

# Hackschnitzel aus dem Kurzumtrieb

## Brennstoffqualität und Verbrennungsverhalten

von DR. DANIEL KUPTZ und DR. ELKE DIETZ: **Bei der Produktion von Hackschnitzeln aus dem Kurzumtrieb kommt es je nach Baumart, Klon, Standort, Umtriebszeit, Erntetechnik und Aufbereitung zu unterschiedlichen Brennstoffqualitäten. Die Hackschnitzel variieren u. a. im Wassergehalt, Aschegehalt und ihrer chemischen Zusammensetzung. Geeignete Maßnahmen, z. B. die Trocknung, Siebung, Baumartenwahl oder die Vermeidung von Mineralboden-einträgen helfen, die Brennstoffqualität zu verbessern. Dennoch ist bei der Verbrennung von Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit höheren Emissionen an CO, NO<sub>x</sub> und Staub zu rechnen, weshalb eine geeignete Feuerungstechnik ebenso zu empfehlen ist.**

Kleinfeuerungsanlagen < 100 kW sind für den störungsfreien Betrieb auf eine definierte, gleichbleibende und hohe Brennstoffqualität angewiesen [1] [2]. Besonders in Hinblick auf die seit 1. Januar 2015 geltenden strengeren Emissionsgrenzwerte der Stufe 2 der ersten Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (1. BImSchV, 0,4 g/Nm<sup>3</sup> CO und 0,02 g/Nm<sup>3</sup> Staub, gemessen jeweils bei 13 Prozent O<sub>2</sub>) [3] wird die Verwendung qualitativ hochwertiger Brennstoffe empfohlen. In privaten Hackschnitzelkesseln werden neben Hackschnitzeln aus Wald- und Sägereistholz auch Hackschnitzel aus dem Kurzumtrieb (KUP) verbrannt [4]. Hierbei handelt es sich um schnellwachsende Baumarten wie Pappel und Weide, die für die Energieholzproduktion auf Ackerflächen angebaut werden. Die Brennstoffqualität von KUP unterscheidet sich dabei häufig von der Qualität von Waldhackschnitzeln [5] [6]. Da KUP in Bayern sehr kleinflächig und vornehmlich für den Verbrauch in privaten Feuerungen kleiner Leistung angebaut wird, ist eine möglicherweise niedrigere Brennstoffqualität als besonders kritisch zu bewerten.

Um eine rasche Einschätzung der Problematik zu gewährleisten, wurde die Brennstoffqualität (physikalisch, inhaltsstofflich) von KUP-Hackschnitzeln und ihr Emissionsverhalten in zwei über das StMELF geförderten Forschungsprojekten abgeschätzt. Die Bearbeitung

erfolgte durch die Abteilung „Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz“ der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) und das Sachgebiet „Biogene Festbrennstoffe“ des Technologie- und Förderzentrums im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ).

### Brennstoffqualität von KUP-Hackschnitzeln

Die Brennstoffqualität von KUP-Hackschnitzeln ist in vielen Punkten (z. B. Aschegehalt, Heizwert, Feinanteil) ähnlich der Qualität von Hackschnitzeln aus Waldrestholz [5] [6] (siehe Tabelle). Auffällig war neben einem typischerweise

Parameter	Einheit	DIN EN ISO 17225-4 B1/B2	Pappel	Weide	Waldrestholz	Energie rundholz
Wassergehalt	m-%	–	53,6	51,0	47,2	50,7
Aschegehalt	m-%, wf	3,0	2,0	2,1	2,1	1,0
Heizwert	MJ/kg, wf	–	18,40	18,26	18,85	18,64
Feinanteil	m-%	10,0 (15,0)	6,4	5,6	14,2	8,9
Stickstoff	m-%, wf	1,00	0,33	0,48	0,33	0,16
Schwefel	m-%, wf	0,10	0,03	0,04	0,03	0,02
Chlor	m-%, wf	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Cadmium	mg/kg, wf	2,00	0,33	0,85	0,19	0,14
Zink	mg/kg, wf	100,00	38	70	27	18
Summe Aerosolbildner	mg/kg, wf	–	2 954	2 648	1 661	1 112
davon Kalium	mg/kg, wf	–	2 898	2 570	1 610	1 076

☐ Tabelle: Mittlere Brennstoffqualität von KUP-Hackschnitzeln aus Pappel (n = 29 – 50) und Weide (n = 22 – 27) im Vergleich zum Grenzwert nach DIN EN ISO 17225-4 (Spezifikationen B1 und B2) sowie zu Hackschnitzeln aus Waldrestholz (n = 22) und Energierundholz (n = 12) (wf = wasserfreie Bezugsbasis)

**Infobox: TFZ-Bericht Nr. 56**

„Hackschnitzel aus dem Kurzumtrieb – Brennstoffqualität und Verbrennungsverhalten“ bietet die detaillierte Darstellung aller Ergebnisse (Download: [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de))

für KUP erhöhten Wassergehalt ein hoher Gehalt an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen, v. a. an Stickstoff, Cadmium, und Zink sowie an aerosolbildenden Elementen (v. a. Kalium). Diese Werte lagen häufig über den typischen Gehalten für Waldhackschnitzel [5]. Die Grenzwerte der aktuell gültigen internationalen Norm für Holzhackschnitzel, die DIN EN ISO 17225-4 (Spezifikation B1 und B2) [7], konnte aber i. d. R. eingehalten werden. Hackschnitzel aus KUP sind demnach als naturbelassener Brennstoff einzuordnen. Trotzdem lassen v. a. frisch geerntete KUP-Hackschnitzel im Vergleich zu Waldhackschnitzeln höhere Emissionen an CO, NO<sub>x</sub> und Gesamtstaub bei der Verbrennung erwarten [1] [2].

**Aufbereitung durch Siebung und Trocknung**

Die Brennstoffqualität von KUP lässt sich durch geeignete Aufbereitungsmaßnahmen, z. B. durch Trocknung und Siebung, verbessern. Technische Trocknungsverfahren (z. B. durch Belüftung mittels Abwärme von Biogasanlagen) verringern dabei zuverlässig den Wassergehalt [8] [9]. Die natürliche Trocknung im ungehackten Holzpolter hat in beiden Forschungsprojekten dagegen häufig, allerdings nicht in jedem Fall, zu dem für viele Kleinfeuerungsanlagen als Mindestmaß benötigten Wassergehalt von < 35 m-% (Masseprozent) geführt [8]. Vor allem bei Pappeln aus dem zehnjährigen Umtrieb mit sehr dicken Stämmen konnte dies über die beobachtete Trocknungsdauer von fünf bis sechs Sommermonaten (im Jahr 2016) nicht immer mit Sicherheit gewährleistet werden. Im Fall von KUP kann somit eine technische Trocknung erforderlich werden, v. a. wenn sehr niedrige Wassergehalte von < 25 m-% oder < 15 m-% für die Verwendung in besonders anspruchsvollen Kesseln sichergestellt werden sollen.

Durch Siebung konnte in vielen Fällen der Aschegehalt und der Feinanteil ausgewählter KUP-Proben reduziert werden. In der Praxis kommen dabei sowohl mobile, als auch stationäre Trommel-, Stern- und Schwingsiebe zum Einsatz [8] [9]. Auch die verbrennungskritischen Inhaltsstoffe wurden durch die Siebung teilweise reduziert, wobei die Gehalte an Natrium oder Chlor nur gering, der Gehalt an aerosolbildenden Elementen (v. a. Kalium) dagegen deutlicher verringert wurde. Auch der Stickstoffgehalt im Brennstoff kann durch Abtrennung der feinen Fraktion reduziert wer-

den. Offen bleibt dabei, ob die Verringerung durch die Abtrennung von Mineralboden-Verunreinigungen oder durch die Abtrennung feiner Rindenpartikel hervorgerufen wurde.

**Maßnahmen vor dem Hacken**

Neben der Aufbereitung bieten sich für mehrere Brennstoffparameter schon vor dem Prozessschritt „Hacken“ Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung an, z. B. die Wahl des Standorts, der Baumart, der Erntemethode oder der Umtriebszeit.

Von den aerosolbildenden Elementen ist vor allem Kalium in KUP-Brennstoffen, gefolgt von Natrium, relevant. Beide Elemente kommen in den analysierten Proben vornehmlich aus dem Holz. Die Gegenüberstellung der Kalium- bzw. Natriumgehalte in den jeweiligen Böden der KUP-Flächen der LWF und dem darauf produzierten Brennstoff zeigt, dass hohe Gesamtgehalte im Boden zwar zu hohen Gehalten in der austauschbaren, pflanzenverfügbaren Fraktion des Bodens führen, jedoch dadurch nicht zwangsläufig höhere Gehalte im Holz (inklusive Rinde) auftreten. Eine Differenzierung nach unterschiedlichen Standorten als Maßnahme zur Verbesserung der Brennstoffqualität macht demnach scheinbar wenig Sinn, wenn dadurch die Gehalte an Aerosolbildnern im Brennstoff verringert werden sollen. Vielmehr scheinen andere Managementaspekte, z. B. die saubere Arbeitsweise bei der Ernte (Vermeidung von Bodeneintrag), aber auch die Siebung der Brennstoffe einen höheren Effekt zu haben.

Ein Eintrag mit Mineralboden kann zu hohen Aschegehalten führen. Auch kann durch unsauberes Arbeiten der Siliziumgehalt im Brennstoff, der für die Verschlackung eine Rolle spielt, erhöht werden. Somit sind geeignete Vorsichtsmaßnahmen bei den Prozessschritten Ernte, Lagerung und Hacken zu treffen. Vollmechanisierte Ernteverfahren sollten demnach nur angewendet werden, wenn der Boden entweder trocken oder gefroren ist. Auch bei der motormanuellen Ernte ist ein Eintrag mit Mineralboden zu vermeiden, z. B. bei der Holzrückung mit Kran oder beim Hacken. Besonders bei zum Trocknen vorgelagerten Poltern sollte darauf geachtet werden, dass die unterste Schicht des Polters gegebenenfalls nicht verwendet wird. Allerdings könnte durch Niederschlag am Polter anhaftender Mineralboden z. T. abgewaschen werden, wodurch sich die inhaltsstoffliche Brennstoffqualität durch die Lagerung möglicherweise verbessert.

Die beiden Schwermetalle Cadmium und Zink waren vor allem in der Baumart Weide, aber auch in der Pappel gegenüber Waldrestholz und Energierundholz erhöht. Die Transferfaktoren der Elemente zeigen, dass Zink im Vergleich zu anderen Pflanzen verstärkt durch KUP-Kulturen aufgenommen wird. Die Cadmium-Aufnahme ist dagegen, verglichen mit anderen, vornehmlich nichtholzigen

Pflanzen, geringer. Zink wird somit aus dem pflanzenverfügbaren Angebot im Boden gegenüber Cadmium bevorzugt aufgenommen, während die Cadmium-Aufnahme vergleichsweise reduziert ist. Pappel ist gegenüber Weide bei der Aufnahme von Zink selektiver. Insgesamt liegen die Gehalte beider Schwermetalle in Korbweide > Silberweide  $\geq$  Pappel, wobei die eigentliche Aufnahmerate der Silberweide am niedrigsten war. Die Untersuchungen legen nahe, dass Silberweide Cadmium und Zink eher passiv aufnimmt, d. h. hohe Gesamtgehalte im Boden finden sich, trotz eines vergleichsweise geringen pflanzenverfügbaren Angebots, in der Silberweide wieder. Möglicherweise gilt dies aber nur für Karbonatstandorte, da dort Cadmium zusammen mit Calcium passiv aufgenommen werden könnte. Um erhöhte Gehalte von Cadmium und Zink im Brennstoff zu vermeiden, kann Pappel (Max-Klone und Hybrid) gegenüber der Weide bevorzugt werden. Silberweide könnte auf karbonatfreien Standorten eher geeignet sein als Korbweide, dies kann aber aus den Daten nicht abschließend geklärt werden.

Ein Einfluss der Umtriebszeit auf die Brennstoffqualität hat sich in den Fallstudien auf den LWF-Flächen als nur gering und nicht durchgängig über alle Klone/Standorte herausgestellt. Folglich kann ökonomischen Aspekten bei der Entscheidung über die Umtriebszeit mehr Gewicht eingeräumt werden als einer möglichen Verbesserung der Brennstoffqualität durch Wechsel von fünf- auf zehnjährigen Umtrieb. Eine Betrachtung über eine größere Probenbasis aus beiden Projekten deutet aber zumindest für den Gehalt an Stickstoff auf einen positiven Effekt einer längeren Umtriebszeit hin.

**Verbrennung von KUP-Brennstoffen in privaten Kesseln**

Die Feuerungsversuche am Prüfstand des TFZ wurden in beiden Projekten einheitlich mit derselben 50 kW Kipprostfeuerung (HDG compact 50) durchgeführt. Als Referenzbrennstoffe kamen Hackschnitzel aus Sägereistholz und Waldrestholz (jeweils Nadelholz) zum Einsatz. Sowohl für Weide als auch für Pappel waren die Emissionen an CO, NO<sub>x</sub> und Staub im Vergleich zur Verbrennung von Hackschnitzel aus Nadelholz deutlich erhöht. Die Kesseleinstellungen (Luftführung, etc.) waren dabei auf die Verbrennung von Waldhackschnitzeln hin optimiert. Dies könnte einer der Gründe für die höheren Emissionen sein. Vor allem bei sehr nassen Brennstoffen aus KUP stiegen die Werte für CO deutlich an. Hohe CO Emissionen deuten dabei immer auf eine unvollständige Verbrennung hin. Ein passender Wassergehalt und ein auf den Brennstoff eingestellter Kessel sollte hier zumindest teilweise Abhilfe schaffen [1] [2].

Die Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>) stiegen linear mit den Gehalten an Stickstoff im Brennstoff an (siehe Abbildung 1) [2]

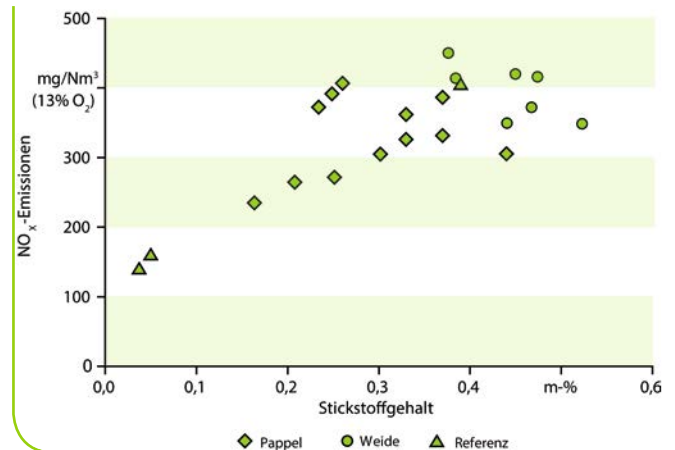


Abbildung 1: Stickoxid-(NO<sub>x</sub>)-Emissionen in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt im Brennstoff. Referenzproben: Hackschnitzel aus Sägereistholz und Waldrestholz (jeweils Nadelholz)

[8] [10]. Eine Reduzierung des Stickstoffgehalts, z. B. durch Absieben des Feinanteils, ist für eine Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen zu empfehlen. Vor allem für Feuerungen > 1 MW könnte die Einhaltung strenger NO<sub>x</sub>-Grenzwerte im Zuge der Novellierung der TA-Luft (voraussichtlich als 43. BImSchV) zur nationalen Umsetzung der europäischen „Medium Plant Combustion Directive“ (MCPD) schwierig werden. Neben Möglichkeiten der Brennstoffoptimierung wird daher aktuell auch an der Entwicklung kostengünstiger technischer Entstickungsmaßnahmen gearbeitet.

Die Emissionen an Gesamtstaub waren direkt abhängig von dem Gehalt an aerosolbildenden Elementen im Brennstoff (siehe Abbildung 2) [2] [8] [10]. Hier könnten ebenfalls ein Absieben des Feinanteils und eine saubere Arbeitsweise entlang der gesamten Verfahrenskette hilfreich sein. Nichtsdestotrotz waren die aerosolbildenden Elemente bei KUP generell gegenüber Waldholz deutlich erhöht. Die Emissionen an Gesamtstaub könnten aber auch durch eine

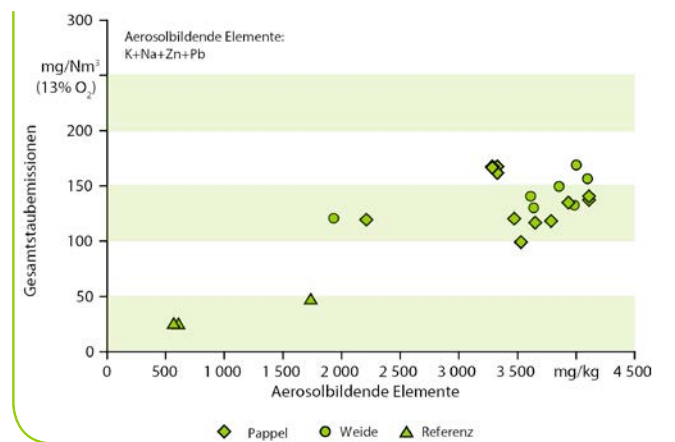


Abbildung 2: Partikelemissionen in Abhängigkeit vom Gehalt an aerosolbildenden Elementen im Brennstoff. Referenzproben: Hackschnitzel aus Sägereistholz und Waldrestholz (jeweils Nadelholz)

erhöhte Rußbildung aufgrund des höheren Wassergehalts und der geringeren Energiedichte der Brennstoffe bedingt sein.

Hervorzuheben ist, dass die strengen Emissionsgrenzwerte der Stufe 2 der 1. BImSchV [3] ohne die Verwendung technischer Minderungsmaßnahmen in der hier verwendeten Feuerung und unter den gewählten Kesseleinstellungen im Nennlastbetrieb nicht eingehalten wurden. Inwieweit durch einfache Maßnahmen (Brennstofftrocknung, Optimierung der Verbrennungsführung, Teillastbetrieb) eine Einhaltung der Anforderungen gewährleistet werden könnte, konnte in den beiden Projekten nicht abschließend geklärt werden. Nichtsdestotrotz ist die Verwendung einer hohen Brennstoffqualität und einer anspruchsvollen Kesseltechnik mit einem modernen Staubabscheider zu empfehlen, wenn KUP-Hackschnitzel in privaten Feuerungen eingesetzt werden sollen.

#### Verbrennung im Heizwerk zeigt ähnliche Tendenzen

Zwei am 1,3 MW Heizwerk des TFZ durchgeführte Fallstudien zur Verbrennung von KUP zeigten ähnliche Tendenzen wie die Versuche mit der 50 kW Kleinf Feuerungsanlage (siehe Bild). Dabei waren Emissionen an  $\text{NO}_x$  und Gesamtstaub voraussichtlich aufgrund der chemischen Inhaltsstoffe, die Emissionen an CO vornehmlich durch hohe Wassergehalte erhöht. Auch bei Heizwerken bietet sich somit eine Brennstoffaufbereitung durch Trocknung oder Siebung an.

Insgesamt zeigt sich, dass KUP-Brennstoff in Kleinf Feuerungsanlagen, aber auch in mittelgroßen Heizwerken bei derzeitigem Entwicklungsstand als anspruchsvoller Brennstoff einzuordnen ist. Die Einhaltung strenger Emissionsgrenzwerte bleibt eine Herausforderung. Aktuelle und in Entwicklung befindliche primärseitige Neuerungen (z. B. Hackschnitzel-Vergaserkessel, etc.) könnten hier Abhilfe



Bild: KUP-Hackschnitzel am Betriebshof des TFZ (Foto: Ulrich Eidenschink, TFZ).

schaffen. Die Trocknung auf den passenden Wassergehalt ist prinzipiell zu empfehlen. Ebenso sollte der Kessel speziell auf diesen Brennstoff eingestellt werden. Generell erweisen sich KUP-Brennstoffe als eher für größere Heizwerke geeignet, weil hier die notwendigen technischen Maßnahmen zur Luftreinhaltung eher wirtschaftlich darstellbar sind. Unabhängig von der Anlagengröße sollten KUP-Hackschnitzel schon bei der Brennstoffproduktion hinsichtlich ihrer Qualität optimiert und bevorzugt in technisch hochwertigen Feuerungen verbrannt werden. Solche Feuerungen sollten über geeignete primäre oder sekundäre Maßnahmen verfügen (z. B. elektrostatische Abscheider), um ein niedriges Emissionsniveau gewährleisten zu können.

Literatur beim Autor.

#### Infobox: Förderung und Beratung

Förderprogramme für moderne Hackschnitzelkessel inklusive Staubabscheider bieten das Marktanreizprogramm ([www.bafa.de](http://www.bafa.de)). Beratung gibt es über das TFZ, die LWF und das Expertenteam „LandSchafttEnergie“. Besuchen Sie hierzu unsere Vortragsreihe und Dauerausstellung „Wärmegewinnung aus Biomasse“ ([www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)).

#### DR. DANIEL KUPTZ

TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ)

[daniel.kuptz@tfz.bayern.de](mailto:daniel.kuptz@tfz.bayern.de)

#### DR. ELKE DIETZ (OHNE BILD)

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF)

[elke.dietz@lwf.bayern.de](mailto:elke.dietz@lwf.bayern.de)

