



Effiziente Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Holzhackschnitzel

Autoren

Dr. Daniel Kuptz
Nicolas Hofmann
Theresa Mendel
Simon Lesche
Markus Riebler
Fabian Schulmeyer
Claudia Schön
Dr. Frank Burger
Dr. Herbert Borchert
Dr. Hans Hartmann

Projektpartner **LWF** Bayerische Landesanstalt
für Wald und Forstwirtschaft

Berichte aus dem TFZ 70

Straubing & Freising-Weihenstephan, August 2020

Titel: Effiziente Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Holzhackschnitzel

Autoren: Dr. Daniel Kuptz (TFZ) Nicolas Hofmann (LWF)
Theresa Mendel (TFZ) Simon Lesche (TFZ)
Markus Riebler (LWF) Fabian Schulmeyer (LWF)
Claudia Schön (TFZ) Dr. Frank Burger (LWF)
Dr. Herbert Borchert (LWF) Dr. Hans Hartmann (TFZ)

weitere Mitarbeiter: Albert Maierhofer (TFZ) Johanna Krauß (LWF)
Elisabeth Rist (TFZ) Dr. Uwe Blum (LWF)
Robert Mack (TFZ) Dr. Elke Dietz (LWF)
Anja Rocktäschel (TFZ) Irmgard Kern (LWF)
Benedikt Haas (TFZ) Elisabeth Solic (LWF)
Paul Roßmann (TFZ) Sandra Egger (LWF)
Stephan Winter (TFZ) Mandy Kaps (LWF)
Alexander Marks (TFZ) Johanna Wagner (LWF)
Thomas Schindlbeck (TFZ) Stefan Herbst (LWF)
Fabian Blank (TFZ) Stefan Mußner (LWF)
Johannes Hillenbrand (LWF)
Vanessa Diepold (LWF)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BayStMEF) unter dem Förderkennzeichen KS/16/03 gefördert. Die Projektlaufzeit ging vom 01.09.2016 bis 15.05.2019. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2020

Technologie- und Förderzentrum

im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werks darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Unter Verwendung mineralölfreier Druckfarben (Mineralölanteil < 1 %) gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

ISSN: 1614-1008
Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Nicolas Hofmann, Dr. Daniel Kuptz, Theresa Mendel, Markus Riebler, Simon Lesche, Fabian Schulmeyer, Dr. Herbert Borchert, Dr. Hans Hartmann, Anna Grundner
Gestaltung: Nicolas Hofmann, Dr. Daniel Kuptz, Theresa Mendel, Simon Lesche
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing & Freising-Weißenstephan
Erscheinungsjahr: 2020

Fotos: TFZ, LWF

Inhaltsverzeichnis

Abstract (deutsch/englisch)	7
Abbildungsverzeichnis	15
Tabellenverzeichnis	27
1 Einleitung	33
2 Problem- und Zielstellung	35
3 Aufbau des Berichts	37
4 Stand des Wissens	41
4.1 Brennstoffqualität	41
4.1.1 Wassergehalt.....	42
4.1.2 Schüttdichte	42
4.1.3 Aschegehalt	43
4.1.4 Heizwert.....	43
4.1.5 Partikelgrößenverteilung, Partikelform und Feinanteil.....	44
4.1.6 Qualitätsnorm für Holzhackschnitzel	45
4.2 Bereitstellung und Lagerung von Holzhackschnitzeln	46
4.2.1 Bereitstellungsketten für Holzhackschnitzel aus Waldholz	46
4.2.2 Lagerung von Holzhackschnitzeln in Mieten und Gebäuden	48
4.2.3 Prozesse in Lagermieten	49
5 Hackholzlagerung mit und ohne Abdeckung	53
5.1 Problem- und Zielstellung	53
5.2 Material und Methoden	54
5.3 Ergebnisse und Diskussion	57
5.3.1 Witterung	57
5.3.2 Wassergehalt.....	58
5.3.3 Trockenmasseverlust	59
5.3.4 Aschegehalt und Heizwert.....	62
5.3.5 Partikelgrößenverteilung und Schüttdichte.....	63
5.3.6 Inhaltsstoffliche Analyse Walki Biomass Cover.....	67
5.4 Kosten der Polterabdeckung	68
5.5 Zusammenfassende Bewertung	70
6 Veränderte Lagerung durch Siebung von Holzhackschnitzeln ...	73
6.1 Problem- und Zielstellung	73
6.2 Material und Methode	74
6.2.1 Siebung der Holzhackschnitzel und Versuchsdesign.....	75
6.2.2 Probenahme	77

6.2.3	Brennstoffanalysen	78
6.3	Ergebnisse und Diskussion.....	79
6.3.1	Charakterisierung des Ausgangsmaterials	79
6.3.2	Klimabedingungen und Entwicklung der Miettemperaturen	83
6.3.3	Trocknungseffekte und Trockenmasseverluste	85
6.3.4	Aschegehalt und Heizwert nach der Lagerung	87
6.3.5	Änderung des Energieinhalts	88
6.4	Schlussfolgerung und Handlungsempfehlungen.....	89
7	Neue Konservierungsmethoden für die Holzhackschnitzzellagerung	91
7.1	Problem- und Zielstellung	91
7.2	Theoretische Überlegungen zu neuartigen Konservierungsmethoden bei der Holzhackschnitzzellagerung	92
7.2.1	Anaerobe Lagerung	92
7.2.2	Lagerung mit CaCO ₃ als Additiv	93
7.3	Versuchsreihe A: Erste Erprobung der anaeroben Lagerung und der Additivierung von Holzhackschnitzeln mit CaCO₃ im Behälterversuch	94
7.3.1	Material und Methoden aus Versuchsreihe A	94
7.3.1.1	Ausgangsmaterial	94
7.3.1.2	Konservierungsmethoden	95
7.3.1.3	Brennstoffparameter	99
7.3.1.4	pH-Wert.....	99
7.3.1.5	Gasmessung bei der Auslagerung der anaerob gelagerten Sortimente.....	100
7.3.1.6	Emissionsmessungen bei der Verbrennung ausgewählter Sortimente	100
7.3.2	Ergebnisse und Diskussion aus Versuchsreihe A	102
7.3.2.1	Brennstoffqualität zu Beginn der Lagerung.....	102
7.3.2.2	Temperaturverläufe während der Lagerung	104
7.3.2.3	Masseveränderung über die Lagerdauer.....	106
7.3.2.4	Brennstoffqualität nach der Lagerung.....	107
7.3.2.5	Gaszusammensetzung zum Zeitpunkt der Auslagerung	112
7.3.2.6	Verbrennungsversuche	114
7.4	Versuchsreihe B: Weiterführende Messungen zur anaeroben Lagerung von Holzhackschnitzeln in Behältern, Silos und einer Miete	118
7.4.1	Material und Methoden in Versuchsreihe B	118
7.4.1.1	Behälterlagerung.....	118
7.4.1.2	Lagerung in abgedichteten Betonsilos.....	120
7.4.1.3	Lagerung von Waldrestholz in einer Lagermiete	123
7.4.2	Ergebnisse und Diskussion zu Versuchsreihe B	124
7.4.2.1	Brennstoffqualität zu Beginn der Lagerung.....	124
7.4.2.2	Behälterversuche	126
7.4.2.3	Gasentwicklung in den anaerob gelagerten Behältern	133
7.4.2.4	Lagerung in abgedichteten Betonsilos.....	134
7.4.2.5	Mietenlagerung	141
7.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerung zu den Konservierungsmethoden	145

8	Homogenität im Wassergehalt vom Lagerplatz bis zur Feuerung	149
8.1	Problem- und Zielstellung	149
8.2	Material und Methoden	149
8.2.1	Probenahme am Lagerplatz	150
8.2.2	Probenahme nach Transport.....	151
8.2.3	Probenahme im Bunker	152
8.3	Ergebnisse und Diskussion der Fallstudie 1	153
8.4	Ergebnisse und Diskussion der Fallstudie 2.....	155
8.5	Schlussfolgerung	157
9	Technische Trocknung für einen homogenen Wassergehalt....	159
9.1	Problem- und Zielstellung	159
9.2	Material und Methoden	160
9.2.1	Grundaufbau der Satzrockneranlage am TFZ.....	160
9.2.2	Verfahrenstechnische Optimierung der Satzrocknung am TFZ	162
9.2.3	Versuchsreihe 1 – Homogenität des Wassergehalts in der Schüttung	164
9.2.4	Versuchsreihe 2 – Prozessparameter der Trocknung.....	166
9.3	Trocknungsversuche am hauseigenen Satzrockner	169
9.3.1	Versuchsreihe 1 – Homogenität des Wassergehalts in der Schüttung	169
9.3.2	Versuchsreihe 2 – Energetische Optimierung der Trocknung.....	172
9.4	Schlussfolgerung der Trocknungsversuche	179
10	Identifikation des maximalen Wassergehalts für volle Lagerstabilität.....	181
10.1	Problem- und Zielstellung	181
10.2	Material und Methoden	181
10.2.1	Praktische Durchführung	181
10.2.2	Korrektur der Sauerstoffkonzentration.....	185
10.2.3	Berechnung des Trockenmasseverlusts	185
10.2.4	Statistik	187
10.3	Vorversuche.....	188
10.3.1	Lagerungsdauer 24 Stunden bei niedriger Temperatur	188
10.3.2	Lagerungsdauer 48 Stunden bei niedriger und hoher Temperatur	189
10.4	Ergebnisse	191
10.4.1	Wassergehalt der Holzhackschnitzel vor der technischen Trocknung.....	191
10.4.2	Aschegehalt.....	192
10.4.3	Partikelgrößenverteilung.....	192
10.4.4	Nebenversuch zur Sauerstoffzehrungsrate	193
10.4.5	Korrelation von Wassergehalt und Sauerstoffkonzentration	194
10.4.6	Multiplles lineares Regressionsmodell der Rate des Trockenmasseabbaus...	197
10.5	Diskussion.....	198
10.5.1	Diskussion der Ergebnisse	198
10.5.1.1	Charakterisierung des Ausgangsmaterials.....	198

10.5.1.2	Korrelation von Wassergehalt und Sauerstoffverbrauch	199
10.5.1.3	Sauerstoffzehrung bei Holzpellets	199
10.5.1.4	Einfluss der Lagerdauer vor der Trocknung und der Sortimente.....	200
10.5.1.5	Abbaurate bei unterschiedlichen Wassergehalten	201
10.5.2	Diskussion der Methoden	202
10.6	Zusammenfassende Bewertung.....	203
11	Lagerung vorgetrockneter Holzhackschnitzel unter Vlies.....	205
11.1	Problem- und Zielstellung.....	205
11.2	Material und Methoden.....	205
11.2.1	Nebenversuch Vliesberegung.....	206
11.2.2	Hauptversuch zum Vergleich der Freilandlagerung unter Vlies mit der Hallenlagerung.....	209
11.3	Ergebnisse und Diskussion.....	213
11.3.1	Nebenversuch Vliesberegung.....	213
11.3.1.1	Freilandversuch.....	213
11.3.1.2	Laborversuch	214
11.3.2	Hauptversuch Freiland- und Hallenlagerung	216
11.3.2.1	Witterung.....	216
11.3.2.2	Mietentemperatur.....	218
11.3.2.3	Wassergehalt	220
11.3.2.4	Trockenmasseverlust.....	220
11.3.2.5	Aschegehalt, Schüttdichte und Partikelgrößenverteilung	221
11.4	Zusammenfassende Bewertung.....	222
12	Änderung im Fließ- und Verbrennungsverhalten durch die Lagerung.....	225
12.1	Problem- und Zielstellung.....	225
12.2	Material und Methoden.....	226
12.2.1	Versuchsbrennstoffe	226
12.2.2	Messung der Brückenbildungsneigung.....	227
12.2.3	Messung der Verbrennungseigenschaften	229
12.3	Ergebnisse und Diskussion.....	231
12.3.1	Brennstoffqualität	231
12.3.2	Brückenbildungsneigung.....	233
12.3.3	Verbrennungseigenschaften	243
12.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	251
13	Sickerwasser aus Holzhackschnitzelmieten	253
13.1	Problem- und Zielstellung.....	253
13.2	Vorversuch – Lagerung im Freiland mit Sickerwasserrinnen.....	253
13.3	Material und Methoden.....	255
13.4	Ergebnisse und Diskussion.....	261
13.4.1	Witterung.....	261
13.4.2	Holzhackschnitzelqualität.....	262

13.4.2.1 Wassergehalt und Masse	262
13.4.2.2 Aschegehalt und Heizwert.....	263
13.4.2.3 Partikelgrößenverteilung.....	264
13.4.2.4 Element- und Schwermetallgehalt.....	265
13.4.3 Sickerwasser	267
13.4.3.1 Sickerwassermenge	267
13.4.3.2 Chemischer und biologischer Sauerstoffbedarf, gelöster organischer Kohlenstoff.....	269
13.4.3.3 Stickstoff und Phosphor.....	274
13.4.3.4 pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trockensubstanz	277
13.4.3.5 Schwermetalle und Spurenelemente.....	278
13.4.4 Filterwirkung des Bodens	282
13.4.5 Alternative Nutzung der Lagerfläche	287
13.5 Zusammenfassende Bewertung	288
13.6 Praxisempfehlungen	289
Zusammenfassung	291
Quellenverzeichnis	299
Anhang	311