

Ralf Pecenka¹, Janine Schweier², Hannes Lenz¹

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim

² Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Forstbenutzung

Was kostet die Ernte von KUP? Praxiserprobte Erntetechnologien im Vergleich

1 Einleitung und Problemstellung

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen angelegte Gehölze bieten die Möglichkeit, Biomasse nachhaltig zu produzieren und gleichzeitig die Einkommenssituation in der Landwirtschaft zu verbessern. Unter europäischen Bedingungen besitzen schnell wachsende Baumarten wie Pappeln, Weiden und Robinien in Form von Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsystem ein erhebliches Potential für die Produktion von pflanzlicher Biomasse. Das auf diesen Flächen produzierte Agrarholz wird vorzugsweise für die Erzeugung von Wärme in hofeigenen Anlagen eingesetzt oder als Energieträger an regionale Heiz(-kraft)werke vermarktet. Bisher wurden in Europa ca. 40.000 ha Kurzumtriebsplantagen angelegt, davon ca. 4.700 ha in Deutschland (Ehlert & Pecenka 2013). In durchgeführten Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass für eine nicht nur aus ökologischen Gründen wünschenswerte Erweiterung der Anbaufläche verschiedene Hemmnisse überwunden werden müssen. Es wurde ermittelt, dass in Abhängigkeit von den Biomasseerträgen, der Bewirtschaftung und der Wahl der Erntetechnik 35-60% der Gesamtkosten der Biomasseproduktion in KUP allein auf die Ernte entfallen (Scholz et al. 2008). Um die maschinelle Ernte von Kurzumtriebsplantagen effizienter zu gestalten, gab es in den vergangenen 30 Jahren zahlreiche Lösungsansätze von denen nur wenige bis zur Praxisreife erlangt haben.

2 Praxiserprobte Ernteverfahren für KUP

Ernteverfahren werden üblicherweise nach dem Mechanisierungsgrad, der Kopplung der Teilarbeitsschritte, den vorgegebenen Sortimenten oder nach der Rotationslänge systematisiert (Scholz et al. 2008). Im Folgenden werden verschiedene Ernteverfahren in Abhängigkeit der Kopplung der Teilarbeitsschritte beschrieben.

2.1 Einstufige Ernteverfahren

Die Ernte im einstufigen Verfahren ist national wie auch international eine praxisgängige Lösung. Das Material wird in einem Arbeitsgang gefällt und durch Hacken zerkleinert, d.h. die Hackschnitzel sind erntefrisch und haben einen hohen Wassergehalt von 50-60%. Je nachdem, für welche Verwendung die Hackschnitzel vorgesehen sind, kann deshalb eine anschließende Trocknung der Hackschnitzel nötig werden (Garstang et al. 2002).

Innerhalb der einstufigen Verfahren gibt es zwei verschiedene Systeme, die sich auf dem Markt etabliert haben (Abb. 1):

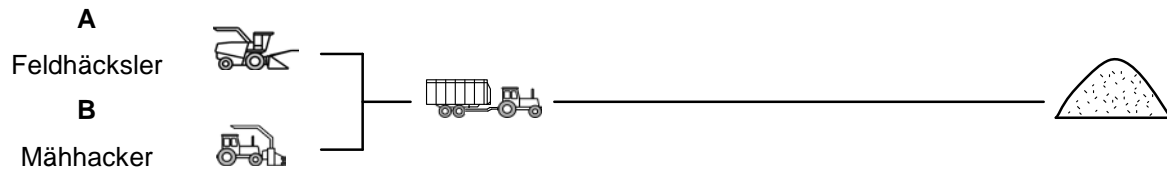


Abb. 1: Einstufige Ernte von Hackschnitzeln aus KUP

A) Selbstfahrende Feldhäcksler

Für die Ernte werden häufig modifizierte selbstfahrende landwirtschaftliche Feldhäcksler eingesetzt, bei denen die Biomasse mit Hilfe eines speziellen Gehölzschneidevorsatzes vom Stock getrennt und anschließend im Häckselaggregat des Feldhäckslers zerkleinert wird. Die Bäume werden dabei unter Vorspannung einer horizontalen Einzugswalze zugeführt. Durch das Vorbiegen können die Bäume jedoch am Stamm brechen, was zu Störfällen führt (Reeg et al. 2009, Wirkner 2010). Bei sehr dichten Beständen (Doppelreihe), mittleren bis längeren Umtriebszeiten (> 3 Jahre) oder älteren Beständen mit sehr breiten Stöcken funktioniert das Prinzip des Vorspannens nicht immer zuverlässig, so dass es hier zusätzlich zu Störungen bei der Materialzufuhr zum Häckselaggregat kommen kann. Neuere Maschinen bzw. Erntevorsätze können Bäume bis zu einem Schnitthalsdurchmesser von ca. 15 cm in Einzel- oder in Doppelreihen ernten. Ältere Systeme sind auf Schnitthalsdurchmessern von 7-8 cm begrenzt. Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass für die Ernte größerer Flächen auch die Verstärkung des Häckselaggregates für die Zerkleinerung der holzartigen Biomasse empfehlenswert ist. Die Gehölzschneidwerke sind für den Anbau an konventionelle leistungsstarke Feldhäcksler konzipiert, wie sie etwa in der Maisernte eingesetzt werden. Das Erntegut weist Partikelgrößen zwischen 16-45 mm (G30) auf und wird über den Auswurf auf einen Anhänger geblasen, der von der Erntemaschine selbst oder einem parallel fahrenden Traktor gezogen wird (Scholz et al. 2009). Anschließend wird das Erntegut direkt zu einem Zwischenlager im Nahbereich oder an den Ort der Verwertung transportiert.

B) Mäh Hacker

Neben den Gehölzschneidevorsätzen für selbstfahrende Feldhäcksler gibt es Mäh Hacker die an Standardtraktoren angebaut oder von diesen gezogen werden. Praxisreife für die Ernte von Pappeln haben bisher Maschinen für den Front- bzw. Heckanbau, so genannte Anbau-Mäh Hacker, erreicht (Ehlert et al. 2013). Diese sind zwar etwas weniger leistungsstark als Feldhäcksler, aber in der Anschaffung deutlich günstiger. Bei den Anbauhackern gibt es verschiedene Bauarten. Der Erntevorgang kann analog zu dem im Abschnitt Feldhäcksler beschriebenen Verfahren (mit gleichen Vor- und Nachteilen) erfolgen (z.B. JENZ GMHT 140). Alternativ gibt es Systeme, bei denen das Hackorgan direkt auf das Sägeblatt montiert ist (z.B. „Göttinger“-Schneckenhacker oder JENZ GMHS 100). Diese Systeme haben den Vorteil, dass die Bäume ohne Vorspannung vertikal eingezogen und gehackt werden können und so Schädigungen der Wurzelstöcke vermieden und auch dichtere bzw. ältere Bestände

geerntet werden können. Systeme mit vertikalem Einzug sind bisher auf die Ernte von in Einzelreihe angebauten Beständen mit Schnitthalsdurchmessern von max. 15 cm beschränkt. Mit Anbau-Mähhackern lassen sich auch Hackschnitzel mit größeren Partikel-längen produzieren (20-100 mm, G50), die in Abhängigkeit von der Lagergestaltung ein günstigeres Lager- und Trocknungsverhalten aufweisen können (Pecenka et al. 2014).

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse verschiedener Studien, welche die Produktivität bekannter Maschinen im einstufigen Verfahren und die damit verbundenen Kosten untersucht haben.

2.2 Zweistufige Ernteverfahren

Die Ernte im zweistufigen Verfahren bietet sich vor allem bei längeren Umtriebszeiten an, wenn die Grenzdurchmesser, die von auf landwirtschaftlicher Technik basierenden Maschinen bewältigt werden können, überschritten werden oder eine Lagerung von Ganzbäumen als vorteilhaft erachtet wird. Innerhalb der zweistufigen Verfahren gibt es drei verschiedene Systeme, die sich auf dem Markt etabliert haben (Abb. 2):

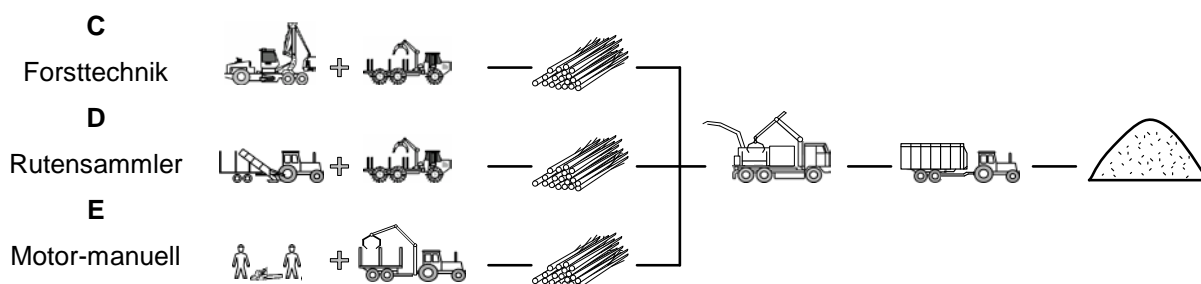


Abb. 2: Zweistufige Ernte von Hackschnitzeln aus KUP

C) Forstliche Holzerntetechnik

Während einstufige Ernteverfahren kontinuierlich mähen und hacken können, werden die Bäume bei der konventionellen forstlichen Holzerntetechnik entweder als ganze, einzelne Bäume oder durch Mehrfach-Fällung gefällt. Dadurch ist dieses Verfahren prinzipiell etwas weniger leistungsfähig. Jedoch können Harvester auch mit Fäller-Bündler-Kopf eingesetzt werden, die mit Hilfe von Greifklauen mehrere Bäume nacheinander greifen, abschneiden und dann als Bündel zwischen den Reihen oder am Feldrand ablegen (z.B. Timberjack TJ 720). Die Hauptprodukte sind Stammabschnitte, die zur stofflichen, aber auch zur energetischen Nutzung verwendet werden können. Es ist auch möglich, ein so genanntes Energieholzfallaggregat (z.B. C 16 a, Bracke) an einen Harvester, Forwarder oder an ein anderes Kranfahrzeug (z.B. Liebherr 314 oder EcoLog 560 C) zu montieren. Die in Tab. 2 dargestellten Leistungskennwerte beziehen sich jeweils auf 7-10 Jahre alte KUP mit entsprechend größeren Durchmessern.

D) Mäh-sammler

KUP können ebenso mit Mäh-sammlern (z.B. Stemster MKIII) geerntet werden. Dabei werden die Bäume in einem Arbeitsgang gefällt und gesammelt, indem sie während die Maschine

über die Reihen fährt kontinuierlich vom Stock getrennt und mit Hilfe einer Laufschiene direkt auf die Ladefläche der Erntemaschine befördert werden. Von dort werden die Bäume bündelweise am Feldrand abgelegt. Für die bessere Auslastung der Erntemaschine ist es ggf. empfehlenswert, für den Transport zum Feldrandlager einen zusätzlichen Rückezug einzusetzen. Das Feldrandlager dient üblicherweise als Zwischenlager zum Zweck der gleichzeitigen natürlichen Trocknung. Die Bäume werden anschließend mit einem mobilen Hacker gehackt. Diese Erntemethode eignet sich für Stämme mit max. 15-20 cm Schnitthalsdurchmesser.

E) Motor-manuell (Motorsäge)

Ist eine Fläche sehr klein oder zersplittert gelegen, so dass ein Großmaschineneinsatz nicht wirtschaftlich ist oder die Fläche aus anderen Gründen, z.B. wegen permanenter Nässe für o.g. Techniken nicht geeignet ist, so bietet sich die motor-manuelle Ernte an. Bei ihr wird in einem ersten Teilarbeitsschritt das Fällen durch einen Motorsägenschnitt oder, je nach Schnitthalsdurchmesser, auch mit einem Freischneider durchgeführt. Üblicherweise wird die Biomasse durch eine zweite Arbeitskraft händisch auf Poltern vorkonzentriert. Die in Tabelle 2 dargestellten Leistungskennwerte beziehen sich jeweils auf die Leistung eines 2-Mann-Teams in einer maximal 6 Jahre gewachsenen KUP. Das Rücken der Biomasse zum Ort der Zwischenlagerung bzw. des später folgenden Hackens erfolgt durch einen Schlepper mit Rungenwagen oder einen Rückezug. Da die Zielsortimente bei der Ernte von KUP in der Regel Hackschnitzel sind, müssen die Rundhölzer, Ruten oder Bündel anschließend mit einem mobilen Hacker zerkleinert werden.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse verschiedener Studien, welche die Produktivität bekannter Maschinen im zweistufigen Verfahren und die damit verbundenen Kosten untersucht haben.

3 Analyse der Erntekosten

Die Praxiserfahrungen mit unterschiedlichen Erntesystemen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass verschiedene leistungsfähige Ernteverfahren entwickelt werden konnten. Die Bereitstellungskosten des Endprodukts Hackschnitzel und damit die Konkurrenzfähigkeit dieses Produktionssystems im Vergleich zu anderen möglichen Optionen in der Landwirtschaft hängen jedoch wesentlich von weiteren Faktoren wie etwa der Gestaltung der Erntelogistik in Abhängigkeit von der Flächenstruktur und der regionalen Verfügbarkeit hierauf abgestimmter Erntemaschinen ab.

Daher wurde am ATB ein Kostenmodell entwickelt, das auf der Grundlage typischer landwirtschaftlicher Anbauflächen, eine vergleichende Analyse der Erntekosten verschiedener Produktionsverfahren und der Auswirkungen einzelner Kostenfaktoren ermöglicht.

Tab. 1: Übersicht der Produktivität und Kosten verschiedener KUP Erntemaschinen im einstufigen Verfahren (exklusive Transport der Hackschnitzel)

	Typ Erntemaschine	Modell	Produktivität Ø [t _{atro} / h GAZ]	Störungen & Verteilzeiten [%]	Kosten [€/ MAS]	Kosten ³ [€/t _{atro}]	Referenz
Einstufige Ernte	Selbstfahrende Feldhäcksler	NH/FB130	10,2-21,7	26	281	12,94-27,55	Schweier & Becker 2012
		NH/FB130	4,20-13,15	1-10	331	25,19-47,30	Kern 2012
		Claas/GB1	Ø 16,1	21	234	Ø 14,60	Spinelli et al. 2009
		Claas/HS2	Ø 7,7	21	203	Ø 26,40	Spinelli et al. 2009
		Claas/GB1	6,7-27,2	0-55,6	232,50 ²	8,55-34,70	Schweier, unveröffentlicht
		Krone/HTM	11,1-23,3	<1	270	11,60-24,2	Spinelli et al. 2011
	Anbau-Mähacker	„Göttinger“	3,39	16	45 ¹	12,27	Burger 2010
		JENZ GMHS 100	6,6-9,9	<25	150	15,30-21,50	Pecenka, unveröffentlicht

¹ Daten von 2004

² Kostensatz aus Heinrich (2006) übernommen

³ atro = absolut trockene Biomasse

Tab. 2: Übersicht der Produktivität und Kosten verschiedener KUP Erntemaschinen im zweistufigen Verfahren (exklusive Rücken oder Hacken)

	Typ Erntemaschine	Modell	Produktivität Ø [t _{atro} / h GAZ]	Störungen & Verteilzeiten [%]	Kosten [€/ MAS]	Kosten ³ [€/t _{atro}]	Referenz
Zweistufige Ernte	Harvester	Valmet 921	7,7-9,55	0-28	110	11,50-14,30	Spinelli et al. 2011
	Harvester	Timberjack 1270A	5,81	11	75 ¹	12,90	Burger 2010
	Harvester	Hitachi EX 165	16,2	13	58	3,60	Schweier et al. 2014
	Motorsäge	Stihl 026	1,62-2,32	19-37	73,73 ²	31,80-45,50	Burger 2010
	Motorsäge	Stihl 026	0,9-1,7	23-44	73,73 ²	43,40-81,90	Schweier & Becker 2012a
	Mähsammler	Stemster MK III	8,1-11,3	2-26	330,34	29,23-40,78	Schweier & Becker 2012b
	Motorsäge & Freischneider	k.A.	0,4-0,7	k.A.	73,73 ²	105,30-184,30	Schneider 1995

¹ es wurde unterstellt, dass beide Arbeitskräfte 35 €/h verdienen und die Betriebsstunde der Motorsäge 3,73 € kostet.

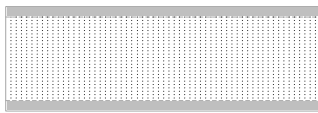
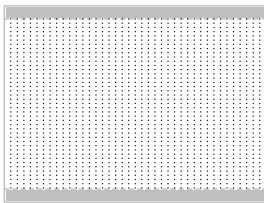
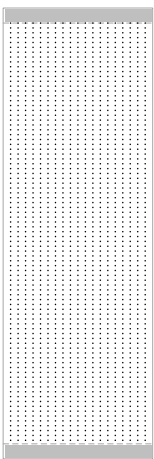
² Daten von 2004

³ atro = absolut trockene Biomasse

3.1 Flächenmodell

Auf der Grundlage der mehrjährigen Erfahrungen aus verschiedenen Ernteuntersuchungen wurde ein Flächenmodell für die Kostenabschätzung typischer KUP-Flächen entwickelt. Ziel dieser Modellierung ist, den Einfluss von Feldgestaltung auf die reale Flächennutzung sowie resultierende Auswirkungen auf erforderliche Wendemanöver, Transportvorgänge und die Auslastung der Erntemaschine in die Berechnung der Erntekosten einzubeziehen. Hierfür wurde eine 3 ha große Modellfläche in 3 verschiedenen Längen-Breiten-Verhältnissen ausgeführt (Tab. 3).

Tab. 3: Gestaltung der 3-ha-Modellflächen für die Erntekostenberechnung

	Feld 1	Feld 2	Feld 3
Feldform			
	<p>.... KUP-Reihe</p> <p>█ 10 m Vorgewende</p>		
Gesamtfläche	3 ha (300 x 100 m)	3 ha (200 x 150 m)	3 ha (100 x 300 m)
Effektive Nutzfläche	2,4 ha (80 %)	2,7 ha (90 %)	2,8 ha (93 %)
Reihenlänge	80 m	180 m	280 m
Reihenabstand	2,4 m	2,4 m	2,4 m
Reihenanzahl	125	63	42

3.2 Leistungsdaten der verschiedenen Erntesysteme für die Modellierung

Für die Analyse der Erntekosten konnte auf verfügbare Daten aus Zeitstudien vergangener Erntekampagnen zurückgegriffen werden (siehe Tab. 1 und 2). In die Berechnungen wurden nicht nur Leistungs- und Kostendaten der verschiedenen Erntemaschinen einbezogen, sondern auch deren Zusammenwirken mit unterschiedlich gestalteten Transportketten und verfahrensspezifische Verluste üblicher Lagersysteme berücksichtigt. Die für die Berechnung zu Grunde gelegten Daten sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengefasst. Da forstliche Ernteverfahren Vorzüge bei längeren Umtriebszeiten aufweisen, wurde für die Analyse dieser Verfahren eine Umtriebszeit von 8 Jahren zu Grunde gelegt (Verfahren C und E, Tab. 5). Bei landwirtschaftlichen Ernteverfahren sollten in Abhängigkeit vom Aufwuchs und der Maschinenbearbeitbarkeit flexible Umtriebszeiten gewählt werden. Für die Modellrechnung

wurde ein Mittel von 3 Jahren gewählt, da in diesem Zeitrahmen alle Verfahren (A, B und D, Tab. 4 und 5) unter vergleichbaren Voraussetzungen eingesetzt werden können.

Tab. 4: Basisdaten für die Erntekostenberechnung einstufiger Ernteverfahren

Ernteverfahren	A	B
Einstufig (Hackguternte)	Feldhäcksler	Anbau-Mähhackler
Flächenleistung (ha/h)	0,64- 0,74	0,42
Ernteleistung ¹⁾ (t _{atro} /h)	15-21	10-12
Wendezeit (s/Reihe)	50	50
Maschinenkosten (€/h)	300	150
Spezifische Transportkosten ²⁾ (€/t _{atro})	5km	10,67
	10 km	15,29
Ernte-/Lager- und Hackverluste (%)	20	20
Umtriebszeit (Jahre)	3	3
Jährlicher Biomassezuwachs (t _{atro} /ha a)	10	10

Alle Leistungen und Kosten bezogen auf Gesamtarbeitszeit/Maschinenarbeitsstunden

¹⁾ atro = absolut trockene Biomasse

²⁾ bezogen auf die einfache Transportentfernung zum Lagerplatz

Tab. 5: Basisdaten für die Erntekostenberechnung zweistufiger Ernteverfahren

Ernteverfahren	C	D	E
Zweistufig (Ruten-/Ganzbaumernte)	Fäller-Bündler	Rutensammler	Motor-manuell
Flächenleistung (ha/h)	0,12	0,67-0,75	0,05
Ernteleistung ¹⁾ (t _{atro} /h)	8,6	16-21	3,6
Wendezeit (s/Reihe)	0	45	0
Maschinenkosten	Erntemaschine (€/h)	95	300
	Rückezug ²⁾ (€/Srm)	3,2	2,9-3,8
	Hacker (€/Srm)	4	4
Spezifische Transportkosten (€/t _{atro})	5km	8,90	8,90
	10 km	11,80	11,80
Ernte-/Lager- und Hackverluste (%)	15	15	15
Umtriebszeit (Jahre)	8	3	8
Jährlicher Biomassezuwachs (t _{atro} /ha a)	10	10	10

Alle Leistungen und Kosten bezogen auf Gesamtarbeitszeit/Maschinenarbeitsstunden

¹⁾ atro = absolut trockene Biomasse

²⁾ Srm = Schüttraummeter

³⁾ bezogen auf die einfache Transportentfernung zum Lagerplatz

4 Ergebnisse

Grundlegende Ergebnisse der vergleichenden Analysen praxiserprobter Ernteverfahren im Zusammenwirken mit den sich anschließenden Transport- und Lagerprozessen sowie der bei zweistufigen Ernteverfahren erforderlichen Nachzerkleinerung mit mobilen Hackern sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tab. 6: Kosten einstufiger und zweistufiger Ernteverfahren unter Berücksichtigung des Transports zum Lagerplatz und Verfahrensverlusten

Ernteverfahren	Erntekosten						
	€/t _{atro}			€/t _{FM} (x=30%) ²⁾			
	Feld 1	Feld 2	Feld 3	Feld 1	Feld 2	Feld 3	
A Feldhäcksler ¹⁾	48,1	45,1	45,1	33,6	31,6	31,6	
B Anbau-Mähhackler ¹⁾	48,6	44,1	42,8	34,0	30,9	30,0	
D Mähssammler (Stemster)	ohne Transport	63,5	57	55,0	44,4	39,9	38,5
	mit Transport ¹⁾	72,3	65,8	63,9	50,6	46,1	44,7
C Fäller- Bündler	ohne Transport	52,4			39,9		
	mit Transport ¹⁾	61,2			46,1		
E Motor-manuell	ohne Transport	50,5			35,3		
	mit Transport ¹⁾	59,3			41,5		

Alle Kosten ohne Anfahrtskosten für Erntemaschinen

1) Transportentfernung 5 km

2) FM = Frischmasse, x = Wassergehalt

Zweistufige Ernteverfahren weisen vorrangig aufgrund des erforderlichen zusätzlichen Schrittes des Nachzerkleinerns mit mobilen Hackern höhere Verfahrenskosten auf. Diese können nur zum Teil durch Vorteile wie z.B. leicht reduzierte Lagerverluste und geringere Transportaufwendungen kompensiert werden. Bei allen Berechnungen wurden zunächst keine Anfahrtskosten für Maschinen von Lohnunternehmen berücksichtigt, weil diese stark von regionalen Bedingungen abhängen. Hohe Anfahrtskosten können zu einer erheblichen Steigerung der Gesamtkosten führen. Dies gilt insbesondere für die zweistufigen Ernteverfahren, da hier mehrere Maschinen in einer Verfahrenslinie zum Einsatz kommen. Bei sehr kleinen und für den Einsatz leistungsfähiger Erntemaschinen ungünstig zugeschnittenen Flächen stellt daher die motor-manuelle Ernte bei längeren Umtriebszeiten (> 5 Jahre) eine interessante Option dar (Verfahrenskosten - WG 30, G 30: ca. 35 €/t_{FM} – ohne Transport). Der Einsatz von Feldhäckslern oder Anbau-Mähhackern ermöglicht die Produktion von Hackschnitzeln zu niedrigsten Kosten (Verfahrenskosten - WG 30, G 30: 30 ... 34 €/t_{FM} – einschließlich 5 km Transport zum hofeigenen Lager). Aufgrund der zusätzlichen Anfahrtskosten können Feldhäcksler vorzugsweise für die Ernte größerer oder regional dichter verteilter Flächen zum Einsatz kommen. Der Einsatz von Anbau-Mähhackern führt zu ähnlichen Kosten wie die Feldhäcksler-basierten Lösungen. Ihr Einsatz ist jedoch bereits auf kleineren Flächen wirtschaftlich und bietet verbunden mit einer möglicherweise besseren regionalen Verfügbarkeit aufgrund deutlich niedrigerer Anschaffungs- und Betriebskosten bzw. reduzierten Anfahrtskosten bei der Ernte durch Lohnunternehmen weitere Vorteile.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Marktpreise für gelagerte Hackschnitzel unterliegen starken regionalen Schwankungen. Legt man einen Hackschnitzelpreis von 60 €/t_{atro} zu Grunde, so können sowohl mit einstufigen als auch zweistufigen Ernteverfahren attraktive Erlöse mit Hackschnitzeln aus KUP auf landwirt-

schaftlichen Flächen generiert werden. Im Verkaufspreis müssen jedoch die zusätzlichen Kosten der Flächenanlage, Pflege in den ersten Jahren und der Rückumwandlung berücksichtigt werden. Wesentlichen Einfluss auf die Wahl des Ernteverfahrens haben sowohl die regionale Verfügbarkeit von Erntemaschinen als auch die Lage und der Zuschnitt der Anbauflächen. Feldhäcksler stellen eine sehr leistungsfähige Lösung für große Anbauflächen dar. Die motor-manuelle Ernte bietet höchste Flexibilität auf kleinen Flächen bei akzeptablen Produktionskosten. Anbau-Mäh Hacker ermöglichen ähnlich niedrige Hackschnitzelkosten wie Feldhäcksler-basierte Lösungen. Zukünftige Vorteile dieser Erntelösung können in der besseren regionalen Verfügbarkeit und gesteigerter Flexibilität gesehen werden.

6 Literatur

- Burger F.J. 2010. Bewirtschaftung und Ökobilanzierung von Kurzumtriebsplantagen. Dissertation. Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik: Technische Universität München. 180 S.
- Ehlert D., Pecenka R. 2013. Harvesters for short rotation coppice: current status and new solutions. *International Journal of Forest Engineering*; 24(3),170-182
- Garstang, J., Weekes, A., Poulter, R., Bartlett, D. 2002. Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. DTI/Pub URN 02/1535. London: First Renewables Ltd. for DTI. pp 119.
- Kern C. 2012. Untersuchung zu Produktivitäten und Kosten der Holzernte in Kurzumtriebsplantagen mit dem New Holland Feldhäcksler FR 9060 auf verschiedenen Flächen. BSc-Arbeit. Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 85 S.
- Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. 1. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.). Darmstadt. 372 S.
- Pecenka R., Lenz H., Idler C., Daries W., Ehlert D. 2014. Development of bio-physical properties during storage of poplar chips from 15 ha test fields. *Biomass & Bioenergy* 65, 13-19.
- Reeg T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (Hrsg.). 2009. Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley- VCH. Weinheim. 255 S.
- Schneider, I. 1995. Statusbericht „Praxisversuch Energieproduktion und -verwertung“. Bewirtschaftung, Ernte und Verwertung von Pappel- und Weiden in Kurzumtrieb. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.).
- Schweier J., Becker G. 2012a. New Holland forage harvester's productivity in short rotation coppice: evaluation of field studies from a German perspective. *International Journal of Forest Engineering* 23, 82-88
- Schweier J., Becker G. 2012b. Manuelle Ernte von Kurzumtriebsplantagen in Südwestdeutschland. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 183 (7/8), 159-167.
- Schweier J., Becker G. 2012c. Harvesting of Short Rotation Coppice - Harvesting Trials with a Cut and Storage System in Germany. *Silva Fennica* 46(2), 287-299
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2009. Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations. *Biomass & Bioenergy* (33)5, 817-821.
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Picchi, G., Lombardini, C., Nati, C. 2011. Upsized harvesting technology for coping with the new trends in short-rotation coppice. *Applied Engineering in Agriculture* 27(4), 551-557
- Spinelli R., Schweier J., De Francesco F. 2012. Harvesting techniques for non-industrial biomass plantations. *Biosystems Engineering* 113(4), 319- 324.
- Scholz V., Boelke B., Burger F., Hofmann M., Hohm C., Lorbacher F.R. 2008. Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. KTBL- Heft 79. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

Scholz V.; Eckel H.; Hartmann S. 2009. Verfahren und Kosten der Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen. KTBL-Schrift 476, 67-80

Wirkner R. 2010. Energieholzproduktion im Kurzumtrieb – Chancen und Probleme bei ihrer Umsetzung. Eine Analyse unter Einbeziehung von Experteninterviews. Dissertation. Technische Universität Cottbus, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik. (Hrsg.). 249 S.

Kontakt

Dr.-Ing. Ralf Pecenka

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

Tel.: +49 331 5699-312

E-Mail: rpecenka@atb-potsdam.de

und

Dr. Janine Schweier

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Professur für Forstbenutzung

Werthmannstraße 6

D-79085 Freiburg

Tel.: +49 761 203-3808

E-mail: janine.schweier@fobawi.uni-freiburg.de