



Energetische Verwertung von Stroh – Möglichkeiten und Grenzen

Dipl. Ing. (FH) D. Peisker, Dipl.-Ing. T. Hering, Dr. A. Vetter

Jena, Februar 2007

Einleitung

Die Nutzung erneuerbarer Energien gewinnt immer mehr an Bedeutung im Energiemix Deutschlands. In der Vergangenheit war diese Präferenz vor allen ökologisch motiviert. Zu beachten ist dabei aber, dass eine nachhaltige Energieversorgung ein Zieldreieck darstellt, welches Aspekte der Ökonomie, Ökologie und Versorgungssicherheit zu berücksichtigen hat. Flankiert von den Arbeiten des IPCC stellt sich heute nicht mehr die Frage *ob* es einen anthropogenen Treibhauseffekt gibt, sondern *wie hoch* der Anstieg der Durchschnittstemperatur auf der Erde sein wird. Im Zentrum der aktuellen Debatte stehen vielmehr Fragen nach ökonomischen Alternativen zunehmend teurer werdender fossiler Primärenergieträger sowie der immer stärker werdenden Importabhängigkeit der EU im Erdgas- bzw. Erdölbereich. Verlässliche politische Rahmenbedingungen sind dabei die Grundlage für einen breiteren, den genannten Nachhaltigkeitskriterien entsprechenden, Energiemix. Im Bereich der Bioenergie sind hier insbesondere die EU-Richtlinien 2001/77/EG (Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen) und 2003/30/EG (Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen) zu nennen, die in Deutschland zur Einführung des EEG bzw. der (inzwischen eingeschränkten) Steuerbefreiung von Biokraftstoffen führten bzw. diese Vorhaben unterstützten. Der neu erarbeitete Biomasse Aktionsplan soll durch entsprechende Schwerpunktsetzung im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU begleitet werden.

Mit zunehmender Nutzung stellt sich die Frage, wo das große aber begrenzte Biomassepotenzial möglichst effizienten Einsatz findet. Diese Effizienzdiskussion ist umso wichtiger, da kein anderer erneuerbarer Energieträger so universell einsetzbar ist wie die Biomasse und Nutzungskonkurrenzen schon jetzt deutlich werden. Das Fehlen eines geeigneten Förderinstrumentes im Wärmebereich soll nicht darüber hinweg täuschen, dass gerade im Bereich der Versorgung privater Haushalte mit Niedertemperaturwärme für Heizung und Warmwasser ein hohes Substitutionspotenzial für fossile Energieträger vorhanden ist. Neben Holz bietet sich hier eine Verwendung landwirtschaftlicher Reststoffe, wie z. B. Stroh, an.

Potenzialbetrachtungen zur energetischen Nutzung von Getreidestroh in Deutschland

Studien über das Strohaufkommen in Deutschland und das sich daraus ergebende Potenzial für eine energetische Nutzung sind zahlreich. Erwähnenswert ist eine Studie des Öko-Institutes e. V. /1/. Im Rahmen dieser Studie wurde an der TU München das EDV-Modell HETOR (Hektar Kalkulator) entwickelt, welches den Flächenbedarf für den Ernährungssektor in Deutschland quantifiziert. Unter Berücksichtigung der potenzialbestimmenden Faktoren Ertragsentwicklung, dem Korn/Strohverhältnis, der konkurrierenden stofflichen Nutzung (Einstreu, Bodenverbesserer) sowie eventueller Naturschutzrestriktionen, ergeben sich anhand von drei Szenarien „Referenz“, „Umwelt“ (starke umwelt- und naturschutzbedingte Restriktionen) und „Biomasse“ (Obergrenze der Biomassepotenziale) die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse.

Tabelle 1: Energetisches Potenzial¹ für Stroh in Deutschland bis 2030 /1/

[PJ]	2000	2010	2020	2030
Referenz	58,8	56,9	60,5	58,3
Umwelt	58,8	52,2	54,2	51,1
Biomasse	110,2	88,2	74,1	70,5

Im Referenz- und Umweltszenario werden in etwa 12 %, im Biomasseszenario ca. 20 % des gesamten Strohaufkommens einer energetischen Nutzung zugeführt. Die Werte im Biomasseszenario liegen in dem Bereich früherer Arbeiten von KALTSCHMITT (2003, 106,4 PJ/a) von. Anzumerken ist, dass die dargestellten Ergebnisse Modellrechnungen darstellen, die teilweise massive Veränderungen des Agrarmarktes in Deutschland unterstellen. Ob

¹ Zum Begriff sei angemerkt, dass hier unterschieden werden muss zwischen dem theoretischen, dem technischen, wirtschaftlichen und dem erschließbaren Potenzial. Die hier dargestellten Ausführungen beziehen sich auf das technische Potenzial.

diese Annahmen zutreffend sind ist zum heutigen Zeitpunkt nur schwer abschätzbar. Maßgeblichen Einfluss auf diese Entwicklung wird die zukünftige Ausrichtung der immer mehr von der WTO geprägten EU-Agrarpolitik nehmen.

Eigenschaften von Stroh im Kontext der energetischen Nutzung

Physikalisch-mechanische Eigenschaften. Besondere Bedeutung kommt den in Tabelle 2 dargestellten Press- bzw. Schüttdichten zu, die zusammen mit der Kenntnis über den Heizwert Aussagen über die Energiedichte zulassen.

Tabelle 2: Press- und Schüttdichten von Stroh bei 85 % TS (nach Hering; TLL)

Aufbereitungsform	Dichte [kg/m ³]
Häcksel	50 - 70
Rundballen	100 - 120
Quaderballen	130 - 160
Pellets	400 - 650

Die Verdichtung von Stroh und die geometrische Form (Abmaße) bestimmen maßgeblich die Anforderungen an die Logistik („Ballenlinie“). Hier besteht weiterer Optimierungsbedarf vor allen hinsichtlich der oben aufgeführten Ballenpressdichten. Ein direkter Transport zur Konversionsanlage ohne Zwischenlagerung ist anzustreben. Darüber hinaus ist zu hinterfragen, welche Transportentfernung unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll erscheint. Das spricht für eine dezentrale Struktur der Verwertung. Unterschiedliche Konversionstechniken stellen zudem unterschiedliche Anforderungen an die geometrische Form der Strohballen (vgl. thermische Verwertung).

Die höchsten Pressdichten werden durch eine Pelletierung erreicht. Die relativ große Schwankungsbreite ist durch unterschiedliche Pelletdurchmesser (üblich sind sechs oder acht Millimeter), die Zugabe von Pelletierhilfsmitteln bzw. Zuschlagstoffen und dem Einsatz von Dampf zur Konditionierung aber auch Unterschiede zwischen den einzelnen Getreidestrohchargen erklärbar. Die Pelletierkosten liegen in einem Bereich von ca. 60 bis 100 € /2/. Bei Strohbereitstellungskosten von ca. 50 bis 60 €/t ergeben sich somit Tonnagepreise, die im Bereich von Holzpellets liegen und eine energetische Verwertung im Bereich automatisch beschickter Kleinfeuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung unter 100 kW_{th} ökonomisch unattraktiv gestalten trotz positiver rechtlicher Rahmenbedingungen (Regelbrennstoff nach §3 Abs. 1 Nr. 8 1. BImSchV).

Chemisch-stoffliche Eigenschaften. Biogene Festbrennstoffe bestehen in der Hauptsache aus den drei Biopolymeren Cellulose, Hemicellulose und Lignin /3/. Eine energetische Nutzung auf Basis eines anaeroben bakteriellen Abbaus (Biogas) ist somit auszuschließen. Hinsichtlich einer thermischen Verwertung sind insbesondere folgende Elemente von Bedeutung:

- Emissionen: N (NO_x), S (SO_x), Cl (PCDD/F, HCl);
- Aschebildner/Verschlackungsneigung: mineralische Bestandteile K, Na, Ca, Mg;
- Korrosion: Cl (HCl), S (H₂SO₄);
- Heizwert (C, H).

Typische Gehalte von Stickstoff, Schwefel und Chlor in landwirtschaftlichen Biomassen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Der Gehalt an mineralischen Bestandteilen ist sowohl für die thermische Verwertung (Ascheaustragssystem, Kesseltemperaturen, Luftführung) als auch im Vergasungsbereich von Interesse. Der typische Temperaturbereich, bei dem es zu ersten Sinterungserscheinungen der Strohasche kommt, liegt um ca. 800 °C. Der hohe Ascheanteil von im Mittel 7 % erklärt den gegenüber Holz niedrigeren Heizwert (Hu_(wf)) von 17,0 bis 17,5 MJ/kg.

Korrosionserscheinungen in einer Feuerungsanlage treten zusammen mit Taupunktunterschreitungen auf. Besonderes Augenmerk sollte deshalb den Bereichen Brennstoffzuführung, Wärmetauscher und Abgassystem gelten. Aussagen der Betreiber des

Strohheizwerkes Schkölen aus elf Jahren Betrieb zeigen, dass nur im Bereich Brennstoffzufuhr Korrosionen zu verzeichnen waren.

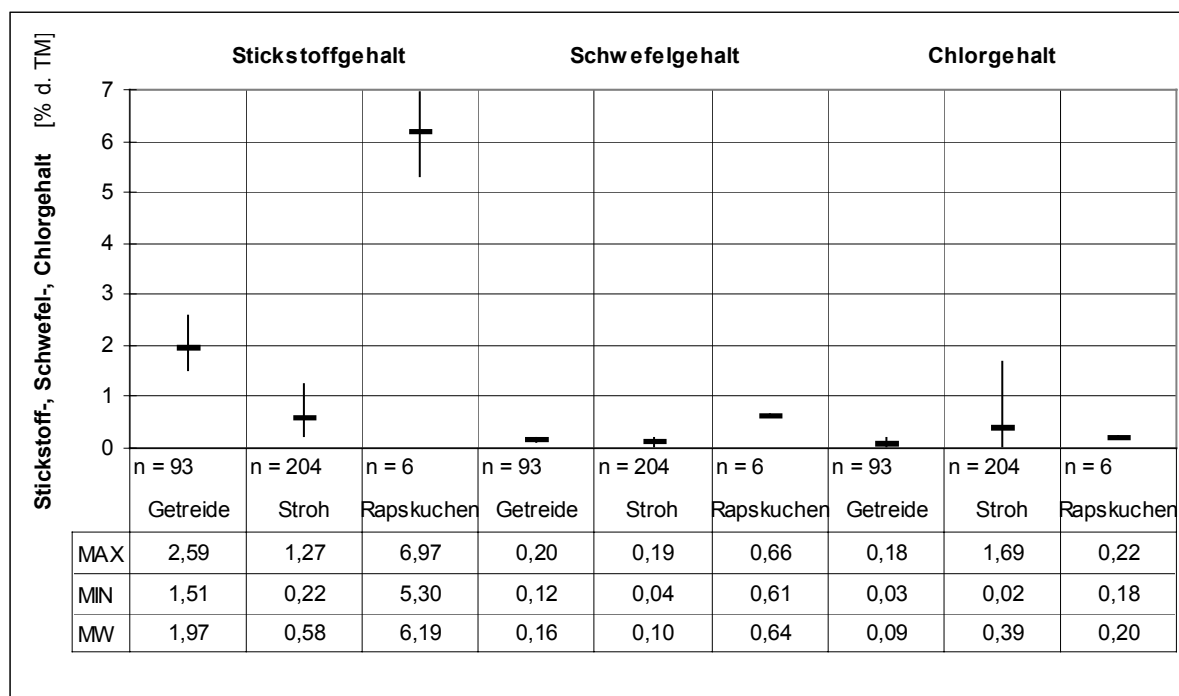


Abbildung 1: Vergleich der Stickstoff-, Schwefel-, Chlorgehalte von landwirtschaftlichen Biomassen (Datenbank TLL)

Thermische Verwertung von Stroh

Nach THRÄN und KALTSCHMITT (2001) sind europaweit 11 Heizkraftwerke, 78 Fernwärmewerke und ca. 13.000 dezentrale Kleinanlagen bekannt, die auf Basis von Stroh mit Schwerpunkt in Dänemark betrieben werden. Seit dieser letzten Datenerhebung ist kaum noch ein Anlagenzuwachs zu verzeichnen mit Ausnahme einiger neuer Fernwärmeeinrichtungen in Polen im Bereich von 800 kW bis 6 MW installierter thermischer Leistung. Von den beiden erfassten Strohheizwerken größer 1 MW in Deutschland ist nur noch die Anlage bei der TLL am Standort Jena in Betrieb. Die wenigen neu hinzu gekommenen Anlagen sind meist als Pilot- und Demovorhaben realisiert worden.

Eine der Hauptursachen für die geringe Nutzung ist sicher bei den rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland zu sehen. Ab einer Feuerungswärmeleistung von 100 kW sind Strohfeuerungsanlagen genehmigungspflichtig nach 4. BImSchV und müssen die strengen Anforderungen der TA Luft einhalten. Die dadurch bedingten Mehraufwendungen für das Genehmigungsverfahren und die Überwachung verursachen deutlich höhere Invest-, Verwaltungs- und Betriebskosten. Im Vergleich zu Holz erhöhte Stickstoff-, Schwefel- und Chlorgehalte wurden und werden immer wieder mit nicht TA Luft konformen NO_x -, HCl und Dioxinmissionen diskutiert, was zu einer erheblichen Verunsicherung potenzieller Betreiber geführt hat. Hinzu kommt, dass der Markt von dänischen Herstellern dominiert wird, die aufgrund deutlich niedriger emissionstechnischer Anforderungen in ihrem Kernmarkt Verbesserungen hinsichtlich einer Emissionsminimierung nicht konsequent voran treiben, insbesondere für den Bereich kleiner 1 MW FWL.

Dass die Anwesenheit von Chlor nicht zwangsläufig zu einer Überschreitung des TA Luft Grenzwertes für Dioxine/Furane führt, wurde bereits im Jahr 1995 im Rahmen von umfangreichen Messkampagnen am ehemaligen Strohheizwerk Schkölen durch die TLL festgestellt /4/. Chlor ist eine aber nicht die alleinige Voraussetzung im komplexen Bildungsmechanismus dieser hochgiftigen Substanzen.

Das Hauptaugenmerk aktueller Forschungsarbeiten liegt im Bereich der Staubabscheidung. Sowohl die strengen Anforderungen der TA Luft als auch die Anforderungen der sich gegenwärtig in der Novellierung befindenden 1. BImSchV können mit der Markt verfügbaren

Technik nicht in jeden Fall sicher eingehalten werden. Neben der Optimierung der Kesseltechnik ist hier die Etablierung preisgünstiger Sekundärmaßnahmen notwendig. Erschwerend kommt hinzu, dass der Großteil der bei der Strohverbrennung entstehenden Partikel, ähnlich wie bei Holz und Getreide, als Feinstaub anfällt, was besondere Anforderungen an die Abscheidetechnik stellt /5/.

Praxisbeispiele

Im folgendem soll anhand von drei Praxisbeispielen der Stand der Technik der Strohverbrennung charakterisiert werden.

- Vorschubrostfeuerung, Fa. Reka (DK) – Reka-HKRST 60, 56 kW_{th}
- Ganzballenstrohvergaser, Fa. Herlt (D) – HSV 145; 145 kW_{th}
- Brennmuldenfeuerung, Fa. Linka (DK) – Linka H-400; 400 kW_{th}

Der HKRST-60 der Fa. Reka konnte als Pilot- und Demovorhaben bei einem Thüringer Landwirt realisiert werden. Die 1. BImSchV Anlage wird mit Quaderballen beschickt. Über einen Ballenauflöser gelangt das gehäckselte Stroh über eine Zellenradschleuse in den Brennraum. Im Rahmen des FNR-Forschungsprojektes „Untersuchungen des Emissionsverhalten von getreide- und halmguttauglichen Feuerungsanlagen in der Praxis“ wurden umfangreiche rohgasseitige Emissionsuntersuchungen in Zusammenarbeit mit dem ILK mit Sitz in Dresden durchgeführt. Auszüge der Ergebnisse sind Abbildung 2 zu entnehmen.

Der Ganzballenstrohvergaser HSV 145 der Fa. Herlt mit Standort in Wildenfels, OT Wiesenburg wird diskontinuierlich mit Rundballen beschickt. Das Emissionsverhalten wurde in umfangreichen Messkampagnen durch die UBG ermittelt. Aus Abbildung 3 wird deutlich, dass die strengen Anforderungen der TA Luft mit Ausnahme des Staubgrenzwertes eingehalten werden. Über eine Etablierung einer entsprechenden Staubabscheidetechnik wurden Vorgespräche geführt.

Der Linka-Kessel H-400 mit Standort in Schleswig-Holstein wurde im Rahmen des o. g. FNR-Projektes wiederum vom ILK vermessen. Im Messzeitraum mussten vor allen in Sachen Ausbrandqualität Mängel festgestellt werden (s. Abbildung 4). Die Einhaltung des Staubgrenzwertes ist nur durch einen Gewebefilter sicher möglich.

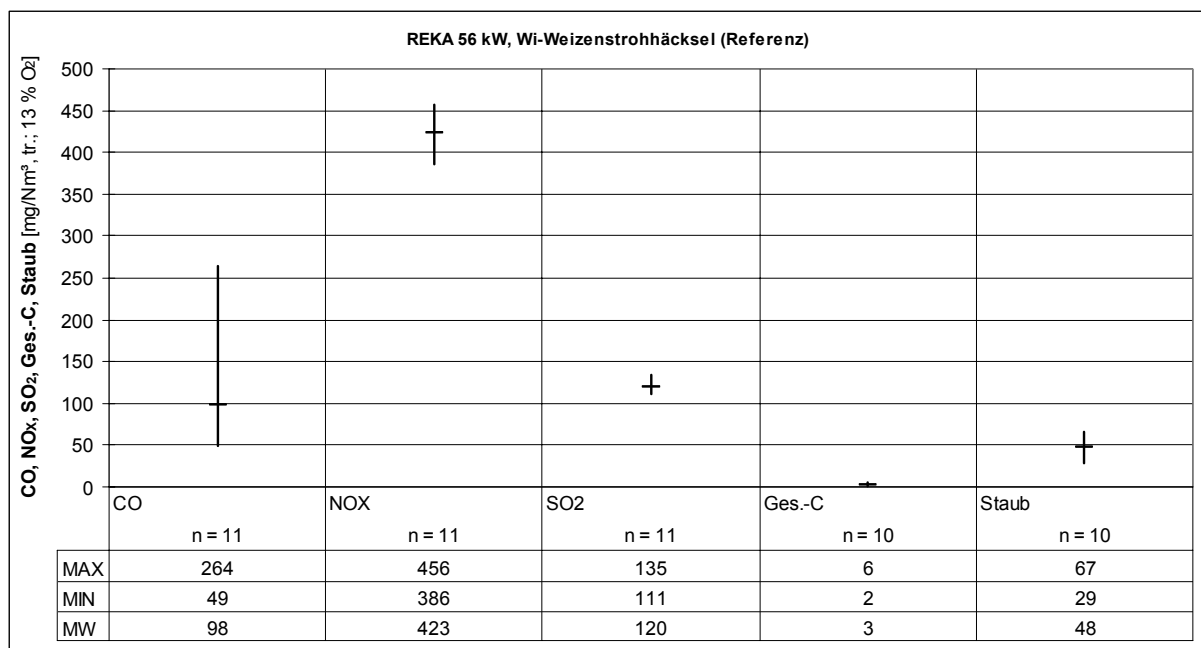


Abbildung 2: Emissionsmessergebnisse HKRST-60, Fa. Reka (ILK, 2005) – Erhebung von Praxisdaten; Angabe als 30 min Mittelwert bezogen auf 13 % Restsauerstoffgehalt

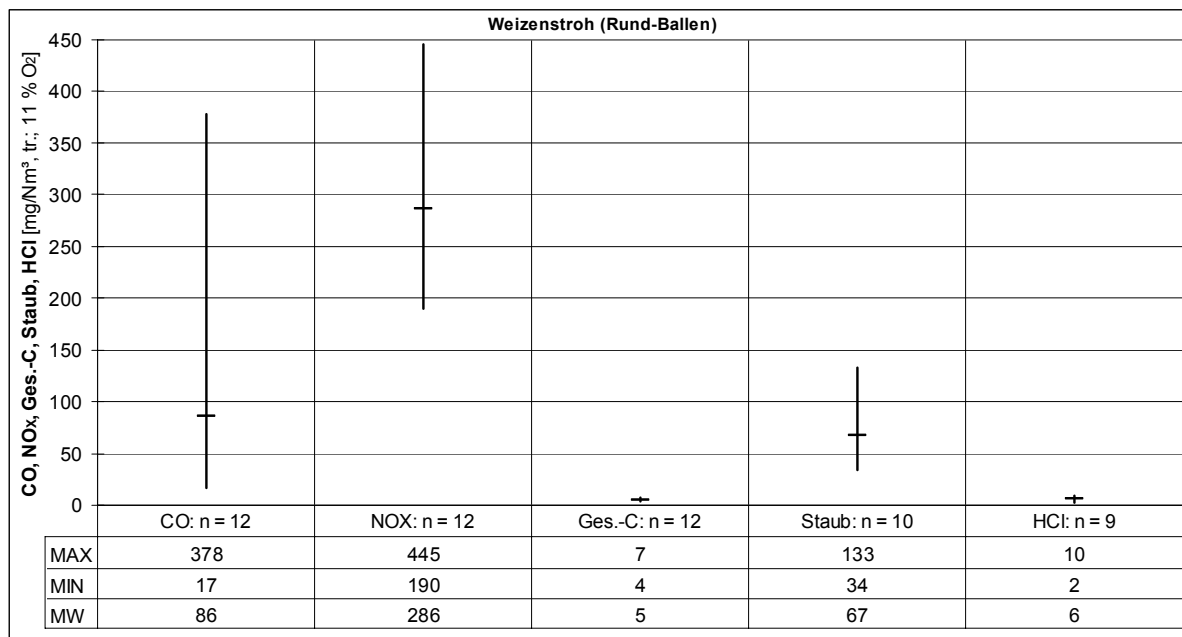


Abbildung 3: Emissionsmessergebnisse HSV 145, Fa. Herlt (UBG, 2005) – Erhebung von Praxisdaten; Angabe als 30 min Mittelwert bezogen auf 11 % Restsauerstoffgehalt

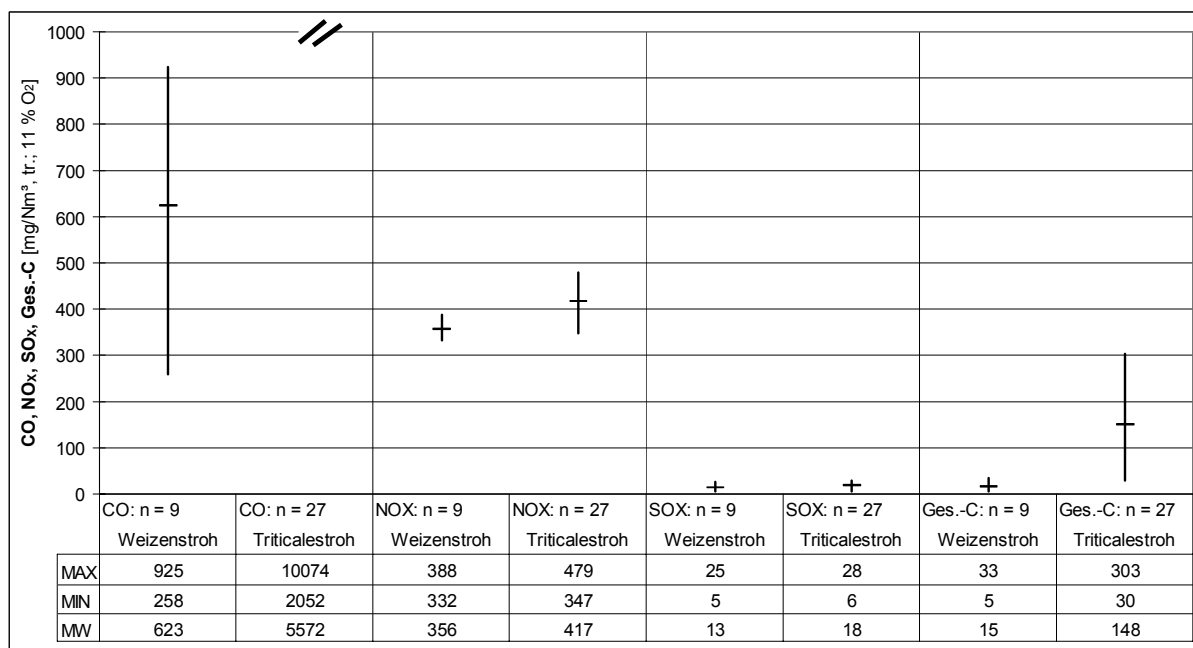


Abbildung 4: Emissionsmessergebnisse H-400, Fa. Linka (ILK, 2005) – Erhebung von Praxisdaten; Angabe als 30 min Mittelwert bezogen auf 11 % Restsauerstoffgehalt

KWK-Anlagen auf Basis von Stroh existieren in Deutschland trotz teilweise höherer Einspeisevergütungen im EEG als für Holz bisher nicht. Es bleibt abzuwarten, ob die für den Brennstoff Holz etablierten Verfahren (Dampfprozesse, ORC) bzw. sich in der Markteinführung befindenden Vergasungsverfahren auch für einen Einsatz mit Stroh adaptiert werden können.

Biokraftstoffe mit Stroh als Rohstoffbasis

Die Erzeugung und der Verbrauch von Biokraftstoffen haben in den letzten Jahren sprunghaft zugenommen. Vor allen die Veresterung von Rapsöl und zunehmend die Ethanolproduktion auf Getreidebasis (Weizen, Roggen) werden es möglich machen, dass

Deutschland die EU-Zielvorgaben für Biokraftstoffe von 5,75 % am gesamten Kraftstoffmarkt bis zum Jahr 2010 mit diesen so genannten Biokraftstoffen der 1. Generation erfüllen kann. Biokraftstoffe der 2. Generation zeichnen sich vor allem durch eine deutlich erweiterte Rohstoffbasis aus. Im Bereich der Strohnutzung zu nennen sind hier die Fa. Iogen (Ca), die ein Verfahren entwickelt hat bei dem mit Hilfe von Hefen ein Aufschluss von Stroh erfolgt mit anschließender alkoholischer Gärung. Darüber hinaus existieren eine Reihe von unterschiedlichen Ansätzen der Vergasung die, nach anschließender Verflüssigung, BtL-Kraftstoffe liefern sollen. Zu nennen sind hier insbesondere:

- Carbo-V, Fa. CHOREN
- "BioLiq"-Verfahren, FZK + Future Energy
- PHTW-Verfahren, IEC Uni Freiberg

Wann diese Verfahren großtechnisch zum Einsatz kommen und wie effizient diese Biomasse zu Kraftstoff verarbeiten können ist zum heutigen Zeitpunkt nicht abschätzbar. Klar ist, dass auch die Erzeugung und Nutzung von Biokraftstoffen den Anforderungen einer nachhaltigen Energieversorgung genügen muss.

Zusammenfassung

Bioenergiesysteme entwickeln sich zunehmend zu einer auch ökonomischen attraktiven Bereitstellung von Energie in Form von Wärme, Strom und Kraftstoffen. Neben Holz als wichtigsten nachwachsenden Rohstoff liegen große Potentiale im Bereich landwirtschaftlicher Biomassen, wie z. B. Stroh. Voraussetzung für eine breite Nutzung sind zum einen die politischen Rahmenbedingungen, die zunehmend auf europäischer Ebene koordiniert werden, zum anderen ausgereifte Konversionstechniken, die dem Zieldreieck einer nachhaltigen Energieversorgung entsprechen. Dies gilt auch für den Bereich der energetischen Nutzung von Stroh. Gerade im Wärme- bzw. KWK-Bereich gilt es vorhandene Techniken konsequent weiter zu entwickeln, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern gerade im ländlichen Raum zu verringern.

Literaturangabe:

- /1/ Fritsche, U. et al.: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. Öko-Institut e. V. (2004).
- /2/ Hering, T.; Peisker, D.; Vetter, A.: Energetische Nutzung von Getreide und Halmgutpellets. Anlage 2 (VTI): Untersuchungen zur Pelletierung und zum Ascheverhalten von Stroh und Ganzpflanzen. TLL (2005).
- /3/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (2001).
- /4/ Vetter, A. et al.: Untersuchungen zum Einfluss der Brennstoffart und –qualität auf die Zusammensetzung der Reststoffe und deren Verwertung am Strohheizwerk Schkölen zur Sicherung der Umweltverträglichkeit. Abschlussbericht. TLL (1995).
- /5/ Hering, T.; Peisker, D.; Vetter, A.: Untersuchungen des Emissionsverhalten von getreide- und halmguttauglichen Feuerungsanlagen in der Praxis. Zweiter Zwischenbericht zum FNR-Vorhaben. TLL (2005)