

# Pelletierung und energetische Nutzung von Mischbrennstoffen mit Zusatz von Lignin in Anlagen gemäß der 1. BImSchV

Frank Döhling, Nadja Weller

Technische Lignine sind Nebenprodukte der Papier- und Zellstoffindustrie, die – auch im Sinne von „Bioeconomy-Konzepten“ – einer weiteren Nutzung zugeführt werden sollen. Die hier untersuchten Ligninfeststoffe wurden in unterschiedlichen Anteilen einer Mischung aus Rapsstroh und Haferschälkleie beigemischt, wodurch eine energetische Nutzung der Lignine möglich ist. Die durchgeführten Verbrennungsversuche an einer Kleinf Feuerungsanlage verdeutlichen, dass die verwendeten Ligninfeststoffe je nach Art und Mengenanteil besonders die CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und Staubemissionen beeinflussen. Um bestehende Emissionsgrenzwerte einzuhalten, sollten weitere Optimierungen der Brennstoffmischungen vorgenommen beziehungsweise sekundäre Minderungsmaßnahmen ergriffen werden.

## Schlüsselwörter

Lignin, Stroh, Pelletierung, Verbrennung, alternative Brennstoffe, energetische Nutzung, Pelletkessel

Fossile Rohstoffe, wie Öl und Kohle, sind begrenzte Ressourcen, weshalb die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Vor dem Hintergrund einer Diversifizierung von Energieträgern besteht eine zunehmende Nachfrage nach bisher nicht oder kaum genutzten Biomassen, die z. B. als Nebenprodukt technischer Prozesse anfallen und als Rohstoffe für die Energiegewinnung genutzt werden können. Technische Lignine sind Nebenprodukte der Papier- und Zellstoffindustrie, die für eine energetische Nutzung infrage kommen. Das im Holz natürlich vorkommende Lignin wird durch den Holzaufschluss vom Zellstoff durch Zugabe verschiedener Aufschlusschemikalien getrennt. Die gewonnenen Ligninlaugen, Calcium-Ligninsulfonat (Ca-LS) aus dem Sulfitaufschluss und Kraftlignin (Kraft-L) aus dem Sulfataufschluss, wurden durch ein spezielles Verfahren in eine feste granuliert Form gebracht (NARRA et al. 2012a, NARRA et al. 2012b).

Für die energetische Nutzung in Kleinf Feuerungsanlagen ist die Verwendung von Brennstoffen in Form von Pellets interessant, weil damit potenziell eine hohe Wertschöpfung zu erzielen ist. Da die reinen Ligninfeststoffe bereits bei geringen Temperaturen starke Erweichungserscheinungen zeigen und aufgrund der herrschenden Temperaturen in einer Pelletpresse nicht pelletierbar sind, wurde von einer Nutzung als Monobrennstoff in marktverfügbaren Kleinf Feuerungsanlagen abgesehen – dabei ist zu befürchten, dass die Agglomerate in der Förderschnecke einer Kleinf Feuerungsanlage noch vor dem Erreichen des Brennraums aufschmelzen und infolgedessen die Förderschnecke verstopft bzw. festfährt. Die beiden zur Verfügung stehenden Ligninvarianten wurden daher in unterschiedlichen Anteilen einer Mischung aus 80 Ma.-% Rapsstroh und 20 Ma.-% Haferschälkleie beigemischt, sodass einerseits ein Trägermaterial für die Lignine zur Verfügung stand und andererseits die Pel-

letierung durch den Einsatz der Lignine als Bindemittel erleichtert wurde. Das Mischungsverhältnis orientierte sich dabei an zur Verfügung stehenden Brennstoffen.

Der Einsatz biogener Festbrennstoffe wird durch das Bundesimmissionsschutzgesetz und die darin verankerten Verordnungen geregelt. Die 1. BImSchV (2010) (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) „gilt für die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Feuerungsanlagen, die keiner Genehmigung nach § 4 BImSchG bedürfen“. Entsprechend § 3 Abs. 1, 1. BImSchV könnten Ligninbrennstoffe als „Nr.-13-Brennstoffe“, d. h. als sonstige nachwachsende Rohstoffe eingeordnet werden. Allerdings ist offen, ob die verantwortliche Behörde dieser Zuordnung folgen wird, da die Lignine im Produktionsprozess einer starken chemischen Veränderung unterliegen und evtl. nicht als nachwachsender Rohstoff angesehen werden. Damit wäre nur ein Einsatz in genehmigungspflichtigen Anlagen der 4. BImSchV (2013) unter Gültigkeit der Grenzwerte der TA Luft (2002) möglich.

### Brennstoffeigenschaften

Für die praktische Nutzung von biogenen Festbrennstoffen ist eine Reihe von Merkmalen von Bedeutung, die den Verbrennungsprozess in unterschiedlich hohem Ausmaß beeinflussen. Dazu gehören die chemische Zusammensetzung sowie die verbrennungstechnischen und physikalisch-mechanischen Eigenschaften des eingesetzten Brennstoffs. Diese Eigenschaften sind für nicht-holzartige Pellets, die nicht-industriell im Kleinfeuerungsanlagenbereich (1. BImSchV) verwendet werden, in der DIN EN ISO 17225-6 (2014) festgelegt.

Durch die Verwendung von Lignin bei der Pelletierung können zusätzliche Bindungen im Pelletiergut hergestellt werden, wodurch eine Verbesserung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Pellets erreicht werden kann (BERGHEL et al. 2013). Darüber hinaus zeichnen sich die vorliegenden Ligninvarianten im Vergleich zu Rapsstroh (RS) durch geringere Kalium-, Chlor- und Stickstoffgehalte aus. Die in Tabelle 1 aufgeführten Werte wurden entsprechend der in der DIN EN ISO 17225-1 (2014)vorgeschriebenen Bestimmungsverfahren erhoben. Die Haferschälkleie (HSK) besitzt gute Pelletiereigenschaften (ADAPA et al. 2009) und aufgrund niedriger Schwefel- und Kaliumgehalte eine hinsichtlich der Verschlackungsneigung und  $\text{SO}_x$ -Emissionen günstige chemische Zusammensetzung (Tabelle 1). Es wurde eine Basismischung bestehend aus 80 Ma.-% RS und 20 Ma.-% HSK hergestellt (nachfolgend als RS/HSK bezeichnet), der die beiden Ligninvarianten Ca-LS und Kraft-L in Anteilen von jeweils 1 und 2 Ma.-% beigemischt wurden.

Durch die Erhöhung der Ligninanteile ändert sich auch die chemische Zusammensetzung der Brennstoffe (Tabelle 1). Im Vergleich zur Ausgangsmischung (RS/HSK) erhöht sich der Asche- und Schwefelgehalt, hingegen sinken die Chlor-, Stickstoff- und Kaliumgehalte ab. Bei einer Verbrennung sind daher Minderungseffekte der HCl- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu erwarten, die wahrscheinlich mit höheren  $\text{SO}_2$ -Emissionen verbunden sind. Bezüglich des verminderten Kaliumgehalts sind teilweise positive Auswirkungen auf das Ascheschmelzverhalten und die Verschlackungsneigung sowie die Höhe der Feinstaubemissionen zu erwarten.

Hinsichtlich einer normativen Einordnung der Mischungen werden die Anforderungen der DIN EN ISO 17225-6 (2014) an halmgutartige Biomasse (Biomasse von Früchten, aquatische Biomasse, definierte und undefinierte Mischungen, Klasse B) bezüglich Asche- und Wassergehalt, Heizwert und Stickstoffgehalt eingehalten. Die gemessenen Heizwerte der Lignin-Mischbrennstoffe zeigen entgegen den Erwartungen teilweise höhere Werte als die der Ausgangsstoffe. Die Interpretation der Ergebnisse

Tabelle 1: Ausgewählte Brennstoffeigenschaften der Ausgangsstoffe

Parameter	Einheit	RS	HSK	RS/ HSK <sup>3)</sup>	Kraft-L	Ca-LS	RS/HSK +1 % Kraft-L	RS/HSK +2 % Kraft-L	RS/HSK +1 % Ca-LS	RS/HSK +2 % Ca-LS	DIN EN ISO 17225-6 <sup>4)</sup>
Wassergehalt	[Ma.-%]	8,8	9,3	8,9	7,3	47,1	8,6	10,2	10,0	9,9	≤ 15
Heizwert <sup>1)</sup>	[MJ/kg TS]	16,6	16,8	16,7	15,8	8,6	17,1 (16,7) <sup>5)</sup>	17,3 (16,7)	16,4 (16,6)	16,8 (16,5)	≥ 14,5
Aschegehalt <sup>2)</sup>	[Ma.-% TS]	7,4	5,2	7,1	27,5	16,9	7,1	7,2	7,2	7,4	≤ 10
C	[Ma.-% TS]	45	46,7	45,3	41,2	37,8	45,7	46,2	43,7	45,5	-
H	[Ma.-% TS]	5,9	6,1	5,9	4,1	2,7	5,4	5,5	5,3	5,6	-
N	[Ma.-% TS]	1,3	0,8	1,2	0,6	0,4	1,1	0,9	0,9	0,8	≤ 2,0
S	[Ma.-% TS]	0,3	0,1	0,3	2,3	23,8	0,4	0,5	0,4	0,7	≤ 0,3
Cl	[Ma.-% TS]	0,5	0,1	0,4	0,1	n.n.	0,3	0,4	0,3	0,3	≤ 0,3
K	[mg/kg TS]	19.000	8.657	16.931	8.650	852	15.400	14.600	13.700	13.000	-
Feinanteil < 3,15 mm	[Ma.-%]	-	-	-	-	-	6,6	5,6	0,8	3,7	≤ 3
Mechanische Festigkeit	[Ma.-%]	-	-	-	-	-	92,2	89,4	91,4	93,9	≥ 96
Schüttdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	-	-	-	-	-	505	445	476	531	≥ 600

<sup>1)</sup> H, N, S, korrigiert.

<sup>2)</sup> Bei 550 °C, außer Kraft-L (815 °C).

<sup>3)</sup> 80 Ma.-% RS + 20 Ma.-% HSK, berechnete Werte.

<sup>4)</sup> halmgutartige Biomasse, Biomasse von Früchten, aquatische Biomasse, definierte und undefinierte Mischungen, Klasse B

<sup>5)</sup> Werte in Klammern sind berechnete Werte.

TS = Trockensubstanz

Ca-LS = Calciumligninsulfonat

Kraft-L = Kraftlignin

n.n. = nicht nachweisbar

RS/HSK = Mischung aus Rapsstroh und Haferschälkleie (berechnete Werte)

RS/HSK+1% Kraft-L bzw. RS/HSK+2% Kraft-L = Mischung aus Rapsstroh und Haferschälkleie mit 1 Ma.-% bzw. 2 Ma.-% Kraft-Lignin

RS/HSK+1% Ca-LS bzw. RS/HSK+2% Ca-LS = Mischung aus Rapsstroh und Haferschälkleie mit 1 Ma.-% bzw. 2 Ma.-% Ca-Ligninsulfonat

hinsichtlich der normativen Einordnung bleibt davon jedoch unberührt. Der Chlorgehalt ist, wahrscheinlich bedingt durch die Inhomogenität der Mischung in einem Fall zu hoch. Die Anforderung für Schwefel wird aufgrund des ohnehin schon hohen Schwefelgehalts des RS und insbesondere des hohen Schwefelgehalts der beiden Ligninvarianten von allen Brennstoffmischungen überschritten.

## Aufbereitung und Pelletierung der Mischbrennstoffe

Die Ausgangsmaterialien RS und HSK sowie die beiden Ligninchargen wurden in einem ersten Schritt zerkleinert. Dem Ca-LS wurde während der Zerkleinerung flüssiger Stickstoff zugeführt, um die Temperatur in der verwendeten Schneidmühle gering zu halten und ein Aufschmelzen des Lignins und ein anschließendes Verkleben der Mühle zu verhindern. Zur Homogenisierung der eingesetzten Materialien wurden diese vor der Pelletierung gemischt und der Wassergehalt auf 16,5 Ma.-% eingestellt.

Die von einem beauftragten Unternehmen hergestellten Lignin-Mischpellets zeigten Abweichungen der physikalisch-mechanischen Eigenschaften von den normativen Vorgaben. Die mechanisch-physikalischen Eigenschaften von RS und HSK konnten aus Kapazitätsgründen nicht bestimmt werden. Bedingt durch die geringe Verfügbarkeit der neuartig aufbereiteten Lignine wurde die Herstellung mit Standardparametern des Pelletierprozesses durchgeführt. Eine weitergehende Optimierung

der Pelletierung konnte nicht vorgenommen werden. Die Kraft-L-Varianten haben mit ca. 6 Ma.-% einen deutlich höheren Feinanteil und die mechanische Festigkeit ist durchschnittlich etwas niedriger als die der Ca-LS-Varianten. Die Schüttdichten der Pellets weisen bei Werten um  $500 \text{ kg/m}^3$  große Schwankungen auf. Eine Abhängigkeit von der Höhe des Anteils der Ligninkomponente ist nicht zu erkennen. Bezüglich der physikalisch-mechanischen Eigenschaften (Schüttdichte, Feinanteil, mechanische Festigkeit) sind gezielte Anpassungen der Prozessparameter der Pelletierung notwendig, um die normativen Anforderungen zu erfüllen. Der Einfluss der Lignine auf den benötigten Energieeintrag der Pelletierung konnte bei dem beauftragten Unternehmen messtechnisch nicht erfasst werden. Lu et al. (2014) zeigten in Vorversuchen an einer Laborpresse einen positiven Effekt durch die Zugabe von Ligninsulfonat bei der Pelletierung von Weizenstroh und Holz. Mit einer optimierten Einstellung der Anlage ist davon auszugehen, dass der Effekt auch für die verwendeten Reststoffe zu verzeichnen ist.

### Thermische Nutzung der Mischbrennstoffe

Die Verbrennungsversuche wurden mit einem nach Herstellerangaben für pelletierte Halmgüter geeigneten Heizkessel mit einer Nennwärmeleistung von 25 kW unter Vollastbedingungen durchgeführt. Zur Messung der relevanten Gasemissionen ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ) wurde ein FTIR-Spektrometer genutzt. Die Staubmessung wurde entsprechend der VDI-Richtlinie 2066 Blatt 1 (2006) durchgeführt. Die Viertelstundenmittelwerte (VMW) der Gaskonzentrationen sind über den Versuchszeitraum zu einem Gesamtmittelwert zusammengefasst (Abbildung 1). Maximale bzw. minimale Konzentrationswerte beziehen sich auf den höchsten bzw. niedrigsten Viertelstundenmittelwert. Ein Viertelstundenmittelwert beruht auf ca. 90 einzelnen Messwerten, denen jeweils eine Messdauer von fünf Sekunden zugrunde liegt. Die Messungen erfolgten im stationären Zustand. Außerdem wurde eine visuelle Beurteilung des Abbrandverhaltens vorgenommen. Generell gilt es zu beachten, dass die Höhe der Emissionen nicht nur vom verwendeten Brennstoff abhängt, sondern auch anlagenspezifische Einflussgrößen wie z.B. Brennraumgeometrie, Luftführung und Rosttechnologie zu berücksichtigen sind. Die vorliegenden Messdaten sind daher nur für die verwendete Anlage uneingeschränkt gültig, erlauben jedoch auch Aussagen über die generelle Eignung der verwendeten Brennstoffe sowie die Übertragbarkeit auf größere Anlagen.

Die beiden Referenzvarianten RS bzw. HSK zeigten, bis auf die  $\text{NO}_x$ -Emissionen, deutliche Unterschiede hinsichtlich der Konzentrationen der emittierten Schadstoffe (Abbildung 1). Auch das Abbrandverhalten fiel sehr unterschiedlich aus. Die RS-Pellets wiesen eine sehr intensive Verschlackung auf, wohingegen die Verschlackung bei der Nutzung von HSK sehr gering ausfiel. Da Kalium außerdem eine bedeutende Komponente der mineralischen Staubfraktion ist, sind die Staubemissionen des RS ausgesprochen hoch. Weiterhin wird durch die starke Verschlackung der vollständige Gasausbrand behindert, was an den hohen  $\text{CO}$ -Emissionen erkennbar ist. Hinsichtlich  $\text{HCl}$  und  $\text{SO}_2$  zeigen die Pellets aus RS ein niedrigeres Emissionsniveau als die HSK-Pellets. Eine pelletierte RS/HSK-Mischung war für die Verbrennungsversuche nicht verfügbar.

Für alle Lignin-Mischbrennstoffe konnte eine kontinuierliche Verbrennung mit ausgeprägtem Flammenbild erreicht werden. Die Varianten mit höherem Ligninanteil zeigten eine stärkere Tendenz zur Versinterung bzw. Verschlackung der Feuerraumasche. Allerdings waren die gebildeten Agglomerate krümelig, porös und von geringer Festigkeit, sodass sie durch die Bewegung des Rostes bzw. beim Fallen in den Aschekasten meist zerstört wurden. Hier scheint die Nutzung der HSK einen posi-

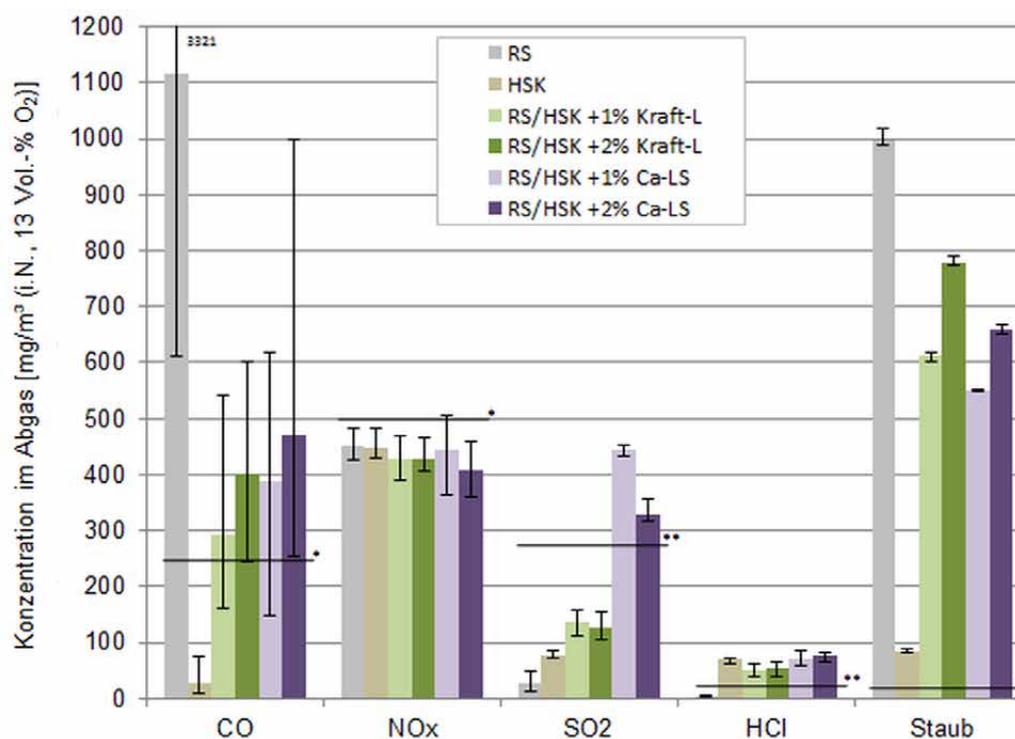


Abbildung 1: Schadgas- und Staubemissionen der vier Mischbrennstoffe RS/HSK (Rapsstroh-Haferschälkleie-Mischung), Kraft-L (Kraftlignin), Ca-LS (Calciumligninsulfonat). Fehlerbalken repräsentieren minimale und maximale Emissionswerte, \* = Grenzwerte laut 1. BImSchV (CO und NO<sub>x</sub>-Grenzwerte der Typprüfung, Staubgrenzwert der wiederkehrenden Messung), \*\* = Grenzwerte laut TA Luft. Grenzwerte der TA Luft wurden von einem Bezugssauerstoffwert von 11 Vol.-% auf 13 Vol.-% umgerechnet.

tiven Einfluss zu haben, während die Lignine diesem entgegenwirken. Trotz eines optisch zufriedenstellenden Verbrennungsvorgangs wird der CO-Grenzwert für eine Typprüfung (1. BImSchV 2010) von keinem der eingesetzten Lignin-Mischbrennstoffe eingehalten. Generell sind die CO-Emissionen starken Schwankungen unterworfen, die u. a. aus dem Aufbrechen von Verschlackungsstrukturen resultieren. Die mit Ca-LS versetzten Mischbrennstoffe weisen, je nach Variante, höhere CO-Emissionen auf als die Mischbrennstoffe mit Kraft-L (Abbildung 1). Für beide Ligninkomponenten führt eine 2%ige Zumischung zu einem Anstieg der CO-Emissionen um 80 bis 100 mg/m<sup>3</sup>. Dieser Anstieg geht wahrscheinlich auf eine zunehmende Verschlackung zurück, die dem Gasausbrand entgegensteht. Interessanterweise lässt sich die Verschlackung nicht eindeutig dem Kaliumgehalt zuordnen, da dieser mit zunehmendem Ligninanteil absinkt, sodass von weiteren Einflussgrößen ausgegangen werden kann.

Im Gegensatz zu den CO-Emissionen wird bei der Verbrennung von allen vier Mischbrennstoffvarianten der NO<sub>x</sub>-Grenzwert für eine Typprüfung gemäß 1. BImSchV (2010) eingehalten. Mit 400 bis 450 mg/m<sup>3</sup> liegen die gemittelten Werte auf einem ähnlich hohen Niveau.

Bezüglich der SO<sub>2</sub>-Emissionen ist bei den Brennstoffmischungen mit Kraft-L praktisch kein Unterschied zu erkennen. Die SO<sub>2</sub>-Emissionen sind mit 137 bzw. 126 mg/m<sup>3</sup> etwa gleich hoch. Die SO<sub>2</sub>-Emissionen der Mischbrennstoffe mit Ca-LS fallen mit Werten von 329 und 443 mg/m<sup>3</sup> nicht nur deutlich höher aus, es ist auch ein starker Unterschied zwischen der 1%-Ca-LS- und der 2%-Ca-LS-Variante zu erkennen. Dieser Unterschied kann nicht dem Schwefelgehalt der Brennstoffe zugeordnet werden, da

der Schwefelgehalt der 2%-Ca-LS-Variante höher ist als der Schwefelgehalt der 1%-Ca-LS-Variante. Da die Freisetzung von Schwefel neben dessen absolutem Gehalt im Brennstoff u. a. stark von der übrigen mineralischen Brennstoffzusammensetzung abhängt, ist davon auszugehen, dass der Schwefel vorrangig in partikulärer Form emittiert und zusätzlich in der Feuerraumasche angereichert wurde (VAINIO et al. 2013). Bezüglich der SO<sub>2</sub>-Emissionen aus Biomassefeuerungen ist kein Grenzwert in der 1. BImSchV (2010) festgelegt. Die TA Luft (2002) hingegen weist einen Grenzwert von umgerechnet 280 mg/m<sup>3</sup> (bezogen auf 13 Vol.-% O<sub>2</sub> im Abgas) aus, welcher von den beiden Kraft-L-Mischbrennstoffen eingehalten werden konnte, von den beiden Ca-LS-Mischbrennstoffen jedoch überschritten wurde.

Die HCl-Emissionen liegen für alle vier Mischchargen über 50 mg/m<sup>3</sup> und überschreiten damit den geforderten Grenzwert der TA Luft (2002) von umgerechnet 24 mg/m<sup>3</sup> (bezogen auf 13 Vol.-% O<sub>2</sub>) um mindestens das Doppelte. Die HCl-Emissionen der Ca-LS-Varianten liegen dabei um ca. 20 mg/m<sup>3</sup> über denen der Kraft-L-Varianten. Die Chlorgehalte im Brennstoff variieren demgegenüber praktisch nicht, sodass die verminderten HCl-Emissionen der Kraft-L-Mischbrennstoffe mit einer verstärkten Freisetzung des Chlors in partikulärer Form wie z. B. KCl, zu erklären sind (SOMMERSACHER et al. 2012, JOHANSEN et al. 2013). Auch die höheren Kaliumgehalte der Kraft-L-Mischbrennstoffe stützen dies.

Die Feinstaubemissionen sind mit Werten von 551 bis 779 mg/m<sup>3</sup> als sehr hoch einzustufen. Dies entspricht den Erwartungen, da bereits die Summe der Aerosolbildner (S, Cl, K, Na, Pb, Zn) – geprägt durch hohe Kaliumgehalte in den Brennstoffen – auf eine hohe Feinstaubemission schließen ließ (OBERNBERGER 2014). Die Emissionen der Brennstoffe mit Kraft-L sind in der entsprechenden Variante deutlich höher als bei den Brennstoffen mit Ca-LS. Eine Erhöhung der jeweiligen Ligninkomponente auf 2 Ma.-% führt zu einem starken Anstieg der Feinstaubemissionen um über 100 mg/m<sup>3</sup>. Hier sollte eine geeignete Filtertechnik zur Einhaltung der Grenzwerte eingesetzt werden.

## Schlussfolgerungen

Das anfallende Kraft-L bzw. Ca-LS ist in seiner aufbereiteten Form nicht als Monobrennstoff zum Einsatz in marktverfügbaren Pelletkesseln nach der 1. BImSchV (2010) geeignet, da das starke Erweichen der Materialien bei verhältnismäßig niedrigen Prozesstemperaturen eine Kompaktierung nicht zulässt und im Fall einer Nutzung in Kleinf Feuerungsanlagen bereits vor Erreichen des Brennraums ein Schmelzen des Materials zu befürchten ist. Die Nutzung als nicht pelletierter Monobrennstoff in einer speziell für diesen Brennstoff ausgelegten Verbrennungsanlage (nicht zwangsläufig eine Kleinf Feuerungsanlage) ist grundsätzlich nicht auszuschließen, wurde im Rahmen des Projekts jedoch nicht betrachtet. Generell könnten hier Anlagen, deren konzeptionelle Ausführung in Anlehnung an die 17. BImSchV (2013) (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) erfolgt, eine erste Orientierung liefern. Für den Einsatz von Brennstoffen in Kleinf Feuerungsanlagen spricht jedoch, dass damit eine hohe Wertschöpfung erzielt werden kann.

In den Versuchen konnten beide Ligninvarianten einer energetischen Verwendung zugeführt werden, indem sie in Anteilen von 1 bzw. 2 Ma.-% einer Grundmischung aus 80 Ma.-% RS und 20 Ma.-% HSK zugemischt wurden. Die physikalisch-mechanischen Anforderungen der DIN EN ISO 17225-6 (2014) konnten nicht erfüllt werden, da hierzu umfangreichere Versuche zur Pelletierung notwendig sind, die im Rahmen der vorliegenden Arbeiten nicht möglich waren. Die Autoren gehen jedoch davon aus, dass die Herstellung normgerechter Mischpellets mit weitergehenden Pelletierungsversuchen möglich ist. Der Heizwert und der Aschegehalt der Mischpellets entsprechen ungefähr denen von

Stroh brennstoffen. Hinsichtlich kritischer emissionsrelevanter Elemente ist insbesondere der hohe Schwefelgehalt hervorzuheben. Weiterhin wirkt sich auch der hohe Gehalt an Kalium negativ auf das Verbrennungs- und Verschlackungsverhalten und die Höhe der Staubemission aus. Auch hinsichtlich der chemischen Eigenschaften wurde den Anforderungen der DIN EN ISO 17225-6 (2014) nur teilweise entsprochen. Dies spiegeln auch die Ergebnisse der Verbrennungsversuche wider. Der bei einer Typprüfung einzuhaltende CO-Grenzwert der 1. BImSchV (2010) von 250 mg/m<sup>3</sup> (bezogen auf 13 Vol.-% O<sub>2</sub>) wurde von allen getesteten Lignin-Mischbrennstoffen deutlich überschritten. Daher sollte eine andere Ausgangsmischung der Biomassen oder die Zumischung der Lignine zu anderen Biomassen geprüft werden. Die SO<sub>2</sub>- als auch die Staubemissionen sind stark von den zugegebenen Ligninkomponenten abhängig. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind diesbezüglich unkritisch. Aus genehmigungsrechtlicher Sicht ist es fraglich, ob die genehmigende Behörde einen RS-HSK-Lignin-Mischbrennstoff aufgrund der Vorbehandlung der Lignine als nachwachsenden Rohstoff einordnet. Diesbezüglich wäre auch eine alternative Einordnung als Zuschlagstoff zu prüfen. Weiterhin sind die hohen Anforderungen der Typprüfung, insbesondere mit Blick auf die CO- und Feinstaubemissionen sowie die zusätzliche Messung von PCDD/F ohne weitere Maßnahmen zur Brennstoffoptimierung bzw. der Verwendung geeigneter Abscheidetechnik nicht einzuhalten (OBERNBERGER 2005). Vor diesem Hintergrund erscheint nach aktuellem Stand die Nutzbarkeit der betrachteten Mischbrennstoffe ohne weitergehende Vorbehandlung und ohne geeignete sekundäre Minderungsmaßnahmen bei Kleinanlagen nicht gegeben. Im Bereich der genehmigungsbedürftigen Anlagen (> 100 kW bis < 50 MW) ist eine Nutzung durch die vorgegebene Ausrüstung mit entsprechend leistungsfähiger Filtertechnik (zum Beispiel Zyklon, Elektro- oder Gewebefilter) möglich und sollte im Einzelfall als interessante Option geprüft werden.

## Literatur

1. BImSchV (2010): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010, BGBl. I S. 38
  4. BImSchV (2013): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen vom 2. Mai 2013, BGBl. I S. 973, 3756
  17. BImSchV (2013): Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV) vom 2. Mai 2013, BGBl. I S. 1021, 1044, 3754
- Adapa, P.; Tabil, L.; Schoenau, G. (2009): Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. *Biosystems Engineering* 104(3), pp. 335–344
- Berghel, J.; Frodeson, S.; Grantström, K.; Renström, R.; Ståhl, M.; Nordgren, D.; Tomani, P. (2013): The effects of kraft lignin additives on wood fuel pellet quality, energy use and shelf life. *Fuel Processing Technology* 112, pp. 64–69
- DIN EN ISO 17225-1 (2014): Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Deutsche Fassung EN ISO 17225-1:2014, Beuth Verlag
- DIN EN ISO 17225-6 (2014): Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 6: Klassifizierung von nicht-holzartigen Pellets (ISO 17225-6:2014); Deutsche Fassung EN ISO 17225-6:2014, Beuth Verlag
- Johansen, J. M.; Aho, M.; Paakkinen, K.; Taipale, R.; Egsgaard, H.; Jakobsen, J. G.; Frandsen, F. J.; Glarborg, P. (2013): Release of K, Cl, and S during combustion and co-combustion with wood of high-chlorine biomass in bench and pilot scale beds. *Proceedings of the Combustion Institute* Vol. 34, pp. 2363–2372
- Lu, D.; Tabil, L. G.; Wang, D.; Wang, G.; Emami, S. M. (2014): Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. *Biomass and Bioenergy* 69, pp. 287–296

- Narra, S.; Logsch, F.; Glaser, C.; Ay, P. (2012a): Sludge-pelleting of paper and pulp residue. XXVI International Mineral Processing Congress "Innovative Processing for Sustainable Growth", New Delhi, India, 24-28 September 2012, pp. 03723-03739
- Narra, S.; Ay, P.; Glaser, C.; Logsch, F. (2012b): Verfahren zur Herstellung von wasserunlöslichen Lignin-Agglomeraten; DE102012102327B3
- Obernberger, I. (2005): Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente, Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Technische Universität Graz, Institut für Ressourcenschonende und Nachhaltige Systeme, Band 1, 4. Auflage
- Obernberger, I. (2014): Strategy for the application of novel characterization methods for biomass fuels: Case study of straw. *Energy & Fuels* 28(2), pp. 1041-1052
- Sommersacher, P.; Brunner, T.; Obernberger, I. (2012): Fuel Indexes: A novel method for the evaluation of relevant combustion properties of new biomass fuels. *Energy & Fuels* 26(1), pp. 380-390
- TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft)
- Vainio, E.; Yrjas, P.; Zevenhoven, M.; Brink, A.; Laurén, T.; Hupa, M. ; Kajolinna, T.; Vesala, H. (2013): The fate of chlorine, sulfur, and potassium during co-combustion of bark, sludge, and solid recovered fuel in an industrial scale BFB boiler. *Fuel Processing Technology* 105, pp. 59-68
- VDI 2066, Blatt 1 (2006): Messen von Partikeln – Staubmessung in strömenden Gasen – Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung. In: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4: Analysen- und Messverfahren, Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure

## Autoren

**Dipl.-Ing. Nadja Weller** und **Dipl.-Ing. Frank Döhling** sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Innovative Festbrennstoffe“ im Bereich Thermo-chemische Konversion (Bereichsleitung: **Dr.-Ing. Volker Lenz**) am Deutschen Biomasseforschungszentrum, Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig, E-Mail: Frank.Doehling@dbfz.de.

## Hinweise

Die vorgestellten Ergebnisse stellen auszugsweise die Arbeiten des Verbundprojekts „LignoBioFuel - Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von stofflich und energetisch nutzbaren Bioagglomeraten auf der Basis von Lignin“ (FZK 03KB58) dar, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.