

Verfahren zur Herstellung kleinstückiger Braunkohlenverbundbrennstoffe zur schadstoffarmen Verbrennung

Herstellung der Verbundbrennstoffe

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden Verfahrenstechniken zur Herstellung kleinstückiger Verbundbrennstoffe in Pellet- und Granulatform aus Weichbraunkohle und nachwachsenden Rohstoffen entwickelt und im Technikum der Forschungsstelle erfolgreich erprobt.

Es wurde Niederlausitzer Braunkohle aus der Brikettfabrik Schwarze Pumpe verwendet. Als Zusatzstoffe dienten verschiedene Holzprodukte (Hackschnitzel aus einheimischen Wäldern, Hackschnitzel aus Plantagenholz und Buchenholzspäne) sowie Weizen- und Rapsstroh in unterschiedlicher Aufbereitungsgüte.

Folgender Erkenntnisstand wurde erreicht:

Zur Herstellung von Verbundbrennstoffpellets

1. Die Hauptprozessstufen zur Herstellung der Verbundbrennstoffe in Pelletform sind:
 - Zerkleinerung der Rohbraunkohle auf die Körnung $\Delta d_{BK} = 4/0$ mm,
 - Aufschluss der nachwachsenden Rohstoffe durch Zerkleinerung oder Intensivkneten in eine Faser- oder Spänestruktur möglichst hoher Feinheit und Befeuchtung auf den Wassergehalt der Rohbraunkohle,
 - Aktivierung der Rohbraunkohle und Vermischung der Rohstoffe im Intensivmischer oder Doppelschneckenextruder unter Zusatz von Wasser ($a_{Zu,H_2O} = 10$ bis 15%),
 - Pelletierung des feuchten Mischgutes zu Pellets der Größe $d_p = 5$ mm mit der Lochscheibenwalzenpresse,
 - Trocknung der Rohpellets auf den Wassergehalt $w_p \leq 12$ %.
2. Innerhalb der Verfahrenstechnik der Herstellung von Pellets oder Granulaten kommt dem Prozess der Aktivierung der Kohle durch Nassaufschluss eine besondere Bedeutung zu. Dieser Prozess ist für die spätere Festigkeit der Agglomerate von ausschlaggebender Bedeutung. Durch den Nassaufschluss werden gesättigte Bindungspotentiale der Förderkohle reaktiviert.
3. Die Feuchtpelletierung der Gemische aus Rohbraunkohle und 10 Ma. % bis 50 Ma.-% Anteile zerfasertes Holz, Holzspäne, zerkleinertes Weizenstroh oder zerfasertes Rapsstroh mit der Lochscheibenwalzenpresse ist prozessstabil. Die feuchten Pellets sind nicht bunkerfähig und müssen schonend zum Trockner transportiert werden.
4. Die getrockneten Verbundbrennstoffpellets sind transportfest und lagerfähig. Sie sind für einen Schnecken- und Saugtransport geeignet. Verbundbrennstoffpellets zeichnen sich durch eine hohe Sturzfestigkeit von $St-R2(300) \geq 95$ % aus. Verbundbrennstoffpellets sind gut wasserbeständig.

5. Verbundbrennstoffpellets sind porös und haben eine geringe Rohdichte. Die Schüttdichte der sehr „leichten“ Pellets ist ebenfalls sehr gering. Das ist ein Vorteil für eine vollständige und emissionsarme Verbrennung dieser Pellets. Andererseits stellen derart leichte Pellets besondere Anforderungen an die Technik der Brennstoffzuführung der Öfen bzw. Heizkessel.
6. Zum Einfluss der Aufbereitung der Zusatzstoffe auf die Qualität der Verbundbrennstoffpellets besteht die Tendenz, dass eine Zerfaserung oder feine Zerkleinerung der nachwachsenden Rohstoffe die Festigkeit der Pellets auf hohem Niveau verbessert. Die Zerfaserung von Holz oder Stroh erfordert einen erhöhten Energiebedarf.
7. Der Zusatzanteil der nachwachsenden Rohstoffe beeinflusst vor allem die Schüttdichte und Rohdichte der Pellets und zwar derart, dass beide Güterwerte mit abnehmendem Zusatzanteil ansteigen.
8. Ein gravierender Einfluss der Rohstoffart auf die Güterwerte der Verbundbrennstoffpellets besteht nicht. Mit allen getesteten Zusatzprodukten lassen sich unter gleichen Bedingungen äquivalente Pelletqualitäten herstellen, wie die folgende Wertezusammenstellung zeigt:

Kennwert	Holz- pellets (DINplus)	Verbundbrennstoffpellets							
		Waldhackschnitzel				Plantagenholz		Weizenstroh	Rapsstroh
		fein zerfasert		Späne		Späne		fein	fein zerfasert
a_{RK} in %	-	50	90	50	90	50	90	90	90
a_{Zu} in %	100	50	10	50	10	50	10	10	10
St-R2(300) in %	94,5 ¹⁾ 0 ¹⁾	98,4	97,8	96,9	95,9	96,8	95,4	96,5	96,5
St6-R2(300) in %		98,1	97,2	95,8	95,2	94,1	94,5	96,0	96,5
$\rho_{Schütt,P}$ in g/cm ³	0,66 1,19	0,24 0,56	0,42 0,78	0,29 0,65	0,47 0,90	0,22 0,55	0,45 0,81	0,43 0,83	0,47 0,83
$\rho_{roh,P}$ in g/cm ³									

1) kein Normwert der DIN 51731 und DINplus

Zur Herstellung von Verbundbrennstoffgranulat

1. Das Granulierverfahren wurde für die Herstellung von Verbundbrennstoffen entwickelt, weil es mit weniger Prozessstufen auskommt. Die Aufbereitung der Rohbraunkohle und der Zusatzstoffe erfolgt analog dem Pelletierverfahren. Die Granulierung erfolgt während der Vermischung der Rohstoffe im Intensivmischer.
2. Die Feuchtgranulierung der Gemische aus Rohbraunkohle und fein zerfasertem Holz oder fein zerkleinertem Weizenstroh in einem Intensivmischer unter Wasserzusatz ist kontinuierlich und störungsfrei durchführbar. Der Zusatzanteil der nachwachsenden Rohstoffe sollte $a_{Zu} = 30$ Ma.-% nicht übersteigen, um eine hohe

Granulatqualität zu erhalten. Das feuchte Granulat hat eine Körnung von $\Delta d_G = 6/0$ mm.

3. Die auf $w_G \leq 12$ % getrockneten Granulate sind transportfest und lagerfähig. Die Trockengranulate haben nach der Absiebung von Fein- und Grobkorn eine Körnung von $\Delta d_G = 4/1$ mm. Alle Produkte zeichnen sich durch eine hohe Sturzfestigkeit und Wasserbeständigkeit aus. Auf hohem Niveau steigen diese Gütewerte mit der Absenkung des Anteils des nachwachsenden Rohstoffes an. Dieser Trend besteht auch für die Schüttdichte, die wie die der Pellets sehr gering bleibt.

In der folgenden Wertetabelle wurden einige Gütewerte der Verbundbrennstoffgranulate zusammengestellt:

a_{RK} in %	70	90	70	90
a_{HS1} in % (Fasern)	30	10	-	-
$a_{WS,fein}$ in %	-	-	30	10
St-R1(300) in %	91,1	94,8	92,0	96,1
St6-R1(300) in %	88,0	90,2	87,1	92,2
$\rho_{Schütt,G}$ in g/cm^3	0,293	0,442	0,283	0,391

Einsatztests der Verbundbrennstoffe

Im Rahmen der Verfahrensentwicklung zur Herstellung von Verbundbrennstoffen in Pellet- oder Granulatform wurden begleitende Verbrennungsversuche mit einem Pelletsheizkessel mit Unterschubfeuerung durchgeführt. Diese Versuche führten zu der Erkenntnis, dass eine effiziente und emissionsarme Verbrennung der Verbundbrennstoffpellets nur erreicht werden kann, wenn

- die Pellets eine Festigkeit von $St2(300) \geq 95$ % aufweisen und das Schüttgut quasi staubfrei ist,
- die Verbrennung der Pellets automatisch geregelt wird und
- der Heizkessel mit einer mechanischen Abreinigung der Asche von der Brennstoffauflage ausgerüstet ist.

Die Verbrennung von Verbundbrennstoffgranulat in einem Holzpelletsheizkessel mit Unterschubfeuerung wurde als nicht praktikabel erkannt. Verbundbrennstoffgranulate sollten in einer Wirbelschichtfeuerung verbrannt werden.

Ausgehend von diesen Voraussetzungen, wurde das Verbrennungsverhalten der Verbundbrennstoffpellets in einem HDG-Pelletmaster, Typ PM15, von der Firma HDG Bavaria bestimmt. Der Kessel wurde nicht vom Projekt, sondern durch Eigenmittel der Forschungsstelle finanziert.

Der HDG-Pelletmaster wurde für die Verbrennung von Holzpellets mit DIN-Qualität gebaut und hat sich in der Praxis bewährt. Er wurde für die Versuche ausgewählt, weil er über ein bewegtes Stufenrost verfügt und der Abbrand automatisch mittels einer λ -Regelung optimiert wird.

Der Kessel wurde mit dem Betriebsprogramm „Verbrennungs- und Leistungsregelung“ gefahren. Bei dieser automatischen Betriebsweise richtete sich

die Leistungsabgabe des Kessels nach der Wärmeabnahme. Die Wärmeabnahme erfolgte über einen Wärmetauscher, der bei allen Versuchen eine quasi konstante Wärmeabnahme sicherte.

Die Bewertung des Kesselbetriebes und der Schadgasemission erfolgte ohne die Aufheizphase des Kessels.

Im Rahmen der Versuche wurden die Verbrennungseigenschaften von Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und den Zusatzstoffen Holz bzw. Stroh untersucht. Die Zusammensetzung der Pellets wurde in den Stufen 50, 20 und 10 Ma.-% Zusatzprodukt variiert.

Die Verbrennungsversuche im HDG-Pelletmaster brachten folgende Erkenntnisse:

1. Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und den nachwachsenden Rohstoffen Holz oder Stroh lassen sich im HDG-Pelletmaster bei automatischem Betrieb effizient verbrennen. Der Kessel wird bei Wärmeanforderung in Betrieb gesetzt. Nach dem Füllen des Brennraumes mit Pellets erfolgt deren Zündung. Alle untersuchten Pelletvarianten zündeten problemlos. Nach dem Zünden beginnt die Aufheizphase des Kessels bis zur geforderten Brennraumtemperatur von 550 °C. Nach etwa 40 bis 60 min „Aufheizung“ erreicht der Kessel den Betriebszustand „Regelung“. Die Heizleistung des Kessels wurde von der Wärmeabnahme bestimmt. Bei allen Verbrennungsversuchen wurde ein sehr hoher feuerungstechnischer Wirkungsgrad von 95,4 bis 97,6 % erreicht.
2. Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und Holz bzw. Stroh haben eine sehr hohe Feuerstandfestigkeit. Die Feuerstandfestigkeit wird weiter verbessert, wenn der Kohleanteil in den Pellets erhöht wird. Die hohe Feuerstandfestigkeit der Verbundbrennstoffpellets wird erreicht, weil die Pellets sehr fest sind und gegenüber den normgerechten Holzpellets mit gedämpfter Abbrandgeschwindigkeit verbrennen. Deshalb wird die Brennstoffmatrix trotz hoher Porosität nicht frühzeitig zerstört. Vielmehr zeigen Verbundbrennstoffpellets eine hohe Formstabilität während des Abbrandes. Der Zerfall der Pelletmatrix tritt erst nach völligem Ausbrand ein. Durch die Bewegung des Glutbettes werden nur Aschehüllen abgestreift und damit die Sauerstoffzufuhr an die innere „Brennfront“ verbessert.
3. Bei der Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets mit hohen Zusatzanteilen von Holz bzw. Stroh ($a_{Zu} = 50$ Ma.-%) wurde kein stabiler Kesselbetrieb erreicht. Der Abbrand schwankte in seiner Intensität. Die CO₂-Entwicklung und auch die Heizleistung zeigten vereinzelte, extreme Ausschläge über eine längere Versuchsdauer. Diese Trendveränderungen wiesen auf Störungen im Abbrand hin. Als Ursache wurden eine ungleichmäßige und/oder aussetzende Brennstoffzuführung und Stauvorgänge auf dem Rost erkannt. Letztere traten erst nach längerer Versuchszeit von 3 bis 5 Stunden auf.

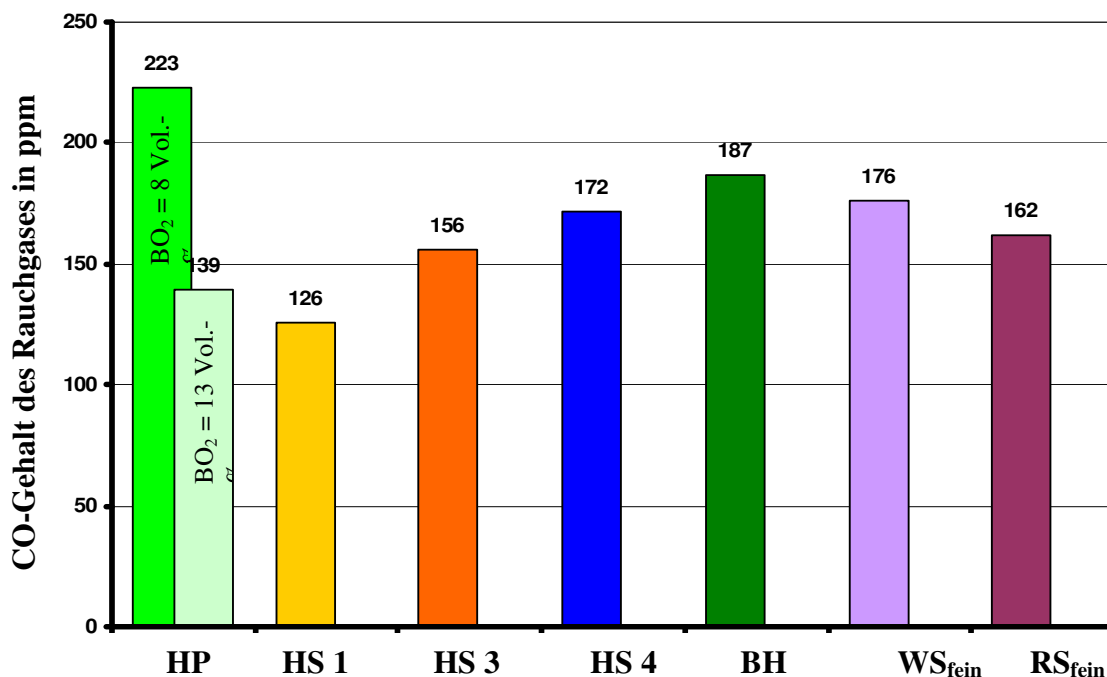
Mit steigendem Kohleanteil in den Verbundbrennstoffpellets ($a_{BK} = 80$ bis 90 Ma.-%) stabilisierte sich der Kesselbetrieb. Der Verbrennungsprozess war relativ gleichmäßig, obwohl sich durch den gleichsam steigenden Ascheanfall die Stauvorgänge auf dem Rost verstärkten. Diese wirkten sich aber weniger auf die Prozessstabilität aus, sondern verursachten einzelne Spitzen in der CO-Emission.

Dieser Einfluss des Anteils des Zusatzstoffes wurde bei allen verwendeten Holz- und Strohart festgelegt. Ein Einfluss der Aufbereitung der Zusatzprodukte auf die Prozessstabilität war nicht offensichtlich erkennbar.

4. Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und Holz bzw. Stroh verbrennen emissionsarm, weil in allen Versuchen
 - keine Kohlenwasserstoffe mit dem Rauchgas emittierten
 - die CO-Emission mit 126 ppm bis 497 ppm sehr gering war
 - die Staubfreisetzung nur 40,2 bis 103,4 mg/m³ i.N. betrug.

Einzelne Verbundbrennstoffpellets verbrannten mit einem Emissionsniveau wie normgerechte Holzpellets. Dieser Befund macht deutlich, dass unter den Bedingungen einer geregelten Verbrennung nicht nur der Abbrand der Holzpellets, sondern durch die Verbrennung der Verbundbrennstoffpellets quasi einer „vollständigen Verbrennung“ schon sehr nahe kommt.

5. Die Darstellungen in der folgenden Graphik zeigen, dass bei der Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets mit 10 Ma.-% Holz oder Strohzusatz zur Braunkohle die CO-Emission das Niveau der Verbrennung von Qualitätsholzpellets im HDG-Pelletmaster erreicht wird. Das ist ein ausgezeichnetes Ergebnis. Für die Effizienz des Verfahrens von besonderer Bedeutung ist, dass diese geringe CO-Emission bei der Verbrennung von Pellets mit hohen Kohleanteilen und Zusätzen an minderwertigen Weichholz oder Stroh möglich ist. Bezüglich der Aufbereitungsintensität genügt für Holz Spänequalität. Das Stroh muss vor allem aus der Sicht der Pelletherstellung fein zerkleinert (Weizenstroh) bzw. grob zerkleinert (Rapsstroh) sein. Die energetisch aufwändige gemeinsame Aufbereitung von Braunkohle und Stroh in einem Doppelschneckenextruder brachte keinen Vorteil im Emissionsverhalten der Verbundbrennstoffpellets.



Holzpellets Verbundbrennstoffpellets mit 10 Ma.-% Zusatzprodukt

CO-Emissionen bei der Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets und Holzpellets im HDG-Pelletmaster (BO₂ = 8 Vol.-% für Verbundbrennstoffpellets)

6. Die emissionsarme Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets aus 90 Ma.-% Braunkohle und 10 Ma.-% Holz bzw. 10 Ma.-% Stroh wird auch durch die geringe Staubfreisetzung bestätigt, wie aus der folgenden Wertezusammenstellung hervorgeht ($\text{BO}_2 = 8 \text{ Vol.-%}$):

Zusatzprodukt	Staubgehalt in $\text{mg/m}^3\text{i.N.}$
<u>Waldhackschnitzel</u>	
- feinzerfasert HS1	54,8
- Späne HS3	41,3
<u>Plantagenholz (Pappel)</u>	
- Späne HS4	45,6
<u>Buchenholz BH</u>	48,0
<u>Weizenstroh</u>	
- fein zerkleinert WS_f	84,2
<u>Rapsstroh</u>	
- fein zerfasert RS_f	76,4

Die Staubemission bei der Verbrennung von Braunkohle-Stroh-Pellets war gering höher als bei der Verbrennung von Braunkohle-Holz-Pellets. Die Ursache dafür ist, dass das aschereichere Stroh mit einer höheren Verbrennungsgeschwindigkeit verbrennt und somit verstärkt zur Flugstaubbildung beiträgt.

Die Staubemission bei der Verbrennung von normgerechten Holzpellets im HDG-Pelletmaster betrug $28,3 \text{ mg/m}^3\text{i.N.}$ ($\text{BO}_2 = 13 \text{ Vol.-%}$). Die Verbrennung der Verbundbrennstoffpellets erreicht diesen Spitzenwert nicht ganz. Zur Einschätzung der geringen Staubemission bei der Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets sei vermerkt, dass die 1. BImSchV für Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe mit einer Nennleistung von $> 15 \text{ kW}$ den Partikelaustrag auf $150 \text{ mg/m}^3\text{i.N.}$ begrenzt.

7. Bei den Verbrennungsversuchen von Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und aufbereitetem Holz bzw. Stroh im HDG-Pelletmaster wurde festgestellt, dass die Emissionen von Kohlenmonoxid und Partikel geringer wurden, wenn der Kohleanteil in den Pellets auf 90 Ma.-% gesteigert und der Holz- oder Strohannteil auf 10 Ma.-% verringert wurden.

Andererseits brachten die Versuche die Erkenntnis, dass mit diesem Trend sich die Gleichmäßigkeit des Verbrennungsprozesses und damit die Stabilität des Kesselbetriebes deutlich verbesserten. Das zeigte sich besonders daran, dass die Schwankungsbreite der CO-Emission kleiner wurde und extreme Spitzenwerte weniger auftraten.

Insoweit ist davon auszugehen, dass die Abnahme der CO- und Staubemissionen mit steigendem Kohleanteil in den Pellets sowohl den Synergieeffekten der gemeinsamen Verbrennung von Kohle und Holz bzw. Stroh zuzuordnen sind als auch der gleichsam abnehmenden Störhäufigkeit im Abbrand. Als Ursachen für diese Störungen des Kesselbetriebes waren die ungleichmäßige Brennstoffzufuhr bei hohen Anteilen der Zusatzstoffe sowie Stauvorgänge auf dem Rost durch Bildung von Aschesinter erkannt worden.

Die Schwankungen in der Brennstoffzufuhr wurden vor allem durch die sehr geringe Schüttdichte der Pellets mit hohen Anteilen von Holz oder Stroh verursacht, wodurch es einerseits zur Brückenbildung im Pelletbunker kam und andererseits die Kammern des Zuteilers des Kessels zu wenig Brennstoffmasse aufnahmen. Dieses Problem ist lösbar, indem die Zuteiltechnik des Kessels und die Gestaltung des Pelletbunkers den speziellen Stoffwerten der Verbundbrennstoffpellets angepasst werden.

Die Bildung von Aschesinter bei der Verbrennung der Verbundbrennstoffpellets sind unvermeidbar, da der Ascheanfall und die Aschezusammensetzung Stoffwerte sind und nur über die Pelletzusammensetzung beeinflusst werden können. Die Störung des Abbrandes durch die Aschesinter ist andererseits durch Technik beherrschbar. Das ist möglich, wenn zur Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets ein Heizkessel entwickelt wird,

- der zusätzlich zur mechanischen Rostabreinigung mit einer weiteren speziellen Rost-Abräumtechnik arbeitet
- der mit einer optimalen Brennkammerauskleidung ausgerüstet ist, an der Aschesinter nicht anhaften
- dessen Rost so dimensioniert wird, dass die gesamte Brennstoff/Asche-Auflage bewegt wird
- dessen Rostneigung und Rosttakt auf die neuen Verbundbrennstoffpellets ausgerichtet wurde.

Diese Aufgaben können nur in enger Zusammenarbeit mit den Kessel-Herstellern gelöst werden.

8. Die NO_x -Emission bei der Verbrennung der Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und aufbereitetem Holz bzw. Stroh betragen je nach Pelletzusammensetzung 179 ppm bis 255 ppm. Die NO_x -Emissionen waren somit höher als bei der Verbrennung von genormten Holzpellets mit 106 ppm NO_x ($\text{BO}_2 = 13 \text{ Vol.-%}$). Die NO_x -Emission nahm mit steigendem Kohleanteil in den Pellets zu, da der Stickstoffgehalt der Kohle mit 1,4 % (an) deutlich über den Stickstoffgehalten von Holz und Stroh liegt. Insofern ist davon auszugehen, dass die NO_x -Bildung vornehmlich aus dem Stickstoff des Brennstoffes erfolgt. Andererseits ist die Bildung von thermischen NO aus dem Stickstoff der Verbrennungsluft trotz geringer Brennkammertemperatur von 550 bis 700 °C aber hoher Glutbetttemperatur von 1100 °C bis 1180 °C nicht auszuschließen.
9. Die SO_2 -Emission bei der Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets aus Braunkohle und aufbereitetem Holz bzw. Stroh betrug in Abhängigkeit von der Brennstoffzusammensetzung 234 ppm bis 381 ppm. Die SO_2 -Freisetzung steigt mit der Erhöhung des Kohleanteils in den Pellets. Die SO_2 -Emission bei der Verbrennung von Verbundbrennstoffpellets ist ein Nachteil dieses neuen Brennstoffes gegenüber der Verbrennung von Holzpellets. Die SO_2 -Emission bei der Verbrennung der Verbundbrennstoffpellets wird in jedem Falle der 1. BImSchV gerecht, wenn Braunkohle mit $S_{\text{ges}} \leq 1 \text{ Ma.-% (wf)}$ zur Pelletherstellung verwendet wird.