

Die Landwirtschaft als Energieerzeuger

KTBL-Tagung vom
4. bis 5. Mai 2009
in Osnabrück



gefördert durch

Konzeption

Helmut Döhler, Henning Eckel
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Prof. Dr. Dr.-habil. Josef Boxberger
Universität für Bodenkultur, Institut für Landtechnik
Peter-Jordan-Strasse 82 | A-1190 Wien

Unter Mitwirkung der KTBL-Arbeitsgemeinschaft „Energie“

Projektbetreuung

Henning Eckel
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Finanzielle Förderung

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, An der Bornau 2 | 49090 Osnabrück

© 2009

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 7001-0 | Fax +49 (0) 6151 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de | <http://www.ktbl.de>

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Redaktion

Helmut Döhler, Susanne Döhler, Henning Eckel, Teodora Georgieva, Stefan Hartmann,
Susanne Klages, Claudia Molnar, Monika Pikart-Müller, Stefan Nakazi, Dr. Anke Niebaum,
Ursula Roth, Dr. Ute Schultheiß, Bernd Wirth, Dr. Sebastian Wulf | KTBL

Titelfoto

Firma Hüttmann GmbH | Soltau

Vertrieb

KTBL | Darmstadt

Druck

Druckerei Lokay | Reinheim

ISBN 978-3-939371-85-4

Printed in Germany

Vorwort

Ehrgeizige Ziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland machen Verbesserungen an der Effizienz der Anlagen und die Ausnutzung aller sich bietender Optionen für die Nutzung von erneuerbaren Energien notwendig. Hier bieten sich Chancen für die Landwirtschaft als Ergänzung zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion den Energiebereich als weiteres Standbein auszubauen.

Mit der Veranstaltung „Die Landwirtschaft als Energieerzeuger“, die nach 2004 zum zweiten Mal vom KTBL mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) ausgerichtet wird, wollen wir den aktuellen Stand der Technik der verschiedenen Energietechnologien beschreiben und aufzeigen, welche Entwicklungsmöglichkeiten sich hier für landwirtschaftliche Betriebe bieten.

Neben der Bereitstellung von Energiepflanzen werden die Bereiche Biogas, Biokraftstoffe und Biobrennstoffe betrachtet sowie der aktuelle Stand der Sonnenenergienutzung dargestellt. Darüber hinaus werden auch Konzepte diskutiert, wie der Einstieg landwirtschaftlicher Betriebe in den Sektor der Energiedienstleistungen ermöglicht werden kann.

Der vorliegende Tagungsband fasst die Fachbeiträge der Referenten zusammen und bietet den Teilnehmern einen umfassenden und aktuellen Überblick über die Thematik „Die Landwirtschaft als Energieerzeuger“.

Im Namen aller beteiligten Kolleginnen und Kollegen danke ich den Mitgliedern der KTBL-Arbeitsgemeinschaft „Energie“ für die Unterstützung bei der Konzeption der Veranstaltung und allen Referenten und Moderatoren für die engagierte Mitarbeit.

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

DR. HEINRICH DE BAEY-ERNSTEN
Hauptgeschäftsführer

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

DR.-ING. E. H. FRITZ BRICKWEDDE
Generalsekretär

Inhalt

Bewertung nachwachsender Energieträger SEBASTIAN WULF, BÄRBEL GEROWITT, UTE SCHULTHEISS, HELMUT DÖHLER.....	7
Die Zukunft der Biokraftstoffe NORBERT SCHMITZ.....	17
Biomassebereitstellung für BtL-Kraftstoffe LUDWIG LEIBLE, STEFAN KÄLBER, GUNNAR KAPPLER, EBERHARD NIEKE, BEATE FÜRNISS	25
Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse JÜRGEN KARL	36
Standortangepasste nachhaltige Produktion von Energiepflanzen ARMIN VETTER, CHRISTOPH STRAUSS, ARLETT NEHRING	46
Biomasselogistik JÜRGEN HAHN, NORBERT FRÖBA.....	58
Verfahren und Kosten der Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen VOLKHARD SCHOLZ, HENNING ECKEL, STEFAN HARTMANN	67
Miscanthus: Anbau, Wirtschaftlichkeit und Eigenschaften als Brennstoff KLAUS MASTEL.....	81
Bereitstellungskosten für Energiepflanzen HENNING ECKEL, HELMUT DÖHLER, STEFAN HARTMANN.....	89
Reststoffe als Substrate für Biogasanlagen SUSANNE KLAGES, UTE SCHULTHEISS, HELMUT DÖHLER	100
Innovationen bei der Entwicklung von Energiepflanzen – Standpunkt eines Zuchtunternehmens ANDREAS VON FELDE, ULRIKE JECHÉ.....	117
Aufbereitung fester Biomasse – Zerkleinerung, Trocknung und Pelletierung STEPHAN STERNOWSKY, WOLF-CARSTEN WOHLERS, AXEL BUSCHHART, WERNER SITZMANN	124
Technik, Betriebserfahrungen und Erträge von Fotovoltaikanlagen in Süddeutschland GOTTFRIED GRONBACH	133
Solarthermische Anlagen in der Landwirtschaft – Technik und Wirtschaftlichkeit ALBERT ESPER	141
Qualität zahlt sich aus – Konzeption und Ausführung von Biomasseheizwerken GILBERT KRAPP.....	151

Wann lohnt sich ein Nahwärmenetz in Kommunen? HELMUT DÖHLER, TEODORA GEORGIEVA, SUSANNE DÖHLER	166
Die Landwirtschaft im kommunalen Energie- und Stoffstrommanagement FRANK WAGENER, JÖRG BÖHMER	176
Energetische Verwertung von Halmgut THOMAS HERING	189
Moderne Holzfeuerungen – Stand der Technik und Entwicklungstendenzen PETER TUROWSKI, HANS HARTMANN	197
Biomassevergasung in KWK-Anlagen – Stand des Wissens, Ansätze für die Praxis ANDREJ STANEV	210
Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen EDGAR REMMELE	218
Pflanzenöl als Kraftstoff in landwirtschaftlichen Maschinen HARDWIN TRAULSEN	230
Erfahrungen beim Rapsölbetrieb im österreichischen 35-Traktoren-Programm JOSEF BREINESBERGER	243
Die Vergütungsregelungen des EEG 2009 für Biogasanlagen HELMUT LOIBL	254
Technische Weiterentwicklungen im Biogasanlagenbau WALDEMAR GRUBER	263
Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen unter neuen Rahmenbedingungen ULRICH KEYMER	268
Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz CHRISTIAN BÖSE	280
Wärmenutzungskonzepte für Biogasanlagen ANKE NIEBAUM, STEFAN NAKAZI, STEFAN HARTMANN, SEBASTIAN WULF, HELMUT DÖHLER	290
Biomethan als Fahrzeugkraftstoff – Praxiserfahrungen aus Europa MICHAEL BEIL, UWE HOFFSTEDE	302
Anschriften der Autoren	311
KTBL-Veröffentlichungen	314

4 Produktionsverfahren

4.1 Bodenbearbeitung und Pflanzung

Voraussetzung für hohe Erträge ist eine optimale Pflanzbettbereitung durch Pflügen, Grubbern und Eggen. Auf Flächen mit starker Begleitvegetation ist vor der Pflugfurche im Herbst der Einsatz von Totalherbiziden erforderlich.

Pappeln und Weiden können in unterschiedlichen Lagen und Formen gepflanzt werden, und zwar vertikal und schräg als Steckholz (0,2 m), Steckrute (< 2,5 m) oder Setzstange (< 4 m), horizontal als Legerute (< 2,5 m) und bei Weiden als Hackgut von 1 bis 2-jährigen Aufwüchsen mit ~ 8 cm Länge, das in Furchen abgelegt wird. In der Praxis haben sich aus arbeitswirtschaftlichen Gründen Steckhölzer von etwa 1 bis 2 cm Durchmesser und ca. 20 cm Länge durchgesetzt. Sie werden aus einjährigen Trieben gewonnen. Steckruten und Setzstangen sind besonders für geringe Pflanzdichten und extensive Bewirtschaftungsformen mit langen Umtriebszeiten geeignet.



Abb. 2: Vierreihige Weiden-Pflanzmaschine

Im großflächigen Anbau kommen teilmechanisierte Spezialpflanzmaschinen zum Einsatz, die die (Weiden-)ruten in 20 cm lange Steckhölzer schneiden und anschließend steckt (Abb. 2). Für Pappeln sind diese Maschinen nur bedingt geeignet, hier werden die Steckhölzer meist mit adaptierten landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Pflanzmaschinen oder Eigenentwicklungen gepflanzt.

Der Pflanzverband und die Pflanzdichte werden vom Endprodukt (Hackschnittel, Bündel oder Stückholz) und der verfügbaren Erntetechnik bestimmt. Bei den Pflanzverbänden wird grundsätzlich zwischen Einzelreihen- und Doppelreihenverband unterschieden. Für die Pflanzdichte sind außerdem Baumart, Sorte und Umtriebszeit maßgebend (Tab. 1).

Tab. 1: Geeignete Pflanzverbände für Pappeln und Weiden

Ernteintervall Jahre	Reihenabsand		Pflanzabstand cm	Pflanzzahl Stück/ha	Erntetechnik	
	Einzelreihe cm	Doppelreihe ¹⁾ cm				
Pappel	≤ 3	90	-	60–100	11 100–18 500	AM
	≤ 3	-	75 + 150–200 ³⁾	50–100	7 300–17 800	FS, (AM), (MB)
	3...5	90	-	60–100	11 100–18 500	AM
	3...5	150–200 ²⁾	-	50–100	5 000–13 300	AM, (FS)
	3...5	-	75 + 150–200 ³⁾	50–100	7 300–17 800	(FS), (AM)
	5...10	150–200 ²⁾	-	100–200	2 500–6 700	FB, (SH), (MM)
	> 10	≥ 300	-	≥ 200	≤ 1 700	FB, MM, (SH)
Weide	≤ 5	90	-	60–100	11 100–18 500	AM
	≤ 5	150–200 ²⁾	-	50–100	5 000–13 300	AM, (FS)
	≤ 5	-	75 + 150–200 ³⁾	50–100	7 300–17 800	FS, MB (AM)

¹⁾ Der erste Summand gibt den Reihenabstand in der Doppelreihe an und der zweite zwischen den Doppelreihen.

²⁾ Erntetechnisch optimaler Einzelreihenabstand: 175 cm, d.h. bei 65 cm Pflanzabstand 8 800 Pfl./ha.

³⁾ Erntetechnisch optimaler Doppelreihenabstand: 75 + 175 cm, d.h. bei 75 cm Pflanzabstand 10 700 Pfl./ha.

Erntetechnik

AM: Anbau-Mähhackler ($\emptyset < 12$ cm); FS: Feldhäcksler-Schneidwerke ($\emptyset < 7$ cm); MB: Mähbündler ($\emptyset < 6$ cm);

FB: Fällbündler ($\emptyset < 20$ cm); SH: Schwadhacker ($\emptyset < 25$ cm) nach vorheriger Fällung; MM: Motormanuell

Die in Klammern gesetzten Maschinen sind für den betreffenden Bestand nur bedingt geeignet.

Der günstigste Pflanztermin ist das zeitige Frühjahr, sobald der Boden befahrbar ist, idealerweise Mitte März bis Mitte April bei einer Bodentemperatur von über 5 °C. Prinzipiell ist das Pflanzen auch im Herbst möglich, z.B. bei ausgeprägter Frühjahrstrockenheit, allerdings sind hier Probleme mit der Verunkrautung und beim Pflanzguterwerb zu erwarten. Weiden weisen meist eine höhere Anwuchsrate als Pappeln auf (ca. 90–100 %); bei den Pappeln bestehen allerdings Unterschiede zwischen den Klonen. Mit geeigneten Sorten sind jedoch auch hier Anwuchsraten von über 90 % erzielbar.

4.2 Pflege

Die Pflegemaßnahmen auf Feldholzflächen beschränken sich im Wesentlichen auf das erste und zweite Jahr. In dieser Phase sind die heranwachsenden Bestände insbesondere vor zu starkem Unkrautdruck und ggf. vor Wildverbiss zu schützen.

Für die Begleitkrautkontrolle wird eine Kombination aus mechanischen und chemischen Behandlungsmaßnahmen empfohlen, die auf Vorkultur, Artenspektrum der Krautschicht und Deckungsgrad abgestimmt sein muss. Für die mechanische Unkrautbekämpfung in den ersten drei Monaten nach der Pflanzung sind sowohl Eggen und Striegel als auch Roll- und Scharhacken geeignet. Bei der Spätverunkrautung ist Mulchen bzw. Mähen zwischen den Reihen dem Hacken vorzuziehen. Bei resistenten Unkräutern kann dennoch kaum auf Herbizide verzichtet werden. Bei ihrem Einsatz ist allerdings zu beach-

ten, dass nur für Baumkulturen zugelassene Mittel verwendet werden, und ansonsten eine Genehmigung nach § 18b des Pflanzenschutzgesetzes bei der zuständigen Behörde einzuholen ist.

In Gebieten mit einer hohen Reh- und Hasendichte sind die jungen Baumbestände u.U. vor Verbiss- und Fegeschäden zu schützen. Zwar führt der Verbiss meist nicht zum Totalausfall, es kann jedoch zu gewissen Zuwachsverlusten und teilweise auch zu unerwünscht buschigen Stammformen kommen. Das Einzäunen der Fläche oder das Auftragen von handelsüblichen Verbisschutzmitteln auf die Terminaltriebe der Jungbäume sind zwar wirksame, allerdings sehr kostspielige Gegenmaßnahmen.

4.3 Ernte

Drei Ernteverfahren können unterschieden werden, und zwar die Stammholzlinien, die Bündellinien und die Hackgutlinien, deren Produkte Stammabschnitte bzw. Stückholz, Bündel oder Hackgut sind (Abb. 3):

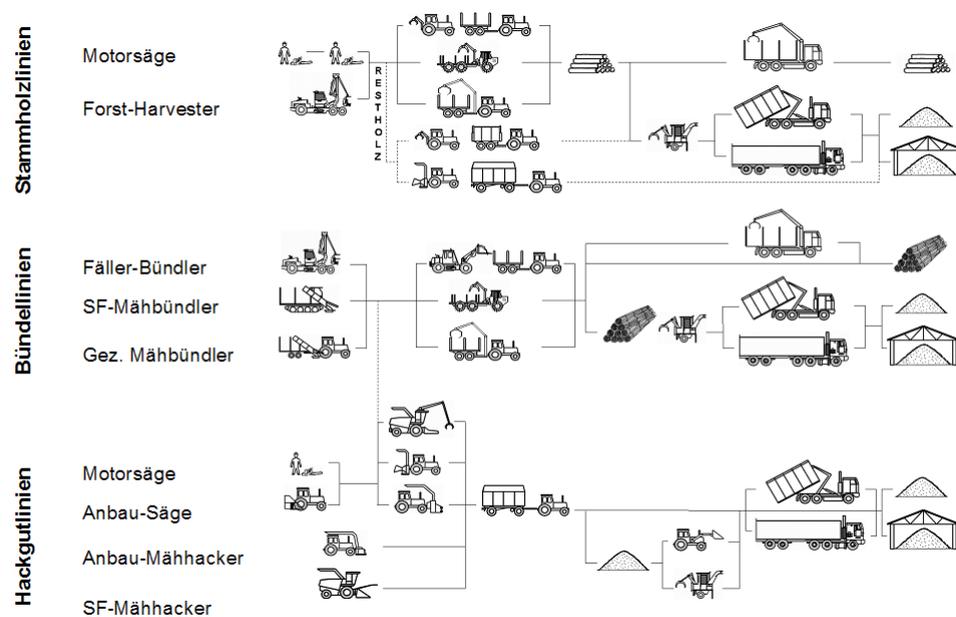


Abb. 3: Ernteverfahren für schnellwachsende Baumarten

Stammholzlinien (Ernteintervall 5–20 Jahre)

Bei den Stammholzlinien kommen vorzugsweise konventionelle motormanuelle oder mechanisierte Verfahren aus dem Forstsektor zur Anwendung. Beim Einsatz von Forsttechnik gehen allerdings die Vorteile der reihenweisen Begründung der Feldholzflächen

verloren. Eine Betrachtung des Gesamtverfahrens macht zudem deutlich, dass durch die zeitliche Entkopplung der Arbeitsschritte Fällen (Schneiden), Transportieren (Rücken) und Verladen (oder ggf. Hacken) ein hoher logistischer Aufwand notwendig ist, so dass die motormanuellen Verfahren nur für kleine Flächen und die mechanisierten Verfahren nur für die Ernte von preislich höherwertigem, vorzugsweise stofflich verarbeitetem Holz wirtschaftlich sind (BURGER und SCHOLZ 2004).

Bündellinien (Ernteintervall 1–10 Jahre)

Die Bündellinien sind in Deutschland weitgehend unbekannt. Bei kurzen Ernteintervallen werden die Baumtriebe (vorzugsweise Weiden, Schnitt-Ø < 6 cm) mit sogenannten Mähbündlern geschnitten, gesammelt, z.T. gebunden und in den Zwischenreihen oder am Feldrand abgelegt. Bei großen Ernteintervallen wird ein Forst-Harvester mit Fäller-Bündler-Kopf eingesetzt, der mehrere Bäume (vorzugsweise Pappeln, Schnitt-Ø 10 bis 20 cm) nacheinander greift und schneidet und diese dann als Bündel zwischen den Reihen ablegt. Danach schließen sich die entsprechenden Arbeitsgänge der Stammholzlinie an, ggf. in Kombination mit der Hackgutlinie. Die Vorteile der Bündellinien bestehen in erster Linie in der mechanisierten Gewinnung von Pflanzmaterial (bei kurzen Ernteintervallen) und in der guten Lagerfähigkeit der Bündel. Für die Energieträgerproduktion sind diese Verfahren allerdings recht aufwändig und daher meist unwirtschaftlich.

Hackgutlinien (Ernteintervall 1–5 Jahre)

Die geringsten Erntekosten verursachen zweifelsohne die Hackgutlinien, bei denen die Bäume in einem Arbeitsgang gefällt, gehackt und verladen werden. Für die Ernte von Weiden und von 1- bis 3-jährigen Pappeln bis zu einem Schnittdurchmesser von 7 cm (12 cm) werden in der Bundesrepublik derzeit zwei für Doppelreihen vorgesehene Schneidwerke angeboten, die an konventionelle Feldhäcksler angebaut werden können. (Abb. 4). Diese leistungsfähigen, aber teuren und schweren Kombinationen sind in der Regel erst ab Ernteflächen von ca. 300 ha pro Jahr ausgelastet.

Leichtere und preiswertere Ernteaggregate werden zurzeit von der Georg-August-Universität Göttingen und dem Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. entwickelt (SCHOLZ und LÜCKE 2007) (Abb. 5). Diese für den Front- bzw. Heckanbau an



Abb. 4: Feldhäcksler mit Gehölzschneidwerk und Hochkipper bei der Weidenernte



Abb. 5: Prototyp des einreihigen Anbau-Mähhackers bei der Pappelernte

Traktoren vorgesehenen Geräte sind für den 1- und 2-reihigen Betrieb und für Pappeln bis zu einem Schnittdurchmesser von ca. 12 cm geeignet, also für Ernteintervalle von 1 bis 5 Jahren. Aufgrund der verwendeten Schneckenhacker produzieren sie sehr grobes Hackgut, was zwar in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen Probleme bereiten kann, jedoch für die Langzeitlagerung von Vorteil ist (Tab. 2).

Tab. 2: Technische Daten geeigneter Feldholz-Erntemaschinen

	Einheit	Feldhäcksler-Schneidwerk	Anbau-Mähhacker
Basismaschine		Konventionelle selbstfahrende Feldhäcksler ¹⁾	Landwirtschaftliche Schlepper mit Fronthydraulik ²⁾
Leistung	kW	250–450	≥ 75 (≥ 150)
Eigenmasse	t	1,3–2,0	1,2 (2,2)
Masse Basismaschine	t	> 10,8–13,5	≥ 3,8 (≥ 7,0)
Reihenzahl ²⁾	-	2 (1)	1 (2)
Reihenabstände	m	0,75 + ≥1,5	≥ 0,90 bzw. 0,75 + ≥1,75
Effektive Schnittbreite	m	1,0–1,3	0,6 (2,3)
Schnittdurchmesser	mm	≤ 70 (≤120)	≤ 120
Mittlere Hackgutlänge	mm	5–40	50–100
Massedurchsatz ³⁾	t _{TM} /h	≤ 27	≤ 12 (-)
Flächenleistung ³⁾	ha/h	0,4–1,3	0,2–0,5 (-)

¹⁾ Standard-Feldhäcksler mit Forstbereifung, z.T. mit verstärkter Trommel, Unterbodenschutz, ggf. Zusatz-Hydraulik für den Antrieb der Sägeblätter.

²⁾ Die zweireihige Ausführung erfordert einen Schlepper mit Rückfahreinrichtung. Die zugehörigen Angaben stehen in Klammern. Für den Massedurchsatz und die Flächenleistung liegen gegenwärtig noch keine gesicherten Daten vor.

³⁾ Bezogen auf die Hauptzeit, also ohne Stillstands-, Wende-, Rüst- und Wegezeit. Bei Berücksichtigung dieser Nebenzeiten ist die Leistung um ca. 10 bis 40 % geringer.

Das Hackgut wird in einen an die Erntemaschine angehängten, meist jedoch in einen parallel laufenden, von einem separaten Traktor gezogen Anhänger geblasen. Bei kurzen Transportentfernungen bzw. bei der Feldrandlagerung können hierfür die in der Landwirtschaft üblichen Grünstück-Anhänger verwendet werden. Beim Umschlag

in einen Hackschnitzel-Container empfehlen sich allerdings Anhänger mit Hochkippvorrichtung.

4.4 Rodung

Nach der letzten Ernte kann die mit Bäumen bepflanzte Fläche jederzeit wieder in konventionell nutzbare Ackerfläche rückgewandelt werden. Das Roden der Wurzelstöcke kann mit forsttechnischen Mulch- und Rodefräsen erfolgen. Mit dem Mulchgerät wird zunächst der oberirdische Stock zerkleinert. Die Rodefräse dringt 20 bis 40 cm tief in den Boden ein und zerkleinert die Wurzeln. Durch diese beiden Arbeitsgänge wird der Wiederaustrieb fast vollständig unterdrückt. Bilden sich dennoch einzelne Triebe, können diese mit Scheiben- oder Kreiseleggen und/oder geeigneten Folgekulturen bzw. Herbiziden zerstört werden. Nach der Rodung empfiehlt sich eine raschwüchsige Zwischenfrucht mit hohem N-Bedarf, die eine gute Bodenbedeckung und Bindung der freigesetzten Nährstoffe im Sommerhalbjahr gewährleistet. Alternativ ist auch Sommergetreide geeignet.

4.5 Lagerung

Aufgrund des hohen Wassergehaltes von 50 bis 60 % bei der Ernte kommt es in unbelüfteten Hackschnitzelhaufen gewöhnlich innerhalb von 10 Tagen zu einer rasanten Entwicklung von Schimmelpilzen und damit zu einer Temperaturerhöhung auf ca. 60 °C und zu erheblichen Trockenmasserverlusten, die über 30 % pro Jahr betragen können. Die Schimmelpilze, insbesondere die thermophilen Arten, gefährden beim Aus- und Umlagern die Gesundheit des Personals, und die Masseverluste verursachen Einkommens- und i. d. R. auch Energieverluste (Abb. 6).

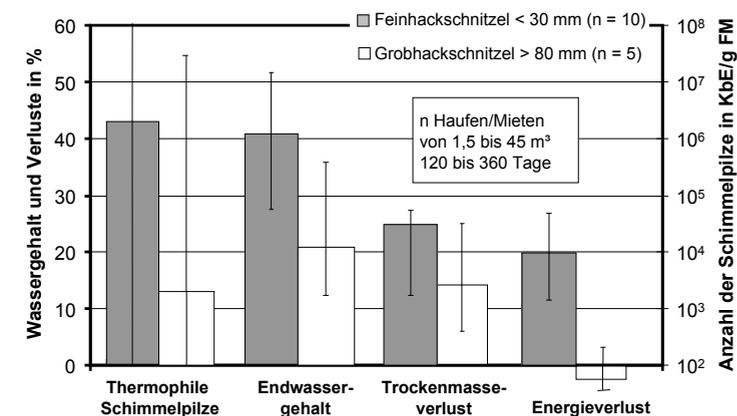


Abb. 6: Wassergehalt, Schimmelpilzbesatz, Trockenmasse- und Energieverluste bei der Lagerung von Pappelhackgut in unbelüfteten Haufen