



## **Stand der Technik der Strohverbrennung**

**Brennstoffparameter, rechtliche Rahmenbedingungen, Technik und  
Wirtschaftlichkeit**

**Dipl. Ing. (FH) Denis Peisker**

**Jena, Februar 2007**

## **Einleitung**

Die Nutzung erneuerbarer Energien und nachwachsender Rohstoffe gewinnt immer mehr an Bedeutung im Energiemix Deutschlands. In der Vergangenheit war diese Entwicklung vor allem klimapolitisch motiviert. Gegenwärtig stellt sich nicht mehr die Frage *ob* es einen vom Menschen mitverursachten Klimawandel gibt, sondern *wie hoch* der Temperaturanstieg auf der Erde sein wird. Im Zentrum der aktuellen Debatte stehen vielmehr Fragen nach wirtschaftlichen Alternativen zunehmend teurer werdender fossiler Energieträger sowie der immer stärker werdenden Importabhängigkeit Deutschlands bzw. der EU im Erdgas- bzw. Erdölbereich. Verlässliche politische Rahmenbedingungen sind dabei die Grundlage für eine ausreichende Investitionssicherheit. Im Bereich der Bioenergie sind hier insbesondere die EU-Richtlinien zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen und der Verwendung von Biokraftstoffen zu nennen, die in Deutschland zur Einführung des EEG bzw. der inzwischen eingeschränkten Steuerbefreiung von Biokraftstoffen führten. Im Wärmebereich wird aktuell diskutiert, ob und wie die bestehenden Förderinstrumente des Bundes (Marktanreizprogramm, KfW-Kredite, Förderung von Nahwärmenetzen) weiterentwickelt werden sollen. Auf Landesebene wurden durch die TLL entsprechende Empfehlungen ausgearbeitet und im Thüringer Bioenergieprogramm dargestellt. Dies ist umso wichtiger, da gerade im Bereich der Versorgung privater Haushalte mit Niedertemperaturwärme für Heizung und Warmwasser ein hohes Substitutionspotenzial für fossile Energieträger vorhanden ist.

## **Potenzialbetrachtungen zur energetischen Nutzung von Getreidestroh in Thüringen**

Studien über das Strohaufkommen in Deutschland und das sich daraus ergebende Potenzial für eine energetische Nutzung sind zahlreich. Für Thüringen wurden durch VETTER und WARSITZKA die in Tabelle 1 dargestellten Potenziale für die einzelnen Landkreise unter Berücksichtigung der Humusbilanz errechnet. Daraus folgt, dass theoretisch ca. 50 % des Strohaufkommens in Thüringen für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehen was einer Gesamtmenge von ca. 1,4 Mio. t bzw. 3,5 bis 4,5 t/ha mit 86 % TS entspricht. Bei einem Heizwert von 16,5 MJ/ kg TM und einem Gesamtnutzungsgrad von 80 % könnten so theoretisch rund 16.000 TJ auf der Basis von Stroh zur Verfügung gestellt werden. Dies entspricht ca. 6 % des Primärenergiebedarfs Thüringens.

## **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.

Die Verdichtung von Stroh und die geometrische Form (Abmaße) bestimmen maßgeblich die Anforderungen an die Logistik. Hier besteht weiterer Optimierungsbedarf hinsichtlich einer Erhöhung der oben aufgeführten Ballenpressdichten. Entsprechende Entwicklungen sind derzeit am Markt zu beobachten. Ein direkter Transport zur Konversionsanlage ohne Zwischenlagerung ist anzustreben, da gerade Umschlagprozesse Zeit und damit Geld kosten. Darüber hinaus ist zu hinterfragen, welche Transportentfernung wirtschaftlich vertretbar ist. Dies spricht für eine dezentrale Struktur der Verwertung. Unterschiedliche Verbrennungstechniken stellen zudem unterschiedliche Anforderungen an die geometrische Form der Strohballen.

Tabelle 1: Energetisches Potenzial für Stroh in Thüringen in t bei 86 % TS (Vetter, Warsitzka; TLL 2006)

Kreis	Strohmenge	Überschussstrohmenge	Überschussstrohmenge abzüglich 15 % Reserve
Stadt Erfurt	56247	24513	20836
Stadt Gera	20550	11988	10190
Stadt Jena	61	16	14
Stadt Weimar	8486	3215	2733
Stadt Eisenach	19796	12529	10650
Eichsfeld	173958	119751	101788
Nordhausen	145007	91283	77591
Wartburgkreis	100957	74745	63533
Unstrut-Hainich-Kreis	289862	138638	117842
Kyffhäuserkreis	286136	143271	121780
Schmalkalden-Meiningen	83579	63878	54296
Gotha	169311	121190	103012
Sömmerda	230994	104634	88939
Hildburghausen	79908	66453	56485
Ilm-Kreis	103993	63802	54232
Weimaer Land	220919	121030	102876
Sonneberg	14413	11477	9755
Saafeld-Rudolstadt	72473	53888	45805
Saale-Holzland-Kreis	134845	116801	99281
Saale-Orla-Kreis	159333	121538	103307
Greiz	160840	117083	99521
Altenburger Land	160973	71740	60979
<b>Summen</b>	<b>2.692.641</b>	<b>1.653.463</b>	<b>1.405.444</b>

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 €. Bei Strohbereitstellungskosten von ca. 50 bis 60 €/t ergeben sich somit Tonnagepreise, die im Vergleich zu Holzpellets mittlerweile als konkurrenzfähig anzusehen sind und auch höhere Anforderungen an die Kesseltechnik gegenüber einer Holzanlage rechtfertigen. Gerade durch die sprunghaft gestiegenen Holzpelletpreise könnte im Bereich automatisch beschickter Kleinfeuerungsanlagen der Brennstoff Stroh in pelletierter Form deutlich an Attraktivität gewinnen, zumal im Bereich bis 100 kW die rechtlichen Rahmenbedingungen im Gegensatz zum Getreide geklärt sind (Regelbrennstoff nach §3 Abs. 1 Nr. 8 1. BImSchV).

Tabelle 2: Press- und Schüttdichten von Stroh bei 86 % TS

Aufbereitungsform	Dichte [kg/m³]
Häcksel	50 - 70
Rundballen	100 - 120
Quaderballen	130 - 160
Pellets	400 - 650

*Chemisch-stoffliche Eigenschaften.* Biogene Festbrennstoffe bestehen in der Hauptsache aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin. 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<sub>x</sub>), S (SO<sub>x</sub>), Cl (PCDD/F, HCl);

- Aschebildner/Verschlackungsneigung: mineralische Bestandteile K, Na, Ca, Mg;
- Korrosion: Cl (HCl), S (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);
- Heizwert (C, H).

Typische Gehalte von Stickstoff, Schwefel und Chlor von Stroh im Vergleich zu Getreide und Rapskuchen sind in Abbildung 1 dargestellt.

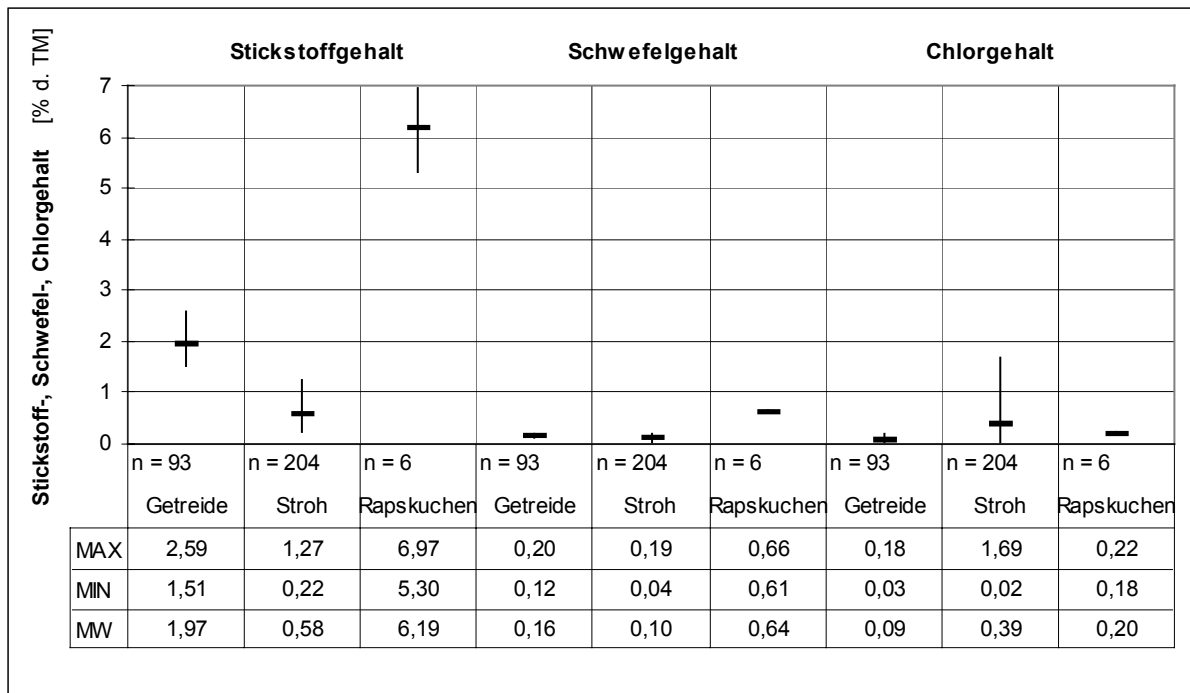


Abbildung 1: Vergleich der Stickstoff-, Schwefel-, Chlorgehalte von landwirtschaftlichen Biomassen (Datenbank TLL)

Der Gehalt an mineralischen Bestandteilen ist für die Verbrennung von großer Bedeutung. Der hohe Ascheanteil von im Mittel 7 % muss bei der Dimensionierung automatischer Entaschungssysteme bzw. deren Taktzeit berücksichtigt werden. Ist keine automatische Entaschung vorhanden muss entsprechend häufiger der Aschekasten manuell entleert werden. Neben der Menge ist das Schmelzverhalten der Strohasche unbedingt zu berücksichtigen, sowohl in Hinblick auf die Temperatur im Kessel als auch die Zuführung der Primär- und Sekundärverbrennungsluft. Der typische Temperaturbereich, bei dem es zu ersten Sinterungserscheinungen der Strohasche kommt, liegt um 800 °C. Dies muss bei der Auslegung der Kessel berücksichtigt werden, um eine Verbrennung von Stroh, auch ohne Zugabe von Schlackehemmern, wie z. B. Kalk, zu ermöglichen. Kleinere Aschebrocken können in Kauf genommen werden. Soll die Asche als Düngemittel auf dem Feld eingesetzt werden ist aber unter Umständen eine mechanische Aufbereitung unvermeidbar. Korrosionserscheinungen in einer Feuerungsanlage treten immer zusammen mit Taupunktunterschreitungen, d. h. der Bildung von Kondensat auf. Dabei entstehen in Abhängigkeit der Gehalte an Schwefel und Chlor im Brennstoff aggressive Säuren. Besonderes Augenmerk sollte deshalb den Bereichen der Brennstoffzuführung und des Abgassystems gelten. Der Kessel ist auf jeden Fall mit einer Rücklaufemperaturanhebung auszustatten, um eine Kondensation im Brennraum zu verhindern. Interessant sind in diesem Zusammenhang Aussagen der Betreiber des 3 MW Strohheizwerkes Schkölen aus elf Jahren Betrieb, die zeigen, dass nur im Bereich der Brennstoffzufuhr Korrosionen zu verzeichnen waren.

### 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 schwerpunktmäßig in Dänemark betrieben werden. Seit dieser letzten Datenerhebung ist kaum noch ein Anlagenzuwachs zu verzeichnen mit Ausnahme einiger neuer

Fernwärmanlagen 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 wurden.

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  $\text{NO}_x$ -, 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 emissionsrechtlicher 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. 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 am Markt verfügbaren Technik nicht in jedem 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.

## Praxisbeispiele

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

- Vorschubrostfeuerung, Fa. Reka (DK) – Reka-HKRST 60, 56 kW<sub>th</sub>
- Ganzballenstrohvergaser, Fa. Herlt (D) – HSV 145; 145 kW<sub>th</sub>
- Brennmuldenfeuerung, Fa. Linka (DK) – Linka H-400; 400 kW<sub>th</sub>

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. Eine Beschickung mit Strohpellets ist ebenfalls möglich. Im Rahmen des FNR-Forschungsprojektes „Untersuchungen des Emissionsverhalten von getreide- und halmguttauglichen Feuerungsanlagen in der Praxis“ wurden umfangreiche rohgasseitige Emissionsuntersuchungen mit guten Ergebnissen erzielt. Kritisch zu beurteilen sind das Fehlen einer automatischen Entaschung sowie einer Zündvorrichtung. Der sogenannte Gluthalbetrieb ist unter Berücksichtigung immissionsrechtlicher Anforderungen zu hinterfragen.

Der Ganzballenstrohvergaser HSV 145 der Fa. Herlt in Sachsen wird diskontinuierlich mit Rundballen beschickt. Da die Anlage über eine Leistung größer 100 kW verfügt müssen die Grenzwerte der TA Luft eingehalten werden. Insbesondere beim Staub kann dies zu Schwierigkeiten führen. Deshalb wurden mit dem Betreiber erste Vorgespräche zur Etablierung einer entsprechenden Staubabscheidetechnik geführt.

Der Linka-Kessel H-400 mit Standort in Schleswig-Holstein wurde im Rahmen des o. g. FNR-Projektes untersucht. Die Beschickung erfolgt mit Quader- oder Rundballen. Das gehäckselte Stroh gelangt mittels Gebläse in die Zellenradschleuse, von der das Stroh an das Beschickungssystem übergeben wird. Im Messzeitraum mussten vor allem in Sachen

Ausbrandqualität Mängel festgestellt werden. Die Einhaltung des Staubgrenzwertes ist nur durch einen Gewebefilter sicher möglich.

## Wirtschaftlichkeit

Ob eine Feuerungsanlage wirtschaftlich betrieben werden kann hängt im Wesentlichen von den Investitionskosten sowie den Brennstoffkosten ab. In der Investition sind Biomassekessel deutlich teurer, d. h. die laufenden Kosten müssen diesen Nachteil ausgleichen. In Abbildung 2 wurden für verschiedene Energieträger und Leistungsklassen die Wärmebereitstellungskosten über der Abschreibungszeit dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass mit größer werdenden Anlagen die hohen Investitionskosten über die Einsparung bei den Brennstoffkosten mehr als ausgeglichen werden können, unter der Voraussetzung hoher Heizölpreise. Ob eine Investition in eine Strohfeuerungsanlage wirtschaftlich darstellbar ist muss jedoch immer in Abhängigkeit der Standortgegebenheiten unter Berücksichtigung der Finanzierungsseite bewertet werden.

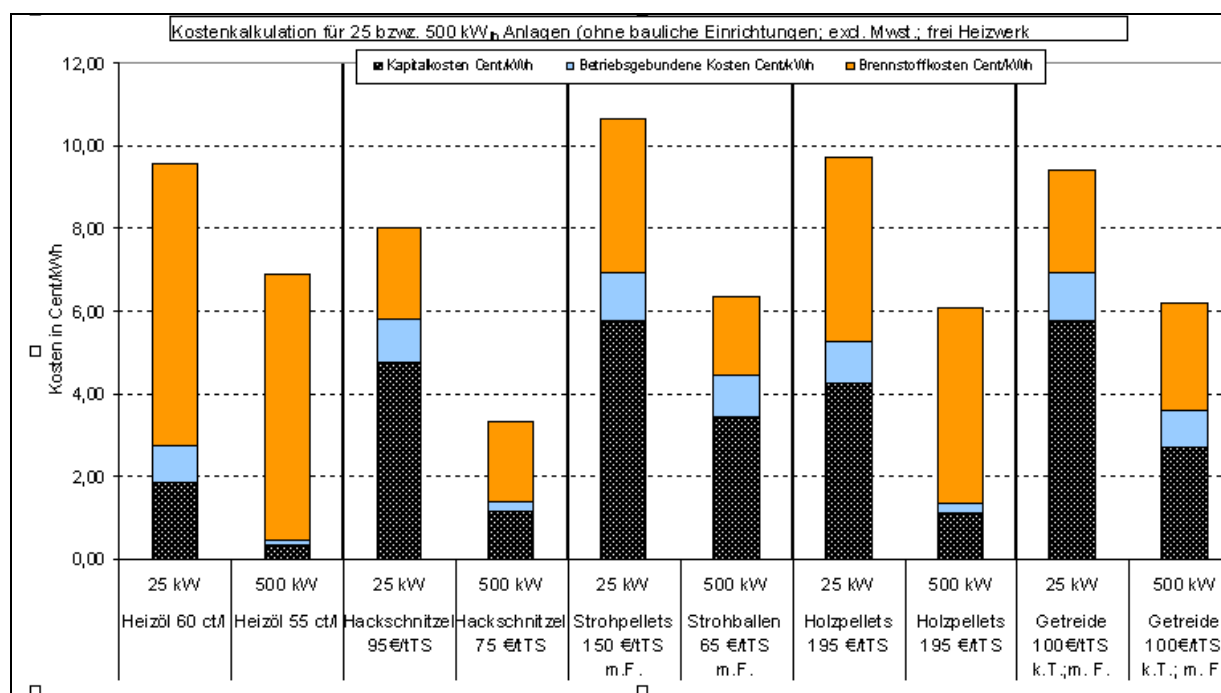


Abbildung 2: Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Wärmeerzeugungsanlagen

## Zusammenfassung

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 ausgereifte Verbrennungstechniken, die auch hohen Anforderungen an die Luftreinhaltung genügen sowie die politischen Rahmenbedingungen, die zunehmend auf europäischer Ebene koordiniert werden. Auf Landesebene wurden durch die TLL mit dem Thüringer Bioenergieprogramm Vorschläge gemacht, wie eine breite Einführung von Wärmeerzeugungsanlagen auf Basis von Stroh oder Getreide durch entsprechende Investitionszuschüsse unterstützt werden sollte, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, gerade im ländlichen Raum, zu verringern.