

Detlef Ehlert, Ralf Pecenka und Jens Wiehe

Neues Prinzip eines Mähhackers für Kurzumtriebsplantagen

Gegenwärtig auf dem Markt verfügbare Mähhackers für Kurzumtriebsplantagen (KUPs) auf Basis von Feldhäckslern haben Nachteile hinsichtlich der Maschinenmasse und der hohen Investitionskosten. Traktorgebundene Geräte sind bisher nur begrenzt leistungsfähig. Um einen Beitrag zur Erweiterung des Angebots kostengünstiger Erntetechnik zu leisten, wurde ein neuartiges Prinzip eines traktorbasierten Mähhackers für einreihige KUPs entwickelt, der sich durch einen einfachen Aufbau und ein breites Einsatzspektrum auszeichnet.

Schlüsselwörter

Kurzumtriebsplantagen, Mähacker, Forschungsmuster

Keywords

Short rotation coppices, mower-chipper, research version

Abstract

Ehlert, Detlef; Pecenka, Ralf and Wiehe, Jens

New principle of a mower-chipper for short rotation coppices

Landtechnik 67 (2012), no. 5, pp. 332–337, 4 figures, 2 tables, 14 references

Currently commercial available mower-chipper for short rotation coppices (SRC) based on forage harvesters are very expensive in machine mass and investment costs. Tractor-based devices are limited due to technological applicability. Contributing to an extension of economical harvest technique, a novel principle of a tractor-based mower-chipper was developed. It is characterized by a simple construction and wide range of applicability.

■ Als Folge begrenzter fossiler Energiemengen, der Erderwärmung und von Sicherheitsproblemen in Kernkraftwerken ist sowohl die stoffliche als auch die energetische Nutzung von Biomasse im öffentlichen Interesse. 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 ein erhebliches Potenzial für die Produktion von pflanzlicher Biomasse. Aus diesem Grund wurden in Europa bisher auf ca. 40 000 ha Kurzumtriebsplantagen angelegt, davon in

Deutschland auf ca. 4 700 ha [1]. In Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass einer Erweiterung der Anbaufläche noch einige Probleme entgegenstehen. So wurde ermittelt, dass in Abhängigkeit von den Biomasseerträgen und der Bewirtschaftungstechnologie 35–60 % der Gesamtkosten auf die Ernte entfallen [2; 3; 4]. Um die maschinelle Beerntung von Kurzumtriebsplantagen zu ermöglichen, gab es in den vergangenen 30 Jahren zahlreiche Lösungsansätze, von denen allerdings nur einige über das Stadium von Prototypen hinausgekommen sind.

Gegenwärtig verfügbare Technik

Eine Analyse des derzeitigen Standes der Erntetechnik für Kurzumtriebsplantagen ergibt, dass grundsätzlich vier Gruppen von technologischen Linien existieren:

- die Stammlinie
- die Bündellinie
- die Hackschnitzzellinie
- die Ballenlinie

Zur Bewertung der einzelnen Linien sind in der Vergangenheit zahlreiche Veröffentlichungen erschienen, in denen neben der Analyse von Vor- und Nachteilen auch Verfahrenskosten und erzielte Ernteleistungen gegenübergestellt wurden [5–11]. Zusammenfassend lässt sich daraus ableiten, dass hohe Investitionskosten für die Erntetechnik, geringe Flexibilität bezüglich der Anpassung an die Erntebedingungen sowie hohe Maschinenmassen bei dem Befahren der Plantagen die Hauptprobleme darstellen. Unter dem Aspekt weniger Prozessschritte und geringer Erntekosten wird die Hackschnitzzellinie mit Mähhackern als vorteilhaft eingeschätzt. Hier erfolgt das Mähen, Hacken und Fördern der Hackschnitzel auf ein Transportmittel mit einer Maschine ohne Fahrtunterbrechung. Falls mit derartigen Maschinen die spezifischen Anforderungen hinsichtlich der Hackschnitzelqualität erfüllt werden können, sind keine weiteren Prozessschritte zur Aufbereitung bis zur energetischen Nutzung erforderlich. Aufgrund dieser Vorteile steht in diesem Beitrag die Analyse des Entwicklungsstandes von Mähhackern im Fokus.

Für die Beerntung von Kurzumtriebsplantagen können die Mäh Hacker in drei Gruppen eingeordnet werden:

- Mäh Hacker auf adaptierter Basismaschine
- Mäh Hacker auf Basis von Feldhäckslern
- Mäh Hacker als Traktor mit Zusatzgeräten

Mäh Hacker auf adaptierten Basismaschinen besitzen spezifische Mäh- und Hackwerkzeuge, die auf Fahrgestelle von vorhandenen selbstfahrenden Maschinen bzw. deren Baugruppen aufgebaut wurden. Sie existieren bisher vorwiegend als Forschungsmuster bzw. Prototypen und werden daher in diesem Beitrag nicht näher vorgestellt.

Mit Mäh Hackern auf Basis von Feldhäckslern wird der überwiegende Anteil der KUP-Flächen beerntet; sie haben gegenwärtig die größte Bedeutung. Diese Maschinen bestehen aus einem speziellen Mähvorsatz und der Basismaschine eines leistungsfähigen Feldhäckslers. Bedeutende Hersteller wie Claas, John Deere, Krone oder New Holland bieten eine derartige Lösung an, um u. a. das Einsatzspektrum und die jährliche Einsatzzeit ihrer Feldhäckslers zu erweitern. Mit dieser Erntetechnik können hohe Flächenleistungen erzielt werden; die durchschnittlichen Investitionskosten sind mit ca. 420.000 € und die Maschinenmassen mit ca. 15 t allerdings recht hoch. Um wirtschaftlich zu arbeiten, sind mindestens 300 ha jährliche Erntefläche erforderlich [12].

Mäh Hacker als traktorbetriebene Zusatzgeräte stellen eine kostengünstige Alternative gegenüber Lösungen auf Basis von Feldhäckslern dar (**Tabelle 1**). Sie besitzen Eigenmassen von 0,9 bis 3,5 t und können mit Standardtraktoren der mittleren bis oberen Leistungsklasse betrieben werden. Diese haben Eigenmassen von 6 bis 8 t, teilweise darüber. Insgesamt sind bei den traktorbasierten Maschinen im Vergleich zu der Lösung mit Feldhäckslern sowohl die Investitionskosten als auch die Eigenmassen um 50 % geringer.

Werden die verfügbaren Mäh Hacker hinsichtlich der gemachten Einsatzerfahrungen bewertet, so lässt sich schlussfolgern, dass weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

erforderlich sind, um Landwirten und Dienstleistern eine verbesserte kostengünstige Erntetechnik für KUPs zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund wurde am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. das Prinzip eines einfachen und kostengünstigen Mäh Hackers entwickelt, der mit Standardtraktoren der mittleren bis oberen Leistungsklasse wirtschaftlich betrieben werden kann.

Dazu wurden folgende Anforderungen gestellt:

- Möglichkeit des universellen Anbaus an Standardtraktoren (Front-, Heck- und Seitenanbau)
- Eignung für die Ernte von Pappeln, Weiden und Robinien in einreihigen Beständen
- Beerntung von KUPs bis zu einem Stammdurchmesser von 15 cm
- Geringer spezifischer Energieaufwand
- Variierbare Häcksellängen bis zu 100 mm Länge (Grobhackgut)
- Verbleib der Bäume während des Mähens und des Häckselns in senkrechter Ausrichtung
- Richtwert für Eigenmasse: 1 000 kg

Basierend auf der Analyse der vorhandenen Literatur und den eigenen Erfahrungen mit Mäh Hackern wurde am ATB neuartigen – bisher nicht vorgestellten – Lösungsansätzen nachgegangen. Grundsätzlich stand ein einfaches und kostengünstiges Gerät im Fokus, die gleichzeitig in Land- und Forstbetrieben vorhandene Basistechnik in Form von Standardtraktoren nutzen.

Richtungsweisend war ein an der Universität Göttingen entwickelter Mäh Hacker [13; 14], der im Frontanbau an Standardtraktoren betrieben werden konnte. Das Gerät mähte während der Fahrt mit einem Sägeblatt (Durchmesser: 1 000 mm) die Bäume in vertikaler Ausrichtung ab und zerkleinerte sie mittels einer konischen Schnecke. Sowohl Sägeblatt als auch Schnecke befanden sich als kompakte Einheit auf einer gemeinsamen, annähernd senkrecht stehenden Rotationsachse. Infolge der hohen Drehzahl von ca. 1 000 min⁻¹ und entsprechend angeordneten Wurfelementen konnten die Transportfahrzeuge

Tab. 1

Marktverfügbare Mäh Hacker für Traktoren zur Beerntung von KUPs

Table 1: Commercial available mower-chippers for tractors for harvest in SRCs

Maschinenbezeichnung Name of machine	Masse/Mass [kg]	Preis/Price [€]	Reihenordnung/max. Stammdurchmesser Arrangement of rows/max. diameter of trunks
Jenz/Schmidt GMHT 140	3 500	85.000	Für Einzel- und Doppelreihen For single and double rows 140 mm
NYVRAA JF 192	900	21.000	Einzelreihen/Single rows 50-60 mm
NYVRAA JF Z20	1 500	28.000	Doppelreihen/Double rows 30-40 mm
EBF Dresden	3 500	>100.000	Doppelreihen/Double rows 170 mm
Erforderliche Standardtraktoren Needed standard tractors 75-200 kW	6 000-8 000	75.000-150.000	

Abb. 1

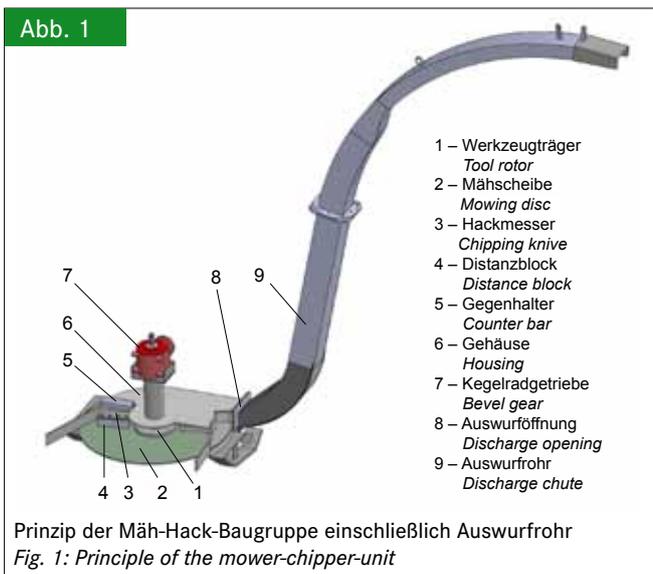


Abb. 2



ohne zusätzliche Wurfbeschleunigung über ein Auswurfrohr beschickt werden. Eines dieser Geräte wurde u. a. für die Beernung der am ATB im Jahre 1994 etablierten KUP mit Weiden und Pappeln eingesetzt. Beim Betreiben des Gerätes stellte sich heraus, dass die Führung und Aufnahme der abgeschnittenen Bäume bzw. Ruten sowie der Einzug in die Schnecke Probleme bereiteten. Des Weiteren kam es häufig zu Verstopfungen im Auswurfrohr und zu sehr unterschiedlichen Hacksellängen, die zusätzlich die Verstopfungsneigung erhöhten. Mit abnehmender Schärfe der Schneidwendeln auf der Schnecke stieg einerseits der Leistungsbedarf und sank andererseits die Qualität der Hackschnitzel.

Unter Einbeziehung eigener Erfahrungen, auf Maschinenvorfürungen gewonnener Erkenntnisse und der mit dem Schneckenhacker gesammelten Ergebnisse wurde schrittweise in den Jahren 2009–2011 am ATB ein neues Prinzip für einen Mähhacker entwickelt. Im Folgenden wird dieses vorgestellt.

Das Funktionsprinzip

Die Mäh-Hack-Baugruppe

Die Mäh-Hack-Baugruppe als zentrale Einheit besteht aus einem Werkzeugträger (1) in Form eines Rotors mit annähernd senkrechter Drehachse (**Abbildung 1**). Dieser Werkzeugträger ist im unteren Bereich derart ausgebildet, dass eine kreisringförmige Mähscheibe (2) montiert ist, die an ihrer Außenkante Sägezähne aufweist. Auf dieser Scheibe sind in annähernd radialer Anordnung Hackmesser (3) mit darunter angeordneten Distanzblöcken (4) angebracht, wodurch die Länge der Hackschnitzel begrenzt wird. Durch die Sägewirkung der Scheibe und die Überlagerung mit der Vorfahrtbewegung werden die Bäume oberhalb der Erdoberfläche abgeschnitten. Unmittelbar nach dem Mähvorgang wird der abgeschnittene Baum durch die Förderwirkung des Hackmessers mit dem Distanzblock in Richtung Gegenhalter (5) gefördert und dort zerkleinert. Die erzeugten Hackschnitzel werden nun vom Hackmesser mit dem Distanzblock – die zusammen wie eine Wurfschaufel wirken – infolge der Zentrifugalbeschleunigung nach außen bis an die Gehäusekante (6) abgegeben bis sie nach einem Drehwinkel von ca. 90° die Auswurföffnung im Gehäuse (8) verlassen. Da der Werkzeugrotor mit einer Nenndrehzahl von 1000 min⁻¹ angetrieben wird, verlassen die Hackschnitzel die Auswurföffnung mit einer Geschwindigkeit von ca. 40 ms⁻¹ in Richtung Auswurfrohr (9). Im Gegensatz zu den Häckslern in der Land- und Forsttechnik erfolgt bei dieser Lösung nicht nur eine einmalige Gutumlenkung um 90°, sondern eine zweimalige um annähernd 90°. Der Querschnitt des Auswurfrohres beträgt 175 x 175 mm.

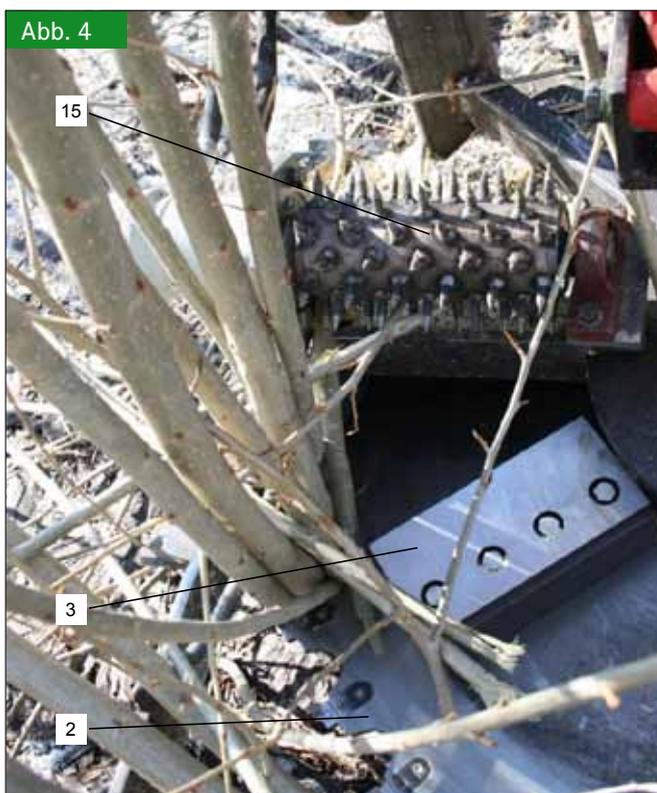
Die Aufnahmeeinrichtung

Während der durchgeführten Tests stellte sich heraus, dass die abgeschnittenen Bäume seitlich und nach vorn umfallen und daher nicht von den Hackmessern zerkleinert werden konnten. Des Weiteren zeigte sich, dass die Mäh-Hack-Baugruppe ohne zusätzliche Maßnahmen nicht in der Lage ist, die Bäume bis zur vollständigen Zerkleinerung einzuziehen. Insbesondere war die Zuführung im Bereich der Kronen sowie bei ausgeprägten Ästen nicht gewährleistet.

Um das Umfallen der abgesägten Bäume zu verhindern, wurde ein teleskopierbarer Mast (10) aus Quadratrohr angebracht (**Abbildung 2**). Dieser wurde in einer ersten Ausführung nur mit gabelförmigen Auslegerarmen bestückt (11), die das Umfallen in seitliche Richtung verhindern konnten. Gegen ein Umfallen nach vorn in Fahrtrichtung erzielten die Auslegerarme nicht die erforderliche Wirkung. Um die Aufnahmewirkung zu verstärken, wurden die beiden Auslegerarme zusätzlich mit Sternrädern bestückt. In einer Ausführung kamen Klemmrollenfreiläufe zum Einsatz, die infolge der Vorwärtsbewegung



Anordnung von Elementen zur Materialaufnahme und -zuführung
Fig. 3: Arrangement of elements for uptake and feeding of material



Stachelwalze für die Materialzuführung
Fig. 4: Roller with spikes for feeding of material

einerseits ein Mitdrehen der Sternräder durch den Kontakt mit den stehenden Bäumen ermöglichten und andererseits infolge der Sperrwirkung in der Gegenrichtung ein Herausfallen nach vorn vermeiden sollten. Durchgeführte Tests zeigten, dass die Förderwirkung der passiv mitlaufenden Sternräder nicht ausreicht, um die abgeschnittenen Bäume sicher in der senkrechten Position zu halten. Zur Verstärkung der Förderwirkung der Sternräder wurden in einer zweiten Ausführung die beiden Sternräder hydraulisch durch zwei Orbitalmotoren angetrieben. Mit dieser Maßnahme konnte die Einzugswirkung entscheidend verbessert werden. Es zeigte sich allerdings in doppelreihigen und einreihigen KUPs mit geringem Reihenabstand, dass sich das rechte Sternrad (in Fahrtrichtung) in der verbleibenden Nachbarreihe verfängt. Um dieses zu verhindern, wurde dieses Sternrad entfernt und der Auslegerarm mit einem Fanghaken versehen, der das Herausfallen nach vorn in Fahrtrichtung verhindern sollte (**Abbildung 3**). Mit der beschriebenen Anordnung, bestehend aus teleskopierbarem Mast, Auslegerarmen und Sternrad (12), wurde die Voraussetzung geschaffen, die abgesägten Bäume in der senkrechten Position zu halten, um sie dann in vertikaler Richtung den Hackmessern zuzuführen.

Die Zuführeinrichtung

Trotz der Aufnahmeeinrichtung konnte die sichere Zuführung der abgesägten Bäume zu den Hackmessern allein durch die wirkende Schwerkraft nicht erreicht werden. Es musste eine Lösung gefunden werden, die horizontale Bewegung der abgeschnittenen Bäume in eine vertikale Vorschubbewegung zu überführen. Diese Aufgabe stellte die größte Herausforderung bei der Entwicklung des neuen Mähhackers-Prinzips dar.

Eine erste Lösungsvariante, die vertikale Vorschubbewegung zu unterstützen, bestand in der Anordnung einer Schnecke (13) mit vertikaler Drehachse im Bereich oberhalb des Gegenhalters. Da die erforderliche Förderwirkung nicht reichte, wurde eine zweite Schnecke (14) mit entgegengesetzter Drehrichtung angebracht (**Abbildung 2**). Auch diese Variante erbrachte nicht die angestrebte Förderwirkung. Eine weitere Variante bestand in einer hydraulisch angetriebenen Stachelwalze (15) mit horizontaler Drehachse, die unmittelbar über dem Gegenhalter angebracht wurde (**Abbildung 4**). Damit sollte erreicht werden, dass infolge der Kraftwirkung beim Hackvorgang der Stamm bzw. die Äste des Baumes in die Stacheln gedrückt und somit die notwendige Vorschubbewegung erzeugt wird. Hier konnte eine gewisse Vorschubwirkung beobachtet werden, die allerdings häufig unterbrochen wurde, da die Bäume beim Hackvorgang zurücksprangen und somit aus dem Einzugsbereich der Stacheln gerieten.

Nachdem erkannt wurde, dass eine absolute Zwangszuführung des zu zerkleinernden Materials unumgänglich ist, wurde im Bereich vor dem Gegenhalter ein hydraulisch angetriebenes Walzenpaar angeordnet (**Abbildung 3**). Die äußere Walze (16) wurde starr gelagert und die innere (17) an einer Schwinge aufgehängt. Um einen definierten Anpressdruck zu erzeugen, kam

eine bezüglich der Vorspannkraft einstellbare Zugfeder zum Einsatz, die mit der Schwinge verbunden war. Um ein seitliches Eindringen des abgesägten Stammes zwischen die Einzugswalzen zu ermöglichen, wurden schraubenförmige Wendeln aus Rundstahl an die Einzugswalzen geschweißt, die ein Öffnen des Spaltes zwischen den beiden Einzugswalzen ermöglichten. Mit dieser Lösung konnte sowohl die horizontale Zuführung des Stammes zwischen die Einzugswalzen als auch die vertikale Vorschubbewegung realisiert werden. Um die Förder- und Einzugsfunktion des Walzenpaares zu verbessern, wurde an Stelle der Wendel aus Rundstahl die äußere Walze durch eine robuste Schnecke (16) verlängert. Die Schnecke ist vor der Walze auf gleicher Drehachse und mit gleichem Außendurchmesser angeordnet, sodass in der ersten Phase die abgesägten Bäume durch die Schneckenwendeln der Walze zwangsweise zugeführt werden (**Abbildung 3**).

Während der Erprobung wurde beobachtet, dass das zu zerkleinernde Material, nachdem es den Bereich zwischen den Auslegerarmen verlassen hat, nicht mehr ausreichend geführt wird. Um die Materialführung im Bereich unterhalb der Auslegerarme zu verbessern, wurde eine zusätzliche Führungseinrichtung oberhalb der Einzugswalzen angeordnet (**Abbildung 3**). Diese Führungseinrichtung besteht aus einem U-förmig gebogenen Rohrrahmen (18) mit einer Fangeinrichtung (19), die sich durch den Druck der eingezogenen Bäume öffnet. Nachdem der Baum die Fangeinrichtung passiert hat, schließt sich diese wieder, sodass ein nahezu geschlossener Führungsrahmen entsteht, der ein Umfallen des zu zerkleinernden Materials weitgehend verhindert.

Tab. 2

Technische Daten zum Mähacker (ATB-Forschungsmuster)
Table 2: Technical data for the mower-chipper (ATB-research version)

Parameter / Parameter	Wert / Value
Ausführungsform Basic type	Traktoranbaugerät (Frontanbau) Tractor front mounted
Eigenmasse Weight	ca. 600 kg
Durchmesser der Mähscheibe Diameter of mowing disc	1 020 mm
Drehzahl des Werkzeugträgers Rotation speed of tool rotor	1 000 min ⁻¹
Anzahl der Zähne Number of teeth	34
Gesamt-Antriebsleistungsbedarf Total power consumption	> 75 kW
Max. Stammdurchmesser Max. diameter of trunks	15 cm
Fahrgeschwindigkeit im Hackvorgang ¹⁾ Ground speed while chipping ¹⁾	3 ... 5 kmh ⁻¹
Spezifischer Energieaufwand ¹⁾ Specific energy consumption ¹⁾	3 ... 5 kWh · tM ⁻¹

¹⁾ Ermittelt in 2- und 4-jährigen Pappelbeständen / estimated in 2- and 4-years old poplars.

Schlussfolgerungen

Der als Forschungsmuster dargestellte Anbau-Mähacker für Traktoren mit den in **Tabelle 2** aufgeführten technischen Daten wurde in verschiedenen KUPs in Deutschland getestet. Es zeigte sich, dass das Belassen der Bäume in einer annähernd senkrechten Position während des Mähens und Hackens vorteilhaft ist. Ein Herausbrechen der Wurzelstöcke aus dem Boden konnte vermieden werden, da – wie bei den meisten anderen Lösungen – die Bäume nicht während des Mähens in Fahrtrichtung gebogen werden. Die an den Stubben hinterlassenen Schnittflächen waren eben und wiesen eine geringe Rauigkeit auf. In den Einsatzuntersuchungen wurden Pappeln bis zu einer Höhe von 10 m und Durchmessern von 15 cm geerntet. Da die Ernte mit nur zwei Hackmessern und Distanzblöcken erfolgte, die eine Höhe der Messerschneiden von 75 mm über der Scheibe bewirkten, wurden relativ lange Hackschnitzel erzeugt. Von entscheidender Bedeutung für den Anteil von Überlängen ist eine exakte senkrechte Ausrichtung des zu hackenden Materials. Die Stämme starker und hoher Bäume in der Aufnahmeeinrichtung senkrecht zu halten und dabei ein Hackgut ohne Überlängen zu erzeugen, stellt i. d. R. kein Problem dar. Erst wenn kurze und dünne Ruten oder Äste in den Bereich der Hackmesser kommen, besteht die Gefahr, dass sie die annähernd vertikale Ausrichtung verlieren und somit in Querlage geraten (20) (**Abbildung 3**). Die Folge sind Überlängen, die bei nachfolgenden Förder- und Dosierprozessen (z. B. in der Heizanlage) zu Problemen führen können. Hier sind durch entsprechende Gestaltung der Einzugswalzen oder durch zusätzliche Maßnahmen zur Materialführung zukünftig noch Verbesserungen anzustreben.

Aus der Eigenmasse des Forschungsmusters von nur 600 kg lässt sich abschätzen, dass es nicht für den Dauerbetrieb ausgelegt wurde, sondern lediglich als Forschungsmuster für die Entwicklung eines neuen Erntepinzips diente. Für ein auf Dauerbetrieb unter Praxisbedingungen ausgelegtes Gerät ist eine Eigenmasse von etwa 1–1,5 t notwendig.

Aufgrund der überzeugenden Geräteparameter und der erzielten Einsatzergebnisse des Forschungsmusters sind bereits Schritte unternommen worden, den Mähacker zukünftig in das Produktionsprogramm eines mittelständischen Unternehmens zu integrieren.

Literatur

- [1] Hartmann, H. (2012): KUP-Modellprojekt AGRODEM II. Fachtagung KUP-Energieholz vom Acker. Fachtagung Bioenergie-Partnerschaften 21.02.2012, Rheinsberg, http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/brandenburg-berlin/images/Veranstaltungen/L_Tour_2012/2012_02_21_HNEE_B3_Workshop_Rheinsberg.ppt, Zugriff am 04.09.2012
- [2] Heiß, M. (2005): Auf Kurzumtriebsflächen erzielbare Deckungsbeiträge in Österreich. Fachtagung Energieholzbereitstellung 4.11.2005 Wieselburg, Österreich, S. 21-23
- [3] Bach, H. (2007): Willow production and marketing in Denmark. Bornimer Agrartechnische Berichte 61, S. 152-157
- [4] Scholz, V. (2007): Mechanization of SRC production. Bornimer Agrartechnische Berichte 61, S. 130-143
- [5] Stokes, B.; Hartsough, B. (1994): Mechanization in short rotation intensive culture (SRIC) forestry. In: Proceedings of 6th national bioenergy conference. Reno/Sparks, NV: Western Regional Biomass Energy Program, pp. 309-316, http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/biomass_cd/Publications_by_author.htm, Zugriff am 16.08.2011

- [6] Hartsough, B.; Yomogida, D. (1996): Compilation of state-of-the-art mechanisation technologies for short-rotation woody crop production. Davis: University of California, Biological and Agriculture Engineering Department, p. 66
- [7] Hartsough, B.; Stokes, B.J. (1997). Short rotation forestry harvesting - systems and costs. In: Proceedings of the 1997 International Energy Agency Bioenergy task 7, activity 2.1 and activity 4.3 workshop. Melrose, Scotland, UK: Border Biofuels Limited, p. 8
- [8] Scholz, V.; Block, A.; Spinelli, R. (2008): Harvesting Technologies for Short Rotation Coppice - State-of-the-Art and Prospects. AgEng 2008 Kreta, Greece, p. 61
- [9] Mitchell, D. (2010): Technologies for harvesting short rotation woody crops. US Forest Service, Southern Research Station, 8th Biennial Short Rotation Woody Crops Operations Working Group, 18-19.10.2010 Syracuse, USA, http://www.esf.edu/outreach/pd/2010/srwc/documents/Mitchell_TechnoHarvest.pdf, Zugriff am 04.09.2012
- [10] Abrahamson, L.P.; Volk, T.A.; Castellano, P.; Foster, C.; Posselius, J. (2010): Development of a Harvesting System for Short Rotation Willow & Hybrid Poplar Biomass Crops. SRWCOWG Meeting, Syracuse, NY, October 18th 2010
- [11] Lindner, M.; Grosa, A.; Firus, S.; Herlizius, Th. (2011): Konzept für ein Gesamtverfahren der Energieholzproduktion aus Kurzumtriebsplantagen - Teil 1. Landtechnik (1), S. 30-33
- [12] Scholz, V.; Eckel, H.; Hartmann, S. (2009): Verfahren und Kosten der Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen. In: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL-Schrift 476, S. 67-80
- [13] Wegener, T.; Block, A. (2006): Selbstschneidender Schneckenhäcksler zur vollmechanisierten Landschaftspflege. Landtechnik (61)3, S. 142-143
- [14] Wieneke, F. (1997): EP 0562406 B1

Autoren

Dr.-Ing. Detlef Ehlert ist Abteilungsleiter im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: dehlert@atb-potsdam.de

Dr.-Ing. Ralf Pecenka ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: rpecenka@atb-potsdam.de

Dipl.-Ing. (FH) Jens Wiehe ist technischer Leiter in der JENZ GmbH Maschinen- und Fahrzeugbau, Wegholmer Str. 14, 32469 Petershagen, E-Mail: j.wiehe@jenz.de