfallen. **Da auf Basis der derzeitigen Fördermaßnahmen des BMWi die Klimaschutzziele der Bundesregierung und der EU nicht zu erreichen sind, wird das BMVEL gebeten, bei den zuständigen Ressorts auf eine entsprechende Abänderung der Fördermaßnahmen hinzuwirken.** Das Beispiel Dänemark zeigt, dass bei einer in allen Bereichen aufeinander abgestimmten Förderpolitik die energetische Strohnutzung durchaus sinnvoll breitflächig durchgesetzt werden kann.

Gleichzeitig wird zu prüfen sein, ob, bei der Schaffung der entsprechenden emissionsrechtlichen Voraussetzungen, und wie ein umfangreicherer Pilotversuch gefördert werden könnte.

Die FNR wird dieses Fachgespräch weiter auswerten und die Ergebnisse mit dem BMVEL diskutieren, um bei Bedarf weitere Maßnahmen zur Schließung möglicher Wissenslücken einzuleiten.

Abschließend sei an dieser Stelle nochmals allen Referenten und Teilnehmern, insbesondere auch den Referenten und Teilnehmern aus Dänemark und Österreich, für ihre engagierte und konstruktive Mitarbeit am Fachgespräch gedankt.

Der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Herrn Präsidenten Prof. Dr. Breitschuh und Herrn Dr. Vetter mit ihren Mitarbeitern, sei ebenfalls herzlich für ihre Gastfreundschaft und für die Organisation des Fachgesprächs, die erheblich zum erfolgreichen Verlauf des Fachgesprächs beigetragen haben, gedankt.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. Andreas Schütte

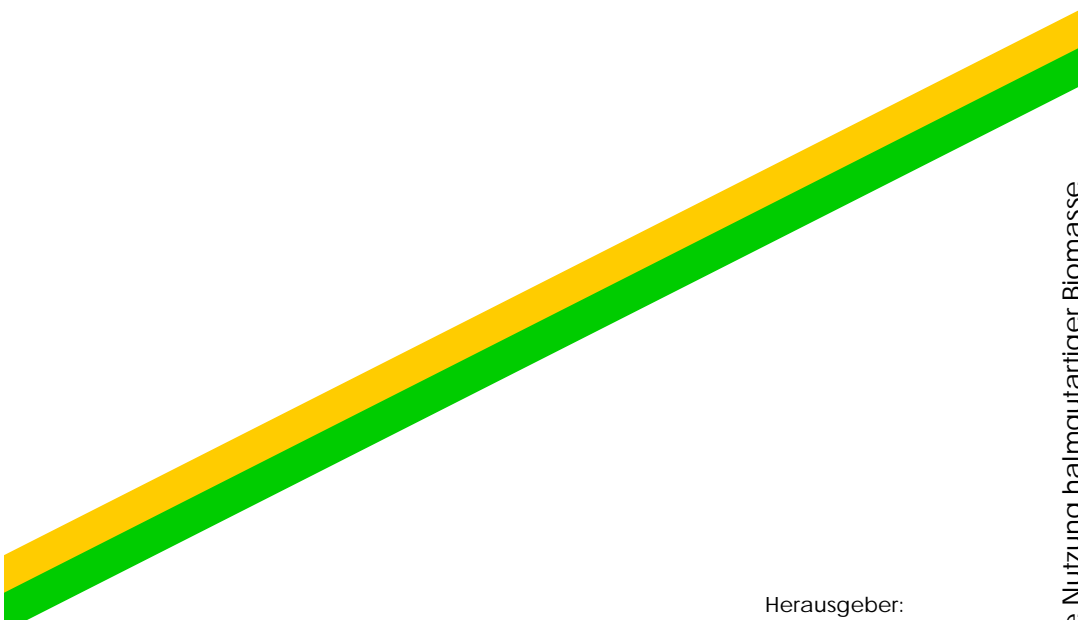
Geschäftsführer

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Hofplatz 1

D-18276 Gülzow

a.schuette@fnr.de



Herausgeber:
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: (0 38 43) 69 30 - 0 • Fax: (0 38 43) 69 30 - 102
E-Mail: info@fnr.de • Internet: <http://www.fnr.de/>