

Pellets aus Paludikulturen

Brennstoffqualität und Verbrennungsverhalten

von DR. DANIEL KUPTZ, CLAUDIA SCHÖN und DR. HANS HARTMANN: **Paludikulturen von renaturierten Moorflächen könnten zur Erzeugung regenerativer Wärme eingesetzt werden. Praxisversuche am TFZ mit Pellets aus Rohrkolben, Schilfrohr, Rohrglanzgras und Seggen zeigen jedoch, dass das in kleinen Biomassekesseln schwierig werden dürfte. Trotz Additivierung mit Kaolin oder Mischung mit Holz kamen hohe gas- und partikelförmige Emissionen zustande (NO_x , SO_x , Staub), und auch die Schlackebildung war stark erhöht. Ein konstanter Kesselbetrieb war oft nicht möglich. Die Verbrennung von Paludi-Biomasse ist somit der Nutzung in größeren Kesseln vorbehalten.**

Ein Großteil der Moore in Deutschland (circa 92 Prozent im Jahr 2019) sind derzeit entwässert und werden intensiv genutzt, beispielsweise für Ackerbau oder als Grünland [1]. Diese Flächen emittieren jährlich bis zu 54 Mio. t CO_2 -Äquivalent. Ursache ist eine verstärkte Mineralisierung der trocken gelegten Torfschicht, weshalb eine Wiedervernässung der Flächen aus Sicht des Klimaschutzes empfohlen wird [2] [3]. Da die meisten Moorflächen im Besitz von Landwirten sind, werden geeignete Nutzungsmöglichkeiten nach der Wiedervernässung benötigt. Hierunter fällt der Anbau von Paludikulturen, beispielsweise von Rohrkolben, Schilfrohr, Rohrglanzgras oder Seggen [4].

Das über das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) und den Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE) geförderte Forschungsprojekt „MOORuse“ hat zum Ziel, innovative und nachhaltige Nutzungsstrategien für Niedermoore in Bayern zu entwickeln und umzusetzen. Im Rahmen des Projekts wurden drei Testflächen mit Paludikulturarten auf wiedervernässten Mooren angelegt. Das gernerete Material wurde auf seine Eignung, beispielsweise als Substrat für Biogas, als Rohstoff für Dämm- und Baustoffe, als Torfersatz für den Gartenbau, als Rohmaterial für biogene Polymere oder als Tierfutter untersucht. Eine weitere Verwertung könnte die Verbrennung in kleinen, dezentralen Biomassekesseln zur Erzeugung regenerativer Wärme sein.



▣ Bild 1: Paludi-Brennstoffe (Häckselgut) von der Versuchsfläche „Freisinger Moos“: Rohrkolben (*Typha ssp.*, oben links); Schilfrohr (*Phragmites australis*, oben rechts); Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*, unten links); Seggen (*Carex ssp.*, unten rechts); gemahlener Kaolin (Mitte). Im Hintergrund sind am TFZ produzierte Seggen-Pellets zu sehen (Foto: Tobias Hase, StMELF)

Brennstoffqualität von Paludikulturen

Paludikulturen gehören zu den halmgutartigen Biomassen nach DIN EN ISO 17225-1 [5]. Als solche lassen sie zahlreiche physikalische und chemische Eigenschaften erwarten, die bei einer Verbrennung in kleinen Feuerungen (≤ 100 kW) als nachteilig anzusehen sind. Um dies zu überprüfen, wurden im Februar 2019 Häckselgutproben aus Rohrkolben (*Typha ssp.*), Schilfrohr (*Phragmites australis*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Seggen (*Carex ssp.*) von der MOORuse Versuchsfläche „Freisinger Moos“ ans TFZ geliefert. Dort wurden Pellets mit einem Durchmesser von 6 mm hergestellt (siehe Bild 1). Ein Teil der Materialien wurde vorab mit

dem Tonmineral Kaolin additiviert, um die Verbrennung zu verbessern. Zusätzlich kamen Pellet-Mischungen aus Rohrglanzgras und Holz (Mischungsverhältnis 30:70 und 10:90) zum Einsatz.

Die am TFZ produzierten Paludi-Pellets zeigten teils deutliche Unterschiede im Vergleich zu konventionellen Holzpellets (ENplus A1 Qualität, siehe Tabelle 1). Hierzu zählen ein verminderter Heizwert, ein erhöhter Aschegehalt, sowie ein erhöhter Gehalt an verbrennungskritischen chemischen Inhaltsstoffen wie Stickstoff, Kalium, Natrium, Chlor, Silizium oder Schwefel. Diese Werte lassen auf erhöhte Schadstoffemissionen bei der Verbrennung schließen, beispielsweise von Kohlenstoffmonoxid, Stickoxiden oder Staub. Außerdem lassen sie eine erhöhte Schlackebildung und Korrosion erwarten.

Eine Additivierung der Pellets mit Kaolin führte meist zu einer Zunahme, eine Mischung mit Holz zu einer Abnahme des Aschegehalts. Gleichzeitig verringerte die Mischung mit Holz den Gehalt an kritischen Inhaltsstoffen.

Gas- und Staubemissionen

Bei der Verbrennung der Pellets in einem 30 kW Biomassekessel mit Vorschubrost lagen die gas- und staubförmigen

Schadstoffemissionen häufig nahe an denen von Holzpellets (ENplus A1 Qualität). Sie waren allerdings in Einzelfällen teils deutlich erhöht.

Die Emissionen an Kohlenstoffmonoxid (CO) schwankten für Paludi-Pellets ohne Additiv zwischen 14 mg/m³ (Schilfrohr) und 292 mg/m³ (Rohrkolben). Sie lagen damit unterhalb des CO-Grenzwerts der 1. BImSchV für Stroh brennstoffe (Stufe 2: 400 mg/m³ bei 13 Prozent O₂ für Kessel < 100 kW).

Die Stickoxidemissionen (NO_x) waren im 30 kW Kessel gegenüber der Verbrennung von Holzpellets (104 mg/m³) deutlich erhöht und lagen zwischen 352 mg/m³ (Rohrkolben) und 595 mg/m³ (Rohrglanzgras). NO_x-Emissionen steigen dabei mit einem zunehmenden Stickstoffgehalt im Brennstoff an. Analog nahmen die Emissionen an Schwefeloxid (SO_x) und Salzsäure (HCl) aufgrund hoher Gehalte an Schwefel und Chlor im Brennstoff zu. Die generell hohen NO_x-Emissionen der Paludi-Brennstoffe sind dabei als kritisch für die Einhaltung des NO_x-Grenzwerts der europäischen Ökodesign-Richtlinie für kleine Biomassekessel, aber auch bezüglich der 44. BImSchV für mittelgroße Anlagen (1 bis 50 MW) zu bewerten.

Die Staubemissionen lagen für Pellets aus Schilfrohr und Rohrglanzgras mit 14 mg/m³ unterhalb, die von Seggen und

| Pelletbrennstoff | WG % | AG % | SD kg/m ³ | HW MJ/kg | MF % | N % | S % | Cl % | K mg/kg | Na mg/kg | Si mg/kg |
|--|---------|---------|-------------------------|-------------|---------|--------|--------|---------|------------|-------------|-------------|
| Holz (1) (ENplus A1) | 7,9 | 0,3 | 684 | 18,89 | 99,3 | < 0,10 | 0,005 | 0,006 | 414 | 15 | 166 |
| Holz (2) (ENplus A1) | 7,7 | 0,4 | 703 | 18,99 | 99,2 | 0,07 | 0,007 | < 0,005 | 402 | < 10 | 245 |
| Rohrkolben | 7,8 | 6,8 | 781 | 17,62 | 99,0 | 0,99 | 0,092 | 0,202 | 1 420 | 1 750 | 681 |
| Rohrkolben + 2.3 Prozent Kaolin | 5,9 | 6,8 | 787 | 17,25 | 98,8 | 0,97 | 0,090 | 0,197 | 1 661 | 1 733 | 5 246 |
| Schilfrohr | 5,5 | 4,8 | 796 | 17,92 | 98,7 | 0,59 | 0,071 | 0,071 | 740 | 277 | 11 800 |
| Schilfrohr + 0.6 Prozent Kaolin | 5,4 | 5,2 | 790 | 17,76 | 99,3 | 0,58 | 0,069 | 0,069 | 805 | 281 | 12 885 |
| Rohrglanzgras | 11,8 | 5,0 | 787 | 18,22 | 99,0 | 1,27 | 0,139 | 0,094 | 2 150 | 292 | 8 460 |
| Rohrglanzgras + 1.2 Prozent Kaolin | 7,7 | 7,1 | 747 | 17,47 | 98,9 | 1,24 | 0,136 | 0,092 | 2 268 | 301 | 10 773 |
| Rohrglanzgras + 70 Prozent Holz (2) | 7,6 | 2,5 | 690 | 18,41 | - | 0,43 | 0,047 | 0,032 | 926 | 95 | 2 710 |
| Rohrglanzgras + 90 Prozent Holz (2) | 8,1 | 1,0 | 700 | 18,63 | - | 0,19 | 0,020 | 0,014 | 577 | 38 | 1 067 |
| Seggen | 6,0 | 5,6 | 780 | 17,67 | 98,6 | 1,17 | 0,116 | 0,185 | 2 460 | 401 | 9 070 |
| Seggen + 1.5 Prozent Kaolin | 8,3 | 7,1 | 772 | 17,98 | 99,0 | 1,14 | 0,113 | 0,181 | 2 602 | 410 | 11 925 |

□ Tabelle 1: Brennstoffeigenschaften der Pellets (WG = Wassergehalt, AG = Aschegehalt, SD = Schüttdichte, HW = Heizwert, MF = mechanische Festigkeit, N = Stickstoffgehalt, S = Schwefelgehalt, Cl = Chlorgehalt, K = Kaliumgehalt, Na = Natriumgehalt, Si = Siliziumgehalt. Chemische Elemente additiver Brennstoffe wurden aus den reinen Brennstoffen und dem Additiv berechnet)



▭ Bild 2: Pelletförmige Schlackepartikel nach der Verbrennung von Rohrkolben auf dem Rost des 15 kW Pelletkessels (links) und Schlackebrocken aus Rohrglanzgras aus demselben Kessel (rechts), jeweils ohne Additiv (Fotos: TFZ)

Rohrkolben mit 31 mg/m^3 und 115 mg/m^3 oberhalb des Staubgrenzwerts der 1. BImSchV (Stufe 2: 20 mg/m^3). Vor allem die hohen Emissionen des Rohrkolbens sind vermutlich auf eine unvollständige Verbrennung, aber auch auf eine erhöhte Aerosolbildung aufgrund hoher Gehalte an Kalium und Natrium im Brennstoff zurückzuführen.

Verbrennungsversuche in einem 15 kW Pelletkessel, der – anders als der 30 kW Biomassekessel – ausschließlich für ENplus A1 Holzpellets zugelassen ist, ergaben ähnliche Ergebnisse. Hier kamen auch Mischungen aus Rohrglanzgras und Holzpellets zum Einsatz. Die Beimischung von Holz zu Paludi-Biomasse führte zu einer starken Reduzierung der Gehalte an Schwefel, Stickstoff und Chlor im Brennstoff und damit zu sinkenden NO_x -, SO_x - und HCl-Emissionen.

Eine Additivierung der Brennstoffe mit Kaolin führte in Einzelfällen zu einer Reduzierung der CO- und Staubemissionen, wobei dieser Effekt eher gering ausfiel. Insgesamt kann die Additivierung von Paludi-Biomasse mit Kaolin nur als wenig zielführend angesehen werden. Vor allem für Pellets aus Rohrkolben reichte die Additivierung für beide Kessel noch nicht aus, um den Staubgrenzwert der 1. BImSchV zu unterschreiten.

Kesselbetrieb mit konstanter Leistung nicht möglich

Im Vergleich zu Holzpellets kam es bei den Versuchen mit Paludi-Pellets in beiden Kesseln zu sehr ungleichmäßigen Verbrennungsbedingungen. Als Konsequenz schwankte die

Wärmeleistung des 30 kW Kessels zwischen 20 und 34 kW. Gleichzeitig variierte die Sauerstoffkonzentration im Abgas zwischen 6,4 und 14,7 Prozent. Im 15 kW Kessel waren diese Schwankungen noch deutlicher. Hier kam es direkt ab Beginn der Verbrennung zu einem konstanten, starken Absinken der Wärmeleistung, was nach kurzer Zeit zu einem automatischen Abschalten des Kessels führen würde. Besonders für den kleineren Kessel ist der instabile Betrieb als kritisch zu bewerten und ein Praxisbetrieb war nahezu nicht möglich. Erst bei einem sehr hohen Mischungsverhältnis mit Holz (10 Prozent Rohrglanzgras zu 90 Prozent Holzpellets) konnte ein Betrieb mit konstanter Leistung (Stationärbetrieb) im Pelletkessel erreicht werden.

Teils extreme Schlackebildung

Der Grund für die starken Schwankungen in der Kesselleistung ist in dem hohen Ascheanfall zu sehen. In vielen Fällen bildeten sich zudem erhebliche Mengen an verschmolzenen Ascheklumpen (Schlacke). Die geringste Verschlackung zeigten Pellets aus Rohrkolben. Diese behielten nach dem Ausbrand größtenteils ihre zylindrische Form bei und waren auch im Aschekasten noch als solche zu erkennen (siehe Bild 2). Für Pellets aus Schilfrohr, Rohrglanzgras und Seggen führten die hohen Temperaturen bei der Verbrennung dagegen zum Aufschmelzen der Asche. Beim Abkühlen bilden sich daraus große Schlackebrocken, die zu mechanischen Störungen in den Anlagen führen können.

Eine Additivierung der Brennstoffe mit Kaolin führte zu keiner Verbesserung hinsichtlich der Verschlackung. Möglicherweise sind andere Additive hierfür besser geeignet. Eine Mischung mit Holz verringerte zwar nicht die Schlackebildung, dafür aber die Gesamtmasse an Asche in der Feuerung, wodurch der Kesselbetrieb insgesamt verbessert wurde.

Eher für größere Heizwerke zu empfehlen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verbrennung von Paludi-Biomasse in kleinen Biomassekesseln mit deutlich höheren Herausforderungen im Vergleich zur Verbrennung von Holz verbunden ist. Je nach Brennstoff kommt es zu hohen CO- und Staubemissionen (Rohrkolben) oder zu einer starken Schlackebildung (Schilfrohr, Rohrglanzgras, Seggen). Der Einsatz von Kaolin kann das Verbrennungsverhalten nicht wesentlich optimieren, wohingegen eine Mischung mit Holz die Verbrennung verbessert. Hierzu ist aber eine sehr große Menge an Holz notwendig. Reine Paludi-Brennstoffe sind daher eher für die Verbrennung in größeren Heizwerken geeignet und können für den Einsatz in kleinen Biomassekesseln < 100 kW nicht empfohlen werden. In diesem Leistungsbereich ist zudem kaum ein Kessel für die Verbrennung solcher halmgutartigen Brennstoffe in Deutschland zugelassen.

Literatur

- [1] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2021): Nationale Moorschutzstrategie. Bonn: Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 54 Seiten
- [2] EICKENSCHIEDT, T.; HEINICHEN, J.; DRÖSLER, M. (2015): The greenhouse gas balance of a drained fen peatland is mainly controlled by land-use rather than soil organic carbon content. Biogeosciences, Bd. 12, Nr. 17, Seite 5 161 – 5 184

- [3] TANNEBERGER, F.; APPULO, L.; EWERT, S.; LAKNER, S.; Ó BROLCHÁIN, N.; PETERS, J.; WICHTMANN, W. (2021): The Power of Nature-Based Solutions. How Peatlands Can Help Us to Achieve Key EU Sustainability Objectives. Advanced Sustainable Systems, Bd. 5, Nr. 1, Seite 1 – 10
- [4] TANNEBERGER, F.; SCHRÖDER, C.; HOHLBEIN, M.; LENSCHOW, U.; PERMIEN, T.; WICHTMANN, S.; WICHTMANN, W. (2020): Climate Change Mitigation through Land Use on Rewetted Peatlands – Cross-Sectoral Spatial Planning for Paludiculture in Northeast Germany. Wetlands, Bd. 40, Nr. 6, Seite 2 309 – 2 320
- [5] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2021): DIN EN ISO 17225-1: Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Deutsche Fassung EN ISO 17225-1; Oktober 2021. Berlin: Beuth, 78 Seiten



DR. DANIEL KUPTZ

CLAUDIA SCHÖN

DR. HANS HARTMANN

TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM
IM KOMPETENZZENTRUM FÜR
NACHWACHSENDE ROHSTOFFE
daniel.kuptz@tfz.bayern.de
claudia.schoen@tfz.bayern.de
hans.hartmann@tfz.bayern.de



Film ab – das Silicon Valley der Nachwachsenden Rohstoffe

Das TFZ ist Teil des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing – kurz KoNaRo. Das KoNaRo lässt sich als das Silicon Valley der Nachwachsenden Rohstoffe beschreiben, hier wird seit über 25 Jahren der umweltfreundliche Einsatz von Biomasse erforscht, entwickelt und gefördert. Dafür arbeiten drei Einrichtungen eng unter dem Dach des KoNaRo zusammen: Neben dem TFZ ist das der TUM Campus Straubing sowie

C.A.R.M.E.N. e. V. Jetzt ist ein gemeinsamer Image-Film entstanden, der die vielseitigen Ansätze zeigt, mit denen in Straubing ein großes Ziel verfolgt wird: den Weg in eine nachhaltige Zukunft zu ebnen.

https://www.youtube.com/watch?v=47_YfnEtbN8



TFZ Straubing
Mitarbeiterin des TFZ am Feuerungsprüfstand (Foto: KoNaRo)