



Fremdenergiefreie Trocknungsvarianten für Holz aus Kurzumtriebsplantagen

**Trocknungsversuch mit 4 Varianten im
Rahmen des Projektes AgroForstEnergie**

Manuela Bärwolff, Thomas Hering

Fremdenergiefreie Trocknungsvarianten für Holz aus Kurzumtriebsplantagen

Trocknungsversuch mit 4 Varianten im Rahmen des Projektes AgroForstEnergie

1 Einführung

Kurzumtriebsplantagen (KUP) sollen dazu beitragen, die bis zum Jahr 2020 prognostizierte Holzlücke von 20 – 40 Mio. m³ (MANTAU, 2010) zu schließen. Würde man diese Deckungslücke ausschließlich mit Holz aus Kurzumtriebsplantagen ausgleichen wollen, wäre eine Fläche von ca. 1,5 Mio. ha notwendig. Gegenwärtig beschränkt sich der Anbau von Pflanzen für Festbrennstoffe auf landwirtschaftlichen Standorten (Agrarholz und Miscanthus) in Deutschland auf etwa 6.000 ha (FNR 2011). Eine Steigerung der Anbauflächen findet zwar kontinuierlich, jedoch absolut betrachtet nur in geringem Umfang statt. Ursächlich hierfür sind neben wirtschaftlichen und rechtlichen Unsicherheiten insbesondere die fehlende Etablierung von und Erfahrung mit funktionierenden Logistikketten. Anlage und Pflege erfordern spezifische Kenntnisse, bei Fehlern drohen wirtschaftliche Ausfälle. Teilweise notwendige Spezialerntetechnik (Mäh Hacker) ist nicht flächendeckend verfügbar und lohnt sich nur bei großen Flächen.

Weiterhin bestehen Unsicherheiten und Wissenslücken im Verfahrensschritt der Trocknung des Holzes aus Kurzumtriebsplantagen. Erntefrisches Holz, welches üblicherweise in den Wintermonaten geerntet wird, weist Wassergehalte zwischen 50 und 60 % auf. Damit ist es nicht für die direkte Nutzung in Kleinf Feuerungsanlagen bis ca. 1.000 kW Feuerungswärmeleistung geeignet. Wassergehalte des Brennstoffes für derartige Heizanlagen sollten bei ca. 30 % liegen. Der Einsatz zu nasser Hackschnitzel kann zunächst zu Fehlzündungen bzw. zu einer stark verminderten Leistung der Anlagen bis hin zu einem unvollständigem Ausbrand führen. Daraus resultieren erhöhte Emissionen, eine niedrige Effizienz und ggf. erhöhte Verschleißerscheinungen der Anlage.

Durch Trocknung des Materials auf ca. 30 % Wassergehalt (WG) wird in etwa eine Verdopplung des Heizwertes erreicht. Eine Lagerfähigkeit von Holzhackschnitzeln mit minimalen Masseverlusten durch mikrobiellen Abbau sowie ohne Gefahr der Selbstentzündung ist erst bei Wassergehalten unter 30 % gegeben. Zudem steigt mit sinkenden Wasseranteilen auch die Transportwürdigkeit des Brennstoffs. Die Trocknung des erzeugten Produktes ist also für die Mehrzahl der Nutzungspfade sinnvoll und notwendig. Dem Landwirt bietet sich hier zusätzlich die Möglichkeit der weiteren Veredlung seines Erzeugnisses und damit einer erhöhten Wertschöpfung.

Zwei grundlegende Methoden sind bei der Erzeugung trockenen Hackgutes aus Kurzumtriebsplantagen zu unterscheiden (Abb. 1). Die Variante der hochtechnisierten Ernte per selbstfahrendem Mäh Hacker produziert ein feuchtes Hackgut mit 50 bis 60 % Wassergehalt. Eine Trocknung kann hier erst im Nachgang des Hackens in Haufwerken stattfinden. Für diese Variante bestehen gegenwärtig Beschränkungen der Wurzelhalsdurchmesser zur Ernte (je nach Erntemaschine bis maximal 15 cm). Hiermit sind Umtriebszeiten in Abhängigkeit von der Bonität des Standortes von etwa 3 bis 5 Jahren möglich. Typische Bestandesdichten von etwa 10.000 Pflanzen pro Hektar in Einzel- oder Doppelreihe sind dabei üblich. Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung trockenen Hackgutes aus Kurzumtriebsplantagen besteht im Rahmen der Anwendung eines absetzigen Ernteverfahrens. Die Trocknung erfolgt dabei vor dem abschließenden Arbeitsschritt der

Hackung als Vollholz im Polter, möglichst an einem sonnigen und windexponierten Standort. Einschränkungen der Beerntbarkeit aufgrund bestimmter Wurzelhalsdurchmesser gibt es dabei nicht, da Forsternetechnik (wie z.B. Motorsäge, Baumschere bzw. Harvester) zum Einsatz kommt. Diese weist zudem den Vorteil der flächendeckenden Verfügbarkeit auf. Dementsprechend können auch längere Umtriebszeiten mit geringeren Pflanzdichten (2.000 bis 6.000 Stck./ha) zur Anwendung kommen.

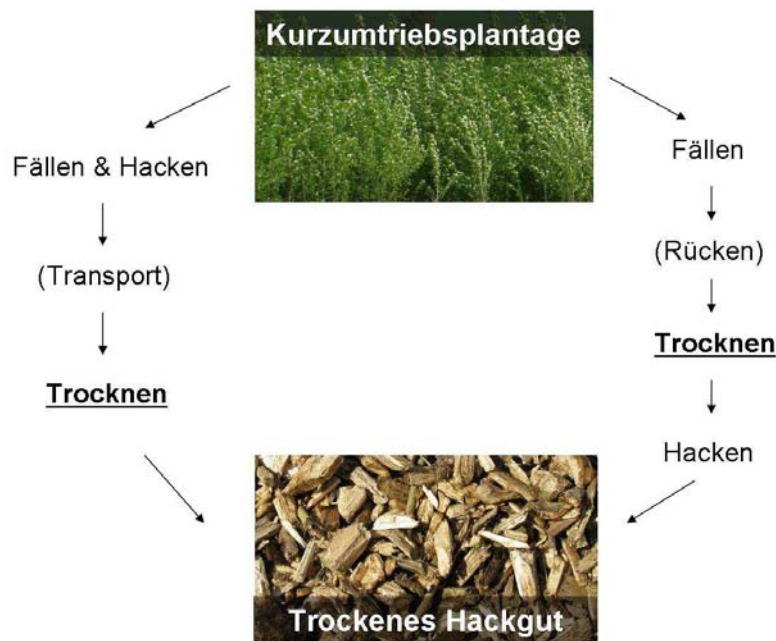


Abb. 1: Verfahrensschritte zur Erzeugung trockenen Hackgutes aus Kurzumtriebsplantagen

Insbesondere für die Trocknung von feuchtem Hackgut sind unterschiedliche Verfahren möglich (s. Abb. 2). Grundsätzlich lässt sich in technische bzw. aktive Verfahren und natürliche bzw. passive Verfahren unterscheiden. Bei der natürlichen Trocknung wird auf die Nutzung von Fremdenergie verzichtet. Damit bieten diese Verfahren vor allem im Hinblick auf Nachhaltigkeitsaspekte, sowie in den meisten Fällen auch aus Gründen der Ökonomie und Logistik Vorteile gegenüber der Trocknung unter Nutzung von Fremdenergie. Bei der natürlichen Trocknung werden, je nach Methode in unterschiedlichen Ausmaßen, Sonnenenergie, Windenergie und biologische Selbsterwärmung durch mikrobielle Aktivität genutzt.

Der Wissenstand, insbesondere die Trockenmasseverluste durch mikrobiellen Abbau bei natürlicher Trocknung betreffend, ist trotz einer Vielzahl von Untersuchungen nicht zufriedenstellend. Ergebnisse aus vergleichenden Studien beruhen oft auf kleinmaßstäblichen Versuchen, die den Abläufen der Trocknung im Praxismaßstab nur bedingt entsprechen. Daten aus großmaßstäblichen Versuchen beruhen häufig auf der Nutzung von Bilanzbeuteln, welche nur eine stichprobenartige Aussage geben und mit methodischen Unsicherheiten behaftet sind. Untersuchungen an Einzelhaufen sind aufgrund unterschiedlicher Versuchs- und Wetterbedingungen schwer vergleichbar. Hieraus resultieren sehr unterschiedliche Ergebnisse zu Trockenmasseverlusten bei natürlicher Trocknung von Hackschnitzeln. In einer Zusammenstellung von Literaturdaten durch SCHOLZ et al. (2005) werden Schwankungsbreiten für Trockenmasseverluste von 0,5 bis 10 % pro Monat angegeben. In

eigenen Versuchen stellten SCHOLZ et al. (2005) Trockenmasseverluste zwischen 10 und 30 % pro Jahr, in Einzelfällen sogar bis zu 40 % pro Jahr fest.

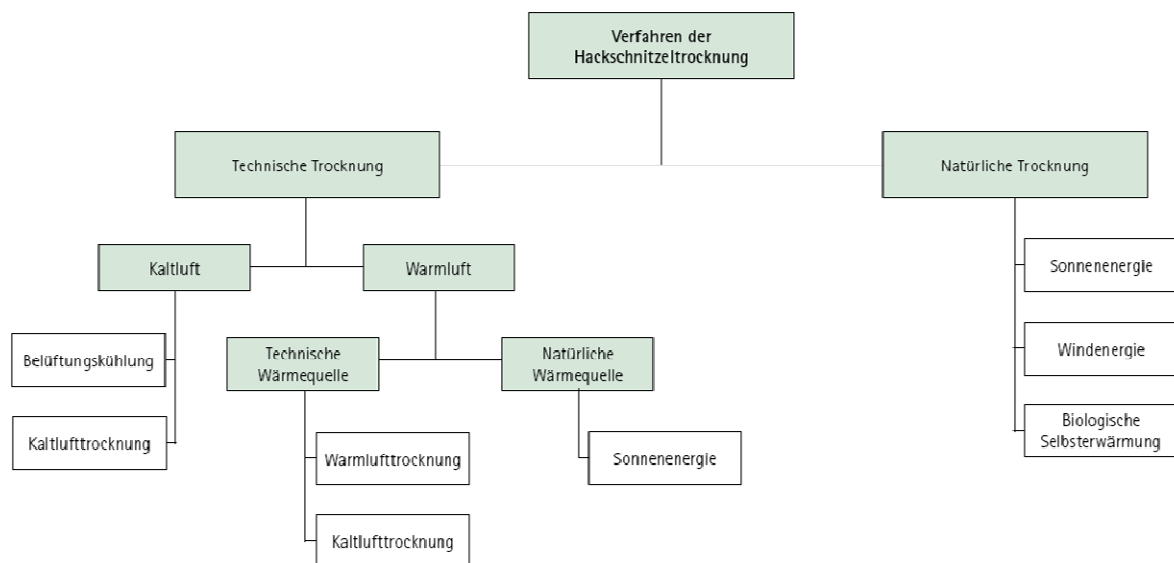


Abb. 2: Verfahren der Hackschnitzeltrocknung, Quelle: LfULG 2009

2 Versuchsaufbau und Ausgangsbedingungen

Im Rahmen des vom BMELV über die FNR geförderten Forschungsprojektes *AgroForstEnergie* (BÄRWOLFF et al. 2011) erfolgte die Anlage eines großmaßstäblichen Trocknungsversuches mit dem Ziel, relevante passive Trocknungsverfahren für Holz aus Kurzumtriebsplantagen im direkten Vergleich und unter Praxisbedingungen zu beurteilen. Das zu trocknende Material stammte aus Plantagen gleicher Pappelsorte (Max 1, 3, 4), jedoch unterschiedlicher Altersstruktur (s. Tab. 1). Hieraus resultieren u. a. Unterschiede im Rindenanteil, welche den biologischen Abbau durch Mikroorganismen beeinflussen

Tab. 1: Herkunft und Eigenschaften des eingelagerten Holzes

	AgroForstEnergie	TLL-KUP
Alter der Anlage [a]	4	17
Zeitspanne seit letzter Ernte [a]	---	12
Anzahl der Umtriebe	1	2
mittlerer BHD zur Ernte [cm]	2,2	7,3
Wassergehalt nach Ernte [%]	55,3 (N=54)	55,6 (N=18)
Heizwert $H_{u,wf}$ [MJ/kg TM]	16,97	17,87
eingelagert in Varianten	DOM, DACH	VLIES, GANZBAUM

Vier Versuchsvarianten wurden in der Nähe von Dornburg/Saale in Thüringen zwischen Februar und August 2011 unter ähnlichen Ausgangsbedingungen, jedoch mit unterschiedlichen Eingangsmassen eingerichtet (s. Abb. 3):

- VLIES – Haufwerk unter luftdurchlässigem Schutzvlies (TopTex Vlies) 30,25 t atro
- DOM – Haufwerk unter undurchlässiger Folie mit Lüftungsschächten und Abluftdomen („Verfahren zur Biomassetrocknung“, Patent TU Dresden, zur Funktionsweise siehe BRUMMACK 2008) 34,70 t atro
- DACH – Haufwerk unter Dach (nach drei Seiten offen) 6,44 t atro
- GANZBAUM – Unabgedeckte Ganzbäume im Stapel 8,33 t atro



Abb. 3: Versuchsvarianten a) VLIES, b) DOM, c) DACH, d) GANZBAUM

Die Versuchsvarianten VLIES, DOM und DACH bestehen aus Holzhackschnitzel-Haufwerken, die Variante GANZBAUM aus Ganzbäumen im Polter. Letztere wurden nach Beendigung des Trocknungsversuches gehackt. Alle Analysen fanden an gehacktem Material statt. Die Versuchsfläche ist betoniert und weist eine leichte Neigung auf, wodurch die Aufnahme von Fremdmaterial beim Umlagern verhindert und das Abfließen von Regenwasser weitestgehend gewährleistet wird. Die Hackschnitzel bzw. Stammhölzer aus Kurzumtriebsplantagen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurden unmittelbar nach der Ernte mit Wassergehalten von durchschnittlich 55,5 % in die Versuchsglieder überführt. Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Frage nach den jeweiligen Trockenmasseverlusten der Versuchsvarianten durch mikrobielle Abbauprozesse. Aus diesem Grund erfolgte eine Wägung der gesamten Holzmasse je Versuchsglied sowohl zu Beginn als auch nach Abschluss des Trocknungsversuches. Die Bestimmung von Wassergehalten sowie Partikelgrößenverteilung, Schüttdichte und verbrennungsrelevanten Inhaltsstoffen erfolgte ebenfalls zu Beginn und nach Beendigung des Versuches.

Tab. 2: Anzahl entnommener Proben bei Versuchsende

	VLIES	DOM	DACH	GANZBAUM
Wassergehalt				
Stichproben äußere Schicht (Kondensationszone)	10	10	10	---
Stichproben Innenbereich der Miete	10	10	10	---
Mischproben von ausgelagertem Material	12	9	3	6
Verbrennungsrelevante Inhaltsstoffe				
Mischproben von ausgelagertem Material	3	3	3	3
Schüttdichte, Partikelgrößenverteilung				
Mischproben von ausgelagertem Material	3	3	3	3

Die Dauer des Trocknungsversuches war organisatorisch bedingt auf sechs Monate begrenzt. Da eine zeitgleiche Befüllung und Entnahme des Materials logistisch nicht möglich war, unterscheiden sich die tatsächlichen Zeiträume der einzelnen Versuchsvarianten geringfügig. Tabelle 3 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf des Versuches.

Tab. 3: Zeitlicher Ablauf der Trocknungsversuches

	Versuchsbeginn	Versuchsende	Anzahl Tage
VLIES	24.02.2011	03.08.2011	160
DOM	09.02.2011	04.08.2011	176
DACH	09.02.2011	03.08.2011	175
GANZBAUM	22.02.2011	23.08.2011	182

Zur Beurteilung der Versuchsbedingungen ist eine Betrachtung der Wettergegebenheiten während des Versuchszeitraumes hilfreich. Die Monate Februar bis Mai waren durch vergleichsweise geringe Niederschläge geprägt. Insbesondere der Juli war jedoch durch Niederschläge deutlich über dem langjährigen Mittel gekennzeichnet (s. Abb. 4). Die Lufttemperaturen lagen während des gesamten Versuchszeitraumes über den langjährigen Mitteln Deutschlands. Insbesondere der April war durch vergleichsweise hohe Temperaturen geprägt (s. Abb. 5).

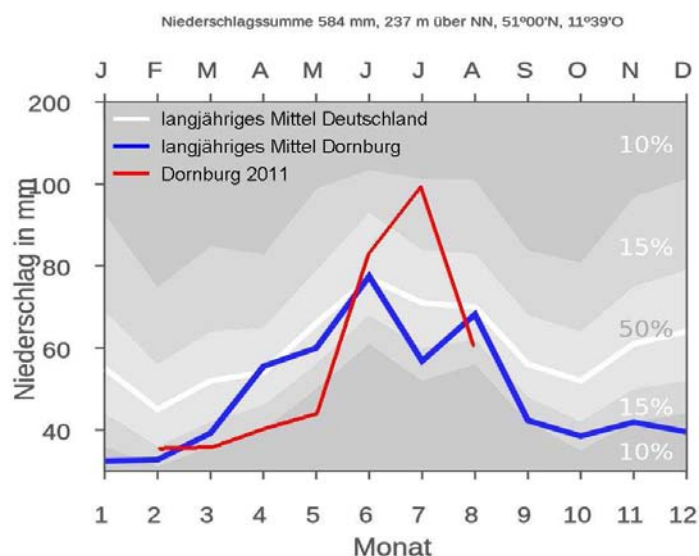


Abb. 4: Niederschlag während des Versuchszeitraumes im Vergleich zu langjährigen Mitteln (Quelle: ergänzt nach http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:DORNBURG_SAALE_nieder.svg)

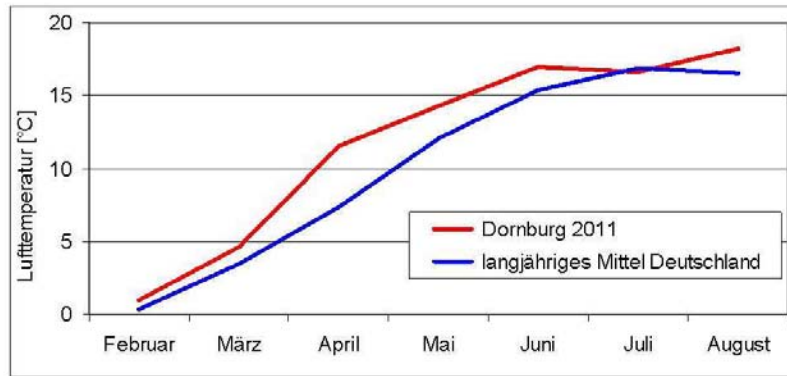


Abb. 5: Lufttemperatur während des Versuchszeitraumes im Vergleich zum langjährigen Mittel

3 Ergebnisse

3.1 Wassergehaltsreduktion

Die Bestimmung der Wassergehalte zum Zeitpunkt der Auslagerung nach knapp sechsmonatiger Trocknungsdauer erfolgte stichprobenhaft (s. Tab. 2). Wie in Abbildung 6 gegenübergestellt, konnte die höchste Wassergehaltsreduktion auf 28,3 % bei Lagerung unter DACH erreicht werden. Auch die Trocknung in der Versuchsvariante GANZBAUM unter freiem Himmel erreichte zufriedenstellende 33,7 %. In der Versuchsvariante DOM wurden Endwassergehalte der Hackschnitzel von 36,8 % gemessen, unter dem luftdurchlässigen VLIES verblieb ein Restwassergehalt von 46,5 %. Zu beachten sind hierbei jedoch die deutlich geringeren eingelagerten Massen bei den Varianten DACH und GANZBAUM. Insbesondere in der Variante DACH wurde durch die geringere Haufwerksgröße eine schnellere Durchtrocknung gegenüber den Varianten DOM und VLIES erreicht. Geringere Effekte der Haufwerksgröße sind bei einer Trocknung im Ganzbaum anzunehmen, da hier durch große Hohlräume ein insgesamt höheres Luftvolumen gegeben ist und damit auch bei größeren Haufen eine gute Durchströmbarkeit gewährleistet ist. Durch das Austreiben von frischen Blättern an den Stämmen im Polter entstand zusätzliche Verdunstungsfläche, welche die Trocknung beschleunigte. Eine weitere Verbesserung der Trocknung könnte durch das Unterlegen von Querhölzern zur Luftdurchströmung von unten erreicht werden. In der Variante VLIES wurde der Trocknungsprozess im Rahmen der Versuchsdauer nicht abgeschlossen. Zur Erreichung der angestrebten Werte von unter 30 % Wassergehalt bei den gegebenen Ausgangsbedingungen (insbesondere Haufwerksmasse) wäre eine Trocknungsdauer von mindestens 12 Monaten erforderlich gewesen. Hilfreich wäre ein mehrmaliges Umsetzen der Miete.

Bei differenzierter Betrachtung der Verteilung der Wassergehalte innerhalb der Mieten nach knapp sechsmonatiger Trocknungsdauer (s. Abb. 7) können weitere Erkenntnisse abgeleitet werden. Die Haufwerke unter DACH und unter VLIES waren durch verhältnismäßig geringe Wassergehalte im Außenbereich und höhere Wassergehalte im Innenbereich gekennzeichnet. Dies verdeutlicht den hier stattgefundenen Trocknungsprozess von außen nach innen auf Grundlage von Wind- und Sonnenenergie und lässt auf eine noch nicht abgeschlossene Trocknung schließen. In der Versuchsvariante DOM war ein entgegen gesetzter Effekt zu verzeichnen. Der Innenbereich der Miete zeigte deutlich reduzierte Wassergehalte, während im Außenbereich sehr hohe Werte von mehr als 70 % (WG bei Einlagerung: 55,5 %) gemessen wurden. Aufgrund der Funktionsweise der Methode (Durchströmungsprinzip infolge der durch Wärmefreisetzung verursachten Druckdifferenz zwischen dem Mieteninneren und der Umgebung (RÜBSAM & BRUMMACK 2011)) findet eine Trocknung von innen nach außen statt. Aufgrund der Luftundurchlässigkeit der verwendeten Abdeckfolie bildete sich eine durchschnittlich etwa 30 cm starke Kondensationsschicht aus, welche jedoch

stark variierende Mächtigkeiten (10 bis 70 cm) aufweisen kann (s. Abb. 8). Auch an den Lüftungsschächten im Inneren der Miete traten stark vernässte Zonen auf. Aufgrund dieser Kondensationszonen konnte der Wassergehalt der Gesamtmiete trotz abgeschlossenem Trocknungsprozess nicht weiter reduziert werden und erreichte nicht den Zielwert von weniger als 30 % Wassergehalt.

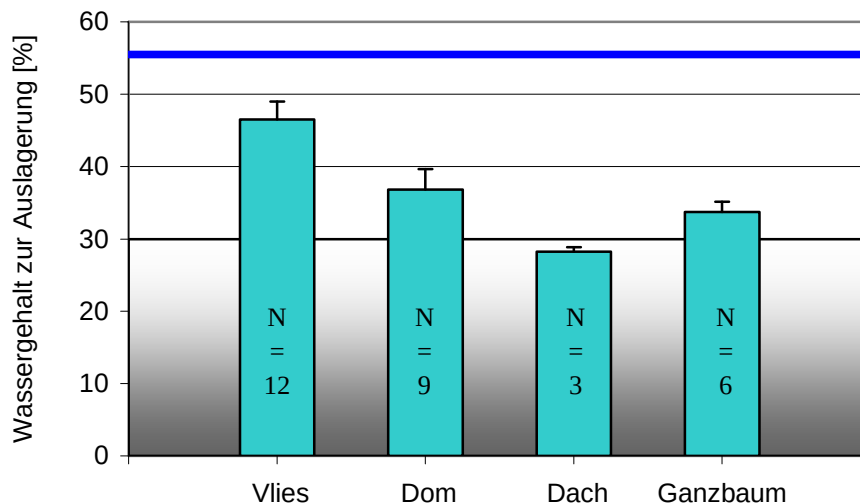


Abb. 6: Durchschnittlicher Wassergehalt der Hackschnitzel nach Trocknung (die durchgezogene blaue Linie markiert den Wassergehalt zu Beginn der Trocknung, grau schattiert ist der Bereich in dem von einer nahezu verlustfreien Lagerfähigkeit von Holzhackschnitzeln auszugehen ist)

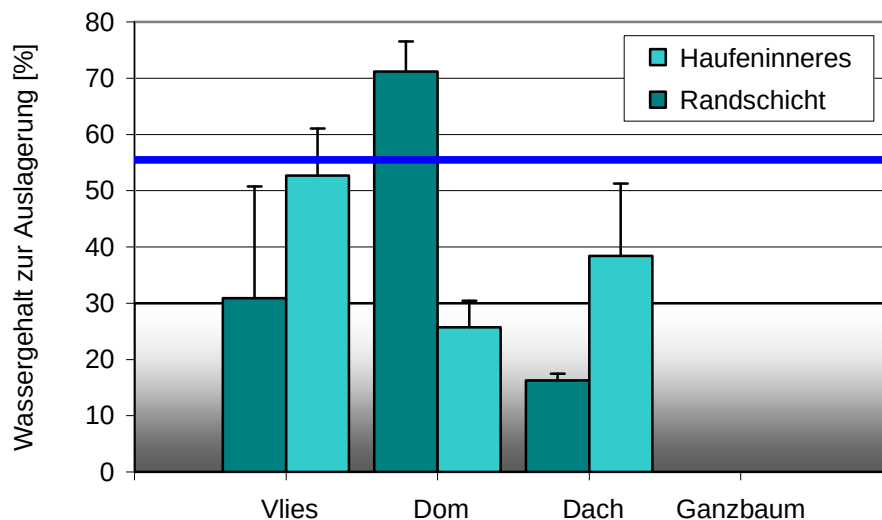


Abb. 7: Wassergehalte der Hackschnitzel nach Trocknung im Außen- und Innenbereich der Mieten (die durchgezogene blaue Linie markiert den Wassergehalt zu Beginn der Trocknung; grau schattiert ist der Bereich in dem von einer nahezu verlustfreien Lagerfähigkeit von Holzhackschnitzeln auszugehen ist; jeder Balken repräsentiert die Ergebnisse von 10 Stichproben)



Abb. 8: Kondensationsschicht im Außenbereich der Miete DOM

3.2 Masseverluste

Die Masseverluste der Holzhackschnitzel wurden durch die Differenz der absoluten Einlagerungs- und der absoluten Auslagerungsmasse bestimmt. Die Werte wurden unter Berücksichtigung der ermittelten durchschnittlichen Wassergehalte auf absolute Trockenmasse (atro) bezogen. Die der Berechnung zugrunde liegenden Daten sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Abbildung 9 stellt die prozentualen Masseverluste bezogen auf den durchschnittlich erhobenen Wassergehalt des ausgelagerten durchmischten Materials bei Versuchsende gegenüber. Die Standardabweichung (Fehlerbalken) gibt die Schwankungsbreiten an, welche sich aus den Spannweiten der ermittelten Wassergehalte bei Auslagerung ergibt. Der geringste Masseverlust von 5,8 % konnte bei der Trocknung im GANZBAUM verzeichnet werden, inklusive 1,1 % welche auf mechanische Verluste beim Hacken (nicht aufgenommenes Astmaterial) zurückzuführen waren. Ebenfalls niedrige Masseverluste (6,4 %) lagen bei der Trocknung unter VLIES vor. Hier ist jedoch zu beachten, dass der Trocknungsprozess noch bei Weitem nicht abgeschlossen war. Bei der weiteren Trocknung auf unter 30 % Wassergehalt muss mit weiteren Masseverlusten gerechnet werden. Die Masseverluste der Variante unter DACH betrugen im Versuchszeitraum 13,3 %. Bei der Variante DOM wurden die höchsten Masseverluste von 15,4 % festgestellt.

Tab. 4: Vergleich der Ergebnisse der Versuchsvarianten

Variante	Masse Versuchsbeginn [t]	Wassergehalt Versuchsbeginn [%]	Masse Versuchsende [t]	Wassergehalt Versuchsende [%]
VLIES	68,12	55,6	52,94	46,5
DOM	77,64	55,3	46,48	36,8
DACH	14,40	55,3	7,78	28,3
GANZBAUM	18,76	55,6	11,84	33,7

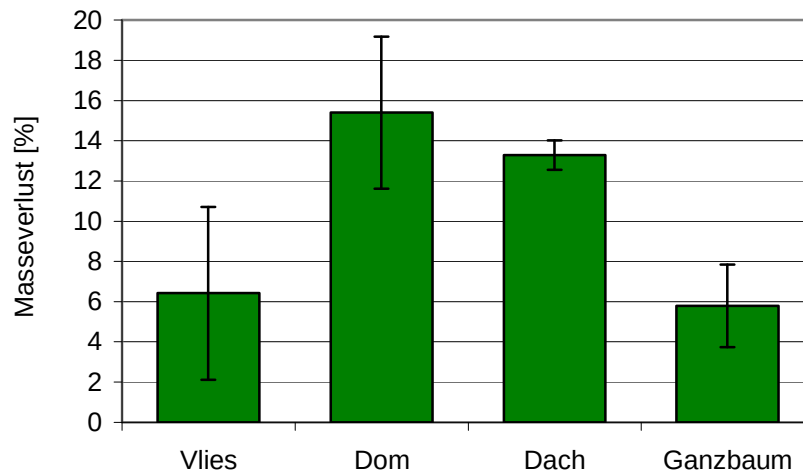


Abb. 9: Masseverluste der Versuchsvarianten nach durchschnittlich 173 Trocknungstagen

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Vergleich der vier passiven Trocknungsvarianten im Hinblick auf Masseverlust und Wassergehaltsreduktion muss unter Beachtung der unterschiedlichen Eingangsmassen sowie der auf sechs Monate begrenzten Trocknungsdauer erfolgen. Die Trocknung von knapp 70 t Frischmasse unter halbdurchlässigem Vlies führte im genannten Zeitraum nicht zu lagerfähigem Material mit weniger als 30 % Wassergehalt. Der geringe Masseverlust ist im Wesentlichen der noch nicht abgeschlossenen Trocknung geschuldet. Unter Praxisverhältnissen müsste ein mehrfaches Umschlagen des Materials erfolgen um den Prozess effektiver und zeitlich kürzer zu gestalten. Bei weiterer Trocknung bis zum angestrebten Wassergehalt von unter 30 % ist mit höheren Masseverlusten zu rechnen. Die Trocknung von ca. 78 t Frischmasse mit Hilfe des Dombelüftungsverfahrens war bereits nach vier Monaten abgeschlossen. Durch die Ausbildung einer markanten Kondensationszone unter der undurchlässigen Folie konnte der Zielwert von weniger als 30 % Wassergehalt für die Gesamtmasse jedoch nicht erreicht werden. Der Masseverlust war mit 15,4 % recht hoch und es ist bei weiterer Lagerung des gemischten Materials von einem zusätzlichen Biomasseabbau auszugehen. Das Haufwerk mit 14 t Hackschnitzeln unter Dach trocknete bei einem Masseverlust von 13,3 % bis unter 30 % Wassergehalt. Auch hier würde eine gelegentliche Umsetzung des Haufwerkes deutliche Vorteile im Trocknungsverlauf bewirken. Die Trocknung des KUP-Holzes im Ganzbaum wies das günstigste Verhältnis von Masseverlust (5,8 %) und Restwassergehalt (33,7 %) auf.

Bei der Auswahl des geeigneten Trocknungsverfahrens müssen die individuellen Ausgangsbedingungen berücksichtigt werden. Bei der Trocknung im Ganzbaum sind die geringsten Verluste und eine zügige Wassergehaltsreduktion zu erwarten. Zudem sind keine baulichen Voraussetzungen oder zusätzliches Material nötig. Um die Wirtschaftlichkeit der gesamten Kette zu gewährleisten, müssen jedoch weitere Faktoren wie Erntetechnik, Logistikkosten und verfügbare Lagerflächen berücksichtigt werden. Bei der Nutzung direkt hackender Erntetechnik (Mähhacker) bietet sich bei Vorhandensein verfügbarer Gebäude die Trocknung unter Dach an. Zur flexiblen Nutzung auf Freiflächen kann das Dombelüftungsverfahren eine vielversprechende und insbesondere zügige Trocknungsmöglichkeit sein, wobei hier durch Modifikationen im Mietendesign – beispielsweise die Ersetzung der undurchlässigen Folie durch ein semipermeables Vlies – wahrscheinlich verbesserte Trocknungsergebnisse erzielt werden könnten. Die Trocknung unter Vlies ist eine kostengünstige und einfache Variante, die außer einer befestigten

Grundfläche (diese sollte für jegliche Trocknungsvariante Grundlage sein) keine bauliche Voraussetzung benötigt.

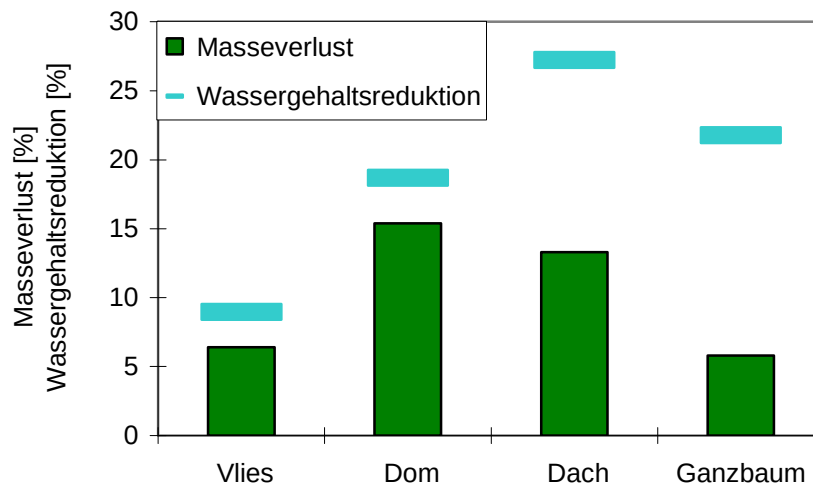


Abb. 10: Masseverlust und Wassergehaltsreduktion der 4 Trocknungsvarianten im Vergleich

Literatur

- BÄRWOLFF, M., VETTER, A., BÖHM, C., HOFFMANN, J., SCHMIDT, C. (2011): Projekt AgroForstEnergie – Was bringen Streifen-KUP? In: energie pflanzen 2/2011, S. 9-11. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/skup0511.pdf>.
- BRUMMACK, J. (2008): Fremdenergiefreie Trocknung von Holzhackgut. In: Bornimer Agrartechnische Berichte 63, S. 5-20.
- FNR (2010³): Marktübersicht Hackschnitzel-Heizungen. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_293-mu_hackschnitzelheizungen_2010_web.pdf.
- FNR (2011): Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/>.
- LfULG (2009): Anbauempfehlungen Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb. http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4616_1.pdf.
- MANTAU, U. (2010): Is there enough wood for Europe? In: EUwood – Finalreport, Hamburg/Germany, June 2010, S. 19-34.
- RÜBSAM, R., BRUMMACK, J. (2011): Trockenmiete Eckolstädt, Februar bis August 2011, Versuchsbericht. Unveröffentlicht.
- SCHOLZ, V., IDLER, C., DARIES, W., EGERT, J. (2005): Lagerung von Feldholzhackgut. Verluste und Schimmelpilze. In: Agrartechnische Forschung 11/4, S. 100-113.

Kontakt:

Manuela Bärwolff
 Apoldaer Straße 4
 07774 Dornburg-Camburg
 Tel.: 036427 868-117
manuela.baerwolff@tll.thueringen.de

Thomas Hering
 Apoldaer Straße 4
 07774 Dornburg-Camburg
 Tel.: 036427 868-110
thomas.hering@tll.thueringen.de