

Verschiedene Erntemethoden für Kurzumtriebsplantagen

Ergebnisse aus der Praxis

Verschiedene Erntemethoden für Kurzumtriebsplantagen

Ergebnisse aus der Praxis

Herausgegeben von: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden
Württemberg (FVA)

Autoren: Michael Nahm, Frank Brodbeck, Udo Hans Sauter

Impressum

Herausgeber: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)
Wonnhaldestraße 4
D - 79100 Freiburg
www.fva-bw.de
Tel.: 0761-4018-0

Autoren: Dr. Michael Nahm, Dr. Frank Brodbeck, Dr. Udo Hans Sauter

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben „Kostenreduktion und Effizienzsteigerung von Kurzumtriebsbewirtschaftung“ (CREFF) wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für *Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz* (BMELV) unter dem Förderkennzeichen 22010308 über die *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (FNR) gefördert. Das Projekt CREFF wurde gemeinsam mit Partnern des Institute National de al Recherche Agronomique in Nancy, der Hochschule für Forstwirtschaft in Rottenburg, dem Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart sowie von UNIQUE forestry and land use GmbH in Freiburg durchgeführt. Enge Zusammenarbeit bestand weiterhin mit Janine Schweier vom Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Bildnachweise:
Alle Fotos und Abbildungen: M. Nahm

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Gestaltung: M. Nahm
Druck: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

1 Einleitung

Diese Arbeit fasst den gegenwärtigen Stand der Erntetechnik für die Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen zusammen und dient als Handreichung für Praktiker, Wissenschaftler und Interessierte.

Zur Evaluierung von Ernte- und Transportsystemen, die bei der Ernte und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) zum Einsatz kommen, wurden im Rahmen des Projekts „Kostenreduktion und Effizienzsteigerung von Kurzumtriebsbewirtschaftung (CREFF) von November 2009 bis November 2011 insgesamt 33 Zeitstudien durchgeführt. Sämtliche Zeitstudien wurden nach dem Fortschrittszeitverfahren mit digitalen Stoppuhren (Hanhart Spectron) dokumentiert. Insgesamt wurden 28 begleitende Zeitstudien von Erntemaßnahmen durchgeführt, drei Zeitstudien von Hackungen von einige Monate zuvor geernteten KUP-Bäumen sowie zwei Zeitstudien von Rodungen von Kurzumtriebsflächen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der dokumentierten Zeitstudien dargestellt, beginnend mit den Ernteeinsätzen. Danach werden die Ergebnisse der Zeitstudien der Hackungen sowie der Rodungen beschrieben. Zusätzlich wurde die eingesetzte Transportlogistik der Arbeitsmaßnahmen dokumentiert und es wurden Ansätze erarbeitet, diese zu verbessern. Der Schwerpunkt des CREFF-Projekts lag auf der Identifizierung von Möglichkeiten, die Bewirtschaftung von KUP speziell auf Grenzertragsstandorten oder auf anderen Flächen mit ungünstigen ackerbaulichen Eigenschaften zu verbessern. Am Ende dieses Berichts werden die Ergebnisse diesbezüglich zusammengefasst und es werden vom Gesichtspunkt der Ernte- und Logistikverfahren Empfehlungen für die Anlage und Bewirtschaftung von KUP auf derartigen Standorten ausgesprochen.

2 Ergebnisse

2.1 Zeitstudien von Ernten mit Gehölz-Mähhäckslern

Die insgesamt 28 Erntedokumentationen bezogen sich auf folgende Einsätze:

- 18 Einsätze von für die Holzernte umgerüsteten Feldhäckslern
- 3 Einsätze von an Traktoren montierten Anbauhackern
- 3 Einsätze des Mäh-Sammlers „Stemster“
- 2 Einsätze von Forstmaschinen
- 2 Einsätze von motormanueller Technik (Motorsäge)

Die Verteilung der Häufigkeiten der eingesetzten Erntesysteme verdeutlicht, dass für die KUP-Ernte umgerüstete Feldhäckslern (Gehölz-Mähhäckslern) die mit Abstand am häufigsten verwendeten Maschinen sind.

Überblick über die 18 Einsätze von Gehölz-Mähhäckslern

Von diesen 18 Ernteeinsätzen wurden fünf mit dem Holzerntevorsatz GBE 1 des italienischen Herstellers „Biomasse Europa“ durchgeführt. Als Trägermaschine diente ein umgerüsteter Feldhäckslern des Typs Claas Jaguar 890. Dieser Häckslern verfügt über 372 kW bzw. 506 PS Motorleistung. Die Ernteeinsätze erfolgten in Österreich. Alle fünf Flächen befanden sich auf ebenem Untergrund. Die nachfolgende Tabelle enthält ihre wichtigsten Kenngrößen.



Tab. 1: Charakterisierung der mit dem Claas Jaguar 890 plus GBE 1-Vorsatz beernteten Flächen.

Feld	Baumart	Sorte	Alter	Größe	Biomasse	Zuwachs	Pflanzverband bei Anlage
			[a]	[ha]	[tatro/ha]	[tatro/ha/a]	[m]
Fohnsdorf 1	Pappel	Monviso	2	1,4	20,4	10,2	3 * 0,5
Fohnsdorf 2	Pappel	AF 2	2	2,0	14,7	7,4	3 * 0,6
Mistelbach 1	Pappel + Weide	Je 4 bzw. 3 Sorten	2	0,8	17,2	8,6	(3+0,7) * 0,5
Mistelbach 2	Pappel + Weide	Je 4 bzw. 3 Sorten	2	0,7	21,6	10,8	(3+0,7) * 0,5
Mistelbach 3	Robinie	Tullner Feldklon	3	0,6	8,0	2,7	3 * 1

Die Leistungen der Erntemaschine wurden auf die Hauptarbeitszeit (HZ), die reine Arbeitszeit (RAZ) sowie die Gesamt-Arbeitszeit (GAZ) bezogen. Unter HZ wurde dabei die Zeit verstanden, in der die Maschine erntend über die Fläche fuhr. Die RAZ wurde als die HZ plus die Zeit für das Wenden der Maschinen bzw. das Umsetzen zur nächsten zu erntenden Reihe definiert. In die GAZ wurden sachlich und persönlich bedingte Verteilzeiten einbezogen. Diese enthielten z.B. das Warten auf leere Transporteinheiten, Abstimmungsgespräche und Störungen im Arbeitsablauf von unter 15 Minuten Dauer. Insgesamt trat lediglich eine Störung von über einer Stunde Dauer auf, nachdem eine Kette am Schneidwerk gerissen war und vor Ort kein Ersatzteil verfügbar war. Die Leistungsdaten des Claas Jaguar Feldhäckslers mit dem Schneidwerk GBE 1 stellten sich auf den fünf Flächen wie folgt dar (bezogen auf RAZ und GAZ):

Tab. 2: Leistungsdaten des Claas Jaguar 890 mit dem Holzerntevorsatz GBE 1.

Feld	Geschw. HZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ
	[km/h]	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[tfrisch/h]	[tfrisch/h]	[tfrisch/h]	[tatro/h]
Fohnsdorf 1	5,6	1,7	1,2	0,8	88,2	60,2	42,7	35,0
Fohnsdorf 2	5,7	1,7	1,6	1,6	69,4	62,7	62,7	25,7
Mistelbach 1	4,7	1,6	1,2	1,2	57,9	44,1	43,4	27,7
Mistelbach 2	4,2	1,3	0,7	0,7	60,6	31,8	30,3	28,4
Mistelbach 3	5,3	1,6	1,2	0,9	26,6	20,5	15,7	16,6

Zwischen den ermittelten Werten für die RAZ und die GAZ liegen bei Fohnsdorf 1 und Mistelbach 3 deutliche Abweichungen vor. Diese erklären sich in beiden Fällen aus den Zeiten, die der Häcksler mit dem Warten auf eine neue leere Transporteinheit verbringen mußte. Die vergleichsweise hohe Flächenleistung auf dem Feld Fohnsdorf 2 lag in der Reihenlänge des Feldes begründet, die hier bei durchschnittlich 560 m lag. Entsprechend wenig musste gewendet werden. Entgegengesetzt dazu hatte die Fläche von Mistelbach 2 eine dreieckige Form, wobei die kürzeste Reihe nur noch 5 m maß. Entsprechend häufig musste nach dem Ernten von vergleichsweise sehr kurzen Reihen gewendet werden, was sich in der geringeren Flächenleistung niederschlug.

Zehn weitere Zeitstudien wurden bei Ernten mit einem umgerüsteten Feldhäcksler New Holland FR9060 mit einer Leistung von: 578 PS bzw. 425 kW durchgeführt. Dieser war mit dem ebenfalls von New Holland hergestellten Schneidwerk 130 FB ausgerüstet. Die Zeitstudien verteilten sich auf Ostfriesland, Sachsen, Baden-Württemberg und die Schweiz. In den



folgenden zwei Tabellen sind wieder die wichtigsten Kenngrößen der Flächen sowie die Leistungsdaten der Erntemaschine dargestellt.

Tab. 3: Charakterisierung der mit dem umgerüsteten Feldhäcksler von New Holland beernteten Flächen.

Feld	Baumart	Sorte	Alter	Fläche	Biomasse	Zuwachs	Pflanzverband bei Anlage
			[a]	[ha]	[tatro/ha]	[tatro/ha/a]	[m]
B. Schuss. 1	Weide	Tordis	3	0,8	24,2	8,1	(1,4+0,8) * 0,6
B. Schuss. 2	Weide	Tordis	3	4,4	34,9	11,6	(1,4+0,8) * 0,7
Bockwitz	Weide	?	2-3	2,4	30,0	15,0	(1,3+0,8) * 0,7
Degernau	Weide	Tordis	3	2,7	30,4	10,1	(1,4+0,8) * 0,7
Engen 2	Pappel	Max 4 u. 5	3	0,9	11,1	3,7	(2,8+0,8) * 0,7
Ihlow	Weide	Tordis	3	0,9	30,8	10,3	(1,5+0,8) * 0,7
Kraichtal 1	Pappel	6 Sorten	3	1,5	26,1	8,7	(1,5+0,5) * 0,5
Kraichtal 2	Pappel	Max 1 u. 4	2	0,9	13,1	6,5	(1,5+0,5) * 0,5
Reinach 1	Weide	Tordis	2	1,6	1,5	0,8	(1,5+0,5) * 0,7
Reinach 2	Weide	Tordis	3	0,5	12,3	4,1	(1,5+0,5) * 0,6

Tab. 4: Leistungsdaten der New Holland Feldhäcksler mit dem Holzerntevorsatz FB 130.

Feld	Geschw. HZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ
	[km/h]	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[tfrisch/h]	[tfrisch/h]	[tfrisch/h]	[tatro/h]
B. Schuss. 1	4,2	1,1	0,8	0,6	58,3	41,1	32,0	26,1
B. Schuss. 2	4,2	1,0	0,8	0,6	80,0	60,0	48,8	35,7
Bockwitz	3,7	0,8	0,4	0,3	51,6	29,6	21,0	23,3
Degernau	5,2	1,2	0,8	0,8	78,2	55,4	51,3	35,3
Engen 1	4,5	1,6	1,2	0,6	39,8	28,8	14,2	18,0
Ihlow	5,3	1,2	0,9	0,8	81,3	59,0	57,7	36,9
Kraichtal 1	4,4	1,0	0,8	0,7	59,8	48,5	42,8	24,9
Kraichtal 2	6,0	1,5	1,1	1,0	49,7	37,4	32,0	19,5
Reinach 1	7,4	2,3	1,6	1,6	6,9	4,8	4,8	3,5
Reinach 2	5,5	1,7	1,3	1,3	42,3	32,8	32,0	21,2

In Tabelle 4 lassen sich erneut große Unterschiede hinsichtlich der Maschinenleistung erkennen. Diese gehen hauptsächlich auf die stark schwankende Menge der Biomasse auf den Feldern zurück. Mit Abstand am wenigsten Zuwachs war auf der Fläche Reinach 1 zu verzeichnen, was auf eine sehr starke Verunkrautung der Fläche zurückzuführen war. Die Leistung hinsichtlich des Biomassedurchsatzes war entsprechend gering, die Fahrgeschwindigkeit der Erntemaschine hingegen entsprechend hoch. Die relativ geringe Flächenleistung in Bockwitz trotz sehr guten Ertrags ergab sich wieder aus einer ungünstigen Feldform mit sehr kurzen Reihen zwischen 11 und 65 m, weswegen sehr häufig gewendet werden musste.

Bei den verbliebenen drei Zeitstudien wurde je ein Ernteeinsatz der Feldhäcksler der Marken Claas Jaguar 870, Krone Big X V8 und John Deere 7500 dokumentiert. Die Holzerntevorsätze wurden von den Firmen Claas (HS2), Hüttmann (WoodCut 1500) sowie Coppice Resources Ltd. (CRL Harvester) konstruiert. In den folgenden zwei Tabellen sind wieder die wichtigsten Kenngrößen der Flächen sowie die Leistungsdaten der verschiedenen Erntemaschinen dargestellt.

Tab 5: Charakterisierung der drei mit Feldhäckslern der Marken Krone, Claas und John Deere beernteten KUP-Flächen.

Feld	Baumart	Sorte	Alter	Fläche	Biomasse	Zuwachs	Pflanzverband bei Anlage
					[tatro/ha]	[tatro/ha/a]	[m]
Dillingen	Weide	?	4	0,5	21,1	5,3	n. erfasst
Engen 1	Pappel	Max 4 u. 5	3	1,1	13,2	4,4	(2,8+0,8) * 0,7
Laisa	Weide	?	2-3	2,4	17,7	7,9	(2,1+0,8) * 0,4

Tab. 6: Leistungsdaten von drei unterschiedlichen Systemen von Feldhäckslern. (1) Dillingen: Krone Big X mit Holzerntevorsatz Wood Cut 1500, (2) Engen 1: John Deere mit Holzerntevorsatz CRL, (3) Laisa: Claas Jaguar mit Holzerntevorsatz HS-2.

Feld	Geschw.	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung
	HZ	HZ	RAZ	GAZ	HZ	RAZ	GAZ	HZ
	[km/h]	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[ttrisch/h]	[ttrisch/h]	[ttrisch/h]	[tatro/h]
Dillingen	4,7	1,0	0,5	0,4	47,7	25,7	19,5	21,5
Engen 1	1,7	0,6	0,5	0,4	20,9	15,2	14,9	8,3
Laisa	4,2	1,2	0,8	0,3	54,3	35	15,4	21,7

In allen drei Fällen lag sowohl die Fahrtgeschwindigkeit als auch die Flächenleistung sehr niedrig. In Dillingen und in Laisa fielen ungewöhnlich lange Wendezeiten an, die durch die Witterungsbedingungen (Schneelage, leichter Hang) und Standortgegebenheiten verursacht wurden. In Laisa standen zudem nicht genügend Transporteinheiten zur Verfügung, so dass der Häcksler sehr hohe Wartezeiten hatte.

In Engen lagen die Probleme hauptsächlich an dem Erntesystem, das für Weiden und nicht für Pappeln konstruiert ist. Der CRL-Schneidvorsatz besitzt kein Vorschub-Geweh und hatte zudem mit der Dicke mancher Pappeln Schwierigkeiten, deren Durchmesser in Schnitthöhe bis über 20 cm maß. Auch die sperrigen Queräste der Pappeln verursachten Probleme am Einzugsmechanismus. Der Häcksler musste daher sehr oft zurücksetzen, um den verstopften Einzug wieder frei zu bekommen.

Generell gilt zu beachten, dass der Reihenabstand für die Ernte mit Gehölz-Mähhäckslern mindestens zwei Meter betragen sollte, um ein Überfahren der Stöcke zu vermeiden, und um auch in den folgenden Umtriebszeiten, nachdem die Stöcke oftmals auch Triebe zur Seite hin ausgetrieben haben, problemlos in den Reihen fahren zu können.

2.2 Zeitstudien von Ernten mit Anbauhackern für Traktoren

Insgesamt wurden drei Zeitstudien von Anbauhackern für Traktoren durchgeführt. Der erste stammte von der Firma Schmidt GmbH. Bei den beiden anderen Maschinen handelte es sich um Anbaugeräte zur Ernte von Zuckerrohr, die von der brasilianischen Firma JF Máquinas Agrícolas hergestellt worden sind. Sie wurden von der dänischen Firma Ny Vraa Bioenergy für die Ernte von KUP umgerüstet. Nachfolgend sind die beiden Tabellen mit den Kenngrößen der Felder und den Leistungsdaten der Hacker dargestellt.

Tab. 8: Charakterisierung der drei mit Anbauhackern beernteten KUP-Flächen.

Feld	Baumart	Sorte	Alter	Fläche	Biomasse	Zuwachs	Pflanzverband bei Anlage
			[a]	[ha]	[t _{atro} /ha]	[t _{atro} /ha/a]	[m]
Engen 3	Pappel	Max 4 u. 5	2	0,2	4,3	2,1	(2,8+0,8) * 0,7
Merscheid	Weide	Tordis	4	0,2	13,6	3,4	(1,5+0,8) * 0,6
Tylstrup	Weide	Inger	2	0,6	21,5	10,7	(1,5+0,8) * 0,4

Tab. 9: Leistungsdaten von drei unterschiedlichen Anbauhackern. (1) Hacker der Fa. Schmidt GmbH (Engen 2), (2) Anbauhacker JF Z 6 von Ny Vraa Bioenergy (Merscheid), (3) Anbauhacker JF Z 20 von Ny Vraa Bioenergy (Tylstrup).

Feld	Geschw. HZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ
	[km/h]	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[t _{frisch} /h]	[t _{frisch} /h]	[t _{frisch} /h]	[t _{atro} /h]
Engen 2	2,2	0,8	0,6	0,4	7,7	6,1	4,4	3,4
Merscheid	1,5	0,2	0,2	0,2	4,8	4,5	4,5	2,3
Tylstrup	2,8	0,6	0,3	0,3	26,4	11,9	11,7	12,2

Die beiden ersten Anbauhacker zeichneten sich durch einen sehr geringen Massedurchsatz aus. Der Schmidt-Hacker erwies sich zudem als störanfällig im Betriebsablauf und produzierte Hackgut, das viele Stücke mit beträchtlicher Überlänge enthielt. Sein Einsatz wurde wegen der beiden letztgenannten Probleme nach der Ernte von vier Reihen abgebrochen. Auch die Ernte in Merscheid mit dem JF Z 6 wurde nach drei Reihen abgebrochen. Das Gerät ist nur auf die Ernte von Weiden mit maximal 4 cm Schnitthöhen-Durchmesser ausgelegt. Dies wurde von den Bäumen auf der Fläche teilweise übertroffen. Auch war der Schnitt der Weiden nicht sauber. Die Bäume wurden sehr stark nach vorne umgedrückt und ihre Stammfüße zerfranst. Zudem erwies sich der Boden als sehr nass und weich, so dass der Anhänger aufgrund eines geringen Gefälles von weniger als 5 % seitlich auszubrechen drohte und tiefe Furchen im Boden hinterließ. Dieser Effekt wurde dadurch verstärkt, dass die Reihen auf dem Feld als Doppelreihen angelegt waren, der JF Z 6 aber nur einreihig ernten kann. Daher musste das Schleppergespann mit dem Hacker zwei mal über jede Reihe fahren.

Beide Geräte können nicht zur Ernte empfohlen werden. Tatsächlich hat die Fa. Schmidt bereits in Zusammenarbeit mit der Firma Jenz GmbH ein komplett

neues Gerät konstruiert, das aber noch nicht serienreif ist und in der Praxis von uns noch nicht beobachtet werden konnte. Der JF Z 6 wird ebenfalls nicht mehr eingesetzt. Ny Vraa Bioenergy arbeitet auf den Feldern in Dänemark mittlerweile mit dem neueren und doppelreihig ausgelegten System namens JF Z 20 (s. Bild nebenan). Dieses erwies sich als funktions-tauglich, kann jedoch wie der JF Z 6 nur für die Ernte von maximal 4 cm dicken Weiden eingesetzt werden. Seine Einsatzmöglichkeit ist dadurch begrenzt.



2.3 Zeitstudien von Ernten mit dem Mäh-Sammler „Stemster“

Auf drei Feldern wurden Ernten mit dem ebenfalls aus Dänemark stammenden Erntesystem „Stemster“ dokumentiert. Dieses Gerät der Firma Nordic Biomass erntet und sammelt die KUP-Bäume, ohne sie zu hacken. Es kann daher als Mäh-Sammler bezeichnet werden. Es bietet sich für zweiphasige Erntemethoden an, wobei die geernteten Bäume vor dem Hacken für etwa 4-8 Monate zum Trocknen gelagert werden.

Tab. 10: Charakterisierung der drei mit dem Stemster beernteten KUP-Flächen.

Feld	Baumart	Sorte	Alter	Fläche		Biomasse		Pflanzverband bei Anlage
				[a]	[ha]	[t _{atro} /ha]	[t _{atro} /ha/a]	
Buggingen 1	Weide	Inger	3	1,1	19,2	6,4	(1,5+0,8) * 0,6	
Buggingen 2	Weide	Inger	2	0,9	3,7	1,9	(1,5+0,8) * 0,6	
Haine	Pappel	Max 1 bis 4	3	2,3	14,6	4,9	2 * 0,5	

Tab. 11: Leistungsdaten von drei Einsätzen des Mäh-Sammlers Stemster

Feld	Geschw.	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung	Leistung
	HZ	HZ	RAZ	GAZ	HZ	RAZ	GAZ	HZ
	[km/h]	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[t _{frisch} /h]	[t _{frisch} /h]	[t _{frisch} /h]	[t _{atro} /h]
Buggingen 1	5,8	1,3	0,4	0,4	49,0	16,7	13,9	25,0
Buggingen 2	6,1	1,4	0,4	0,4	10,0	3,0	2,9	5,1
Haine	9,5	1,9	0,7	0,6	61,5	24,0	20,6	27,8

Auf Buggingen 2 erfolgte nur ein sehr schwacher Zuwachs, der wahrscheinlich durch die starke Verunkrautung auf dieser Fläche bedingt war. Hinsichtlich der Ertragsleistung bewegten sich Buggingen 1 und Haine in ähnlichen Dimensionen. Allerdings bestand der Aufwuchs der Pappeln in Haine aus Bäumen mit nur einem Stamm, während die Stecklinge der Weiden in

Buggingen stets mehrere Triebe gebildet hatten. Möglicherweise war dies der Grund, dass in Haine mit einer vergleichsweise hohen Geschwindigkeit gefahren werden konnte. Die Erntegeschwindigkeiten wurden auf allen Flächen jedoch wieder durch die langen Zeiten relativiert, die für das Abladen der geernteten Bäume benötigt wurden. Letztlich lag somit die Flächenleistung bezogen auf die RAZ und GAZ in allen Fällen deutlich niedriger als bei den Gehölz-Mähhäckseln.



2.4 Zeitstudien von Ernten mit Motorsägen und Forstmaschinen

Es wurden weiterhin je zwei Ernten dokumentiert, die mit Motorsägen bzw. Forstmaschinen durchgeführt worden sind (siehe die beiden unten stehenden Tabellen 12 und 13).

Tab. 12: Charakterisierung der zwei motormanuell beernteten Flächen (Gengenbach und Bettenreute) und der zwei mit Forstmaschinen beernteten Flächen (Alfdorf und Vatan). [▲] gilt für [N/ha], erfasst bei der Ernte; d.h. nach 17 Jahren Wachstum. [▼] gilt für [N/ha], erfasst nach 11 Jahren Wachstum.

Feld	Baumart	Sorte	Alter	Fläche	Biomasse	Zuwachs	Pflanzverband bei Anlage
					[t _{atro} /ha]	[t _{atro} /ha/a]	
Bettenreute Gengenbach	Pappel	Max 3	17	0,2	164,6	9,7	816 [▲]
	Weide	Tora+Tordis	2	0,7	11,3	5,6	(1,8+0,8) * 0,8
Alfdorf Vatan	Pappel	Pappel 105	9	1,2	48,8	5,4	(2,9+0,8) * 0,9
	Pappel	9 Sorten	11	0,1	77,0	7,0	1904 [▼]

Tab. 13: Leistungsdaten von zwei motormanuellen Ernten (Gengenbach und Bettenreute) und von zwei Ernten, die mit Forstmaschinen durchgeführt worden sind (Alfdorf und Bettenreute). *: Wert ohne Berücksichtigung des Rückens.

Feld	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ
	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[t _{frisch} /h]	[t _{frisch} /h]	[t _{frisch} /h]	[t _{atro} /h]
Bettenreute	---	---	0,05	---	---	21,3	8,6
Gengenbach	---	---	0,03	---	---	0,6	0,4
Alfdorf	---	---	0,05	---	---	5,0	2,6
Vatan	---	---	0,08*	---	---	13,7	6,2

Mit Ausnahme der Fläche in Gengenbach wurden auf diesen Flächen Bäume geerntet, deren Stammdurchmesser nur noch die motormanuelle Ernte oder den Einsatz von Forstmaschinerie erlaubt haben. Da diese Ernten sich alle über

mindestens zwei Tage erstreckten und nicht von Anfang bis zum Ende begleitet werden konnten, sind hier nur die Leistungsangaben bezogen auf die GAZ angegeben. Angaben zu Erntegeschwindigkeiten können bei diesen Erntemethoden nicht sinnvoll angegeben werden. Da auf allen vier Flächen sehr unterschiedlich verfahren wurde, werden die einzelnen Erntemaßnahmen nachfolgend kurz beschrieben.

In Bettenreute wurde stets eine Anzahl von Bäumen von einer Person motormanuell gefällt und mittels eines Schleppers mit Seilwinde zusammengerückt. Währenddessen wurden auf einem anderen Flächenabschnitt bereits gefällte und gerückte Bäume von einer weiteren Person in Stücke zersägt, die von einem Arbeitstrupp von sechs Personen in einen handbeschickten Hacker gefüttert wurden. Bei dieser Erntemethode war das Zersägen und Hacken der gefällten Bäume mit einer Flächenleistung von 0,01 ha/h der zeitintensivste Arbeitsschritt. Die Flächenleistung des Fällens der Bäume betrug 0,1 ha/h, diejenige des Rückens 0,05 ha/h.

In Gengenbach wurden zweijährige Weiden von einer Person motormanuell Reihe für Reihe gefällt. Die gefällten Bäume wurden währenddessen von zwei bis drei Personen manuell vorkonzentriert und auf Haufen gelegt. Nach beendeter Ernte und Vorkonzentration wurden die Haufen mit einem Greifarm eines Rungenanhängers auf die Runge geladen und zum Lagerplatz gebracht (s. Bild nebenan). Das Ernten und Abräumen der Fläche dauerte insgesamt 21,2 Arbeitsstunden und lag damit bei mit 0,03 ha/h. Beim Fällen wurden 0,1 ha/h erreicht.



In Alfdorf kam eine spezielle Forstmaschine zum Einsatz. Die Basismaschine, der Rückezug Ponsse Buffalo Dual, verfügte am Greifarm über den Mehrfachfällkopf EH 25, mit dem die gerenteten Bäume direkt auf den Rungenkorb gelegt werden konnten (s. Bild nebenan). Es handelte sich also um eine Kombination aus Vollernter und Rückezug. Der Maschinenführer schnitt zunächst ohne Rungenkorb Schneisen in die Fläche, wobei er die gefällten Bäume links und rechts ablegte. In einem zweiten Arbeitsschritt sammelte er diese Bäume auf die Runge und erntete links und rechts der Schneise weitere Bäume. Die vollen Rungen wurden am Rand des Feldweges abgeladen.



In Vatan (Frankreich) kam ebenfalls ein Mehrfachfällkopf (Westtech Woodcracker C350) zum Einsatz, der an einen Bagger (Case CX130B) montiert war. Hier wurden die Bäume jedoch nur auf der Fläche abgelegt. Sie wurden einige Monate später von der Fläche geräumt, wobei jedoch keine Zeitstudie durchgeführt worden ist. Hieraus ergibt sich die im Vergleich zu den anderen Flächen hohe Flächenleistung, die sich bei zusätzlicher Berücksichtigung der Flächenräumung, wie bei den anderen Flächen geschehen, etwa halbiert hätte und somit im gleichen Rahmen gelegen hätte.

2.5 Zeitstudien von Hackungen von KUP-Material

Insgesamt konnten vier begleitende Zeitstudien von Hackungen von zuvor geerntetem Material durchgeführt werden. Die Hackungen in Haine und Vatan konnten nicht begleitet werden. Die Haufen der Flächen Buggingen 1 und 2 wurden gemeinsam gehackt, so dass eine separate Erhebung des Ertrags für diese Flächen nicht möglich war. In Bettenreute wurde der Hacker (Eschböck Biber 7) händisch beschickt, in Buggingen und Gengenbach kam je ein nicht näher spezifizierbarer kran-beschiebter Wüst-Hacker auf einem LKW zum Einsatz (s. Bild nebenan), und in Alldorf ein schlepper-gezogenes Aggregat (Jenz HEM 561 mit John Deere 8330).



Tab. 14: Leistungsdaten von vier Hackungen von KUP-Material.

Feld	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ	Leistung RAZ	Leistung GAZ	Leistung HZ
	[ha/h]	[ha/h]	[ha/h]	[tfrisch/h]	[tfrisch/h]	[tfrisch/h]	[tatro/h]
Alldorf	0,4	0,3	0,2	37,9	29,2	18,6	19,3
Bettenreute	0,02	0,02	0,01	8,2	6,1	5,8	3,5
Buggingen	0,5	0,4	0,4	12,0	9,9	9,2	6,1
Gengenbach	1,1	0,9	0,9	21,2	18,7	17,5	12,0

Die geringste Leistung der vier Hackungen wies diejenige auf, bei der die Stämme händisch aufgearbeitet und dem Hacker zugeführt worden sind. Von den maschinenbeschickten Hackungen erwies sich die Hackung in Alldorf (s. Bild nebenan) als die mit Abstand effektivste, was hauptsächlich auf die großen Stammdurchmesser der



9-Jährigen Pappeln zurückzuführen gewesen sein dürfte. Die Differenz zwischen Buggingen und Gengenbach dürfte in der schwierigeren Handhabung des Materials in Buggingen zu erklären sein. Hier waren 1) die Stämme des 2-jährigen Feldes wesentlich kleiner und 2) war auch die Struktur des Haufens ungeordneter, da der Stemster seine Ladungen nicht so gleichmäßig abgeladen hatte wie der Greifarm des Rungenanhängers in Gengenbach.

2.6 Grundlegende Aspekte der Logistik bei den Erntearbeiten

Der Transport der Biomasse wurde in der Regel mit Anhängern durchgeführt, die sich teilweise schon seit langem im Besitz der Landwirte befanden. Zusätzlich kamen oft Anhänger zum Einsatz, die von Freunden und Nachbarn geliehen wurden. Diese individuelle Herangehensweise machte es oft schwierig, faktische Kosten für den Transport zu berechnen. Allerdings kann je nach Transportentfernung etwa mit den folgenden Kosten gerechnet werden (Tabelle 15).

Tab. 15: Ungefähre Transportkosten für trockene Hackschnitzel-Biomasse in Abhängigkeit von der Transportdistanz.

Transportdistanz [km]	Transportkosten [€/ t _{atro}]
1-10	5-10
10-30	10-15
30-50	15-20

Die individuell verschiedenen Ansätze machten es auch schwierig, allgemeine optimierte Transport-Logistik-Systeme für die Praxis zu entwickeln. Darüber hinaus war der Abstand zwischen den verschiedenen Landwirten in der Regel sehr groß. Dies verdeutlicht, dass es bis jetzt sehr wenige Landwirte gibt die KUP bewirtschaften, und dass sie ihre Plantagen weitgehend unabhängig voneinander betreiben. Unter diesen Umständen scheint es nicht empfehlenswert, neue Logistik-Systeme wie zum Beispiel den Einsatz gemeinsamer Umschlagplätze zur Erleichterung der Transportlogistik zu entwickeln.

Auffallend war, dass der Transport von Biomasse häufig nicht optimal organisiert war, so dass der Feldhäcksler oder Hacker auf leere Transporteinheiten warten musste. In solchen Fällen hatten die Landwirte die benötigte Fahrtzeit vom Feld zum Lagerplatz und zurück unterschätzt, sowie die Zeit, die zum Befüllen der Anhänger mit Hackschnitzeln erforderlich war, überschätzt. Die unterschiedlichen Werte der RAZ und auch der GAZ bezüglich der Produktivität auf verschiedenen Flächen (siehe Tabellen oben) können in den meisten Fällen auf solche Störungen des logistischen Ablaufs zurückgeführt werden. Diese Fehleinschätzungen können durch eine angemessene Planung der Ernte vermieden werden, wobei auch die geeigneten Mittel zur Verbesserung der Ernte- und Transportvorgänge auf individueller Basis

identifiziert werden könnten. Um diese Planung zu erleichtern, wurde ein auf Microsoft Excel basierender KUP-Ernteplaner entwickelt. Nachdem der Benutzer hier eine Reihe von Eckdaten eingeben hat, berechnet das Tool die benötigte Zeit für die Ernte, die Zeit für die erforderlichen Biomasse-Transportzyklen, und die Kosten für verschiedenen Ernte- und Transportverfahren (siehe weiter unten im Text). Im Einzelfall kann es jedoch auch kostengünstiger sein, die Feldhäcksler oder Hacker für kurze Zeiträume warten zu lassen, als ein zusätzliches Schleppergespann mit Fahrer anzumieten. Erneut zeigt sich hier, dass letztlich jedes Feld und jeder Ernteprozess individuell betrachtet werden muss.

2.7 Kosten für die Hackschnitzelproduktion

Dieser Abschnitt enthält Angaben zu den Erntekosten. Die nachstehende Tabelle 16 zeigt die Erntekosten für die umgerüsteten Feldhäcksler. Die Mehrwertsteuer sowie die Transportkosten für die Maschine und die Biomasse sind darin nicht enthalten. Die Spalte *Kosten GAZ* enthält die Hackschnitzel-Produktionskosten für verschiedene Aggregate. Die Kosten für den Mähhäcksler von New Holland wurden mit 400 €/h berechnet, dem aktuellen Stundensatz für den Einsatz dieses Gerätes in Deutschland. Derzeit ist dieser in Süddeutschland der einzige vorhandene Mähhäcksler, so dass er wahrscheinlich hier und in den angrenzenden Gebieten auch am ehesten zum Einsatz kommen wird. Generell liegen die ermittelten Leistungen und Produktionskosten in der Größenordnung, die auch von anderen Autoren genannt worden ist (z.B. Eckel *et al.* 2008; Handler & Blumauer, 2009).

Die Tabelle zeigt, dass die Kosten für die Herstellung von Hackschnitzeln mit Feldhäckslern stark variieren. Wie aus vorherigen Textpassagen hervorging, hängt diese Varianz (1) von der aufstockenden Biomasse auf dem Feld ab (ein bemerkenswertes Beispiel dafür ist Reinach 1), und (2) von der Organisation der Ernte sowie der Form der zu beerntenden Fläche ab. Ohne Berücksichtigung der Standorte Reinach 1, Engen 1 und Dillingen, deren Erntemaßnahmen als untypisch angesehen werden müssen, belaufen sich die berechneten Produktionskosten mit Bezug auf die Gesamtarbeitszeit auf durchschnittlich 27,1 €/t_{atro}. Dem stehen gegenwärtig Einkaufspreise von ca. 90-95 €/t_{atro} gegenüber, die jedoch regional sehr großen Schwankungen unterliegen können.

Tab. 16: Kosten für die Produktion von Hackschnitzeln mit verschiedenen Gehölz-Mähhäckslern. Abkürzungen der Überschriften: HZ: Hauptzeit; RAZ: Reine Arbeitszeit; GAZ: Gesamtarbeitszeit. In den Kostenangaben steht t_{atro} für Tonnen absolut trockener Biomasse.

Nr.	Maschine	Feld	Kosten HZ	Kosten RAZ	Kosten GAZ
			[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]
1	New Holland	B. Schuss. 1	15,4	21,8	27,9
2		B. Schuss. 2	11,2	14,9	18,3
3		Bockwitz	17,2	30,0	42,3
4		Degernau	11,3	16,0	17,2
5		Engen 2	22,3	30,7	62,4
6		Ihlow	10,8	14,9	15,3
7		Kraichtal 1	16,1	19,8	22,5
8		Kraichtal 2	20,5	27,3	31,9
9		Reinach 1	114,7	165,1	167,6
10		Reinach 2	18,8	24,3	24,9
11	Claas + GBE1	Fohnsdorf 1	9,1	13,4	18,9
12		Fohnsdorf 2	12,5	13,8	13,8
13		Mistelbach 1	11,6	15,2	15,4
14		Mistelbach 2	11,3	21,5	22,6
15		Mistelbach 3	19,3	25,0	32,6
16	Claas + HS2	Laisa	11,5	17,8	40,7
17	Krone + WoodCut	Dillingen			
18	John Deere + CRL	Engen 1	41,1	56,4	57,8
Mittelwert (ohne Reinach 1, Dillingen und Engen 1)			14,6	20,4	27,1

Die auf den Feldern stockende Biomasse war mit der Produktivität des Häckslers im Hinblick auf die Hauptzeit (HZ) korreliert ($R^2=0,68$, Abbildung 1). Parameter, die einen negativen Einfluss auf diese Korrelation haben, sind unterschiedliche Wassergehalte der Biomasse auf verschiedenen Standorten, sowie verschiedene Bodenbedingungen und Pflanzverbände. Allerdings verringerte sich der Korrelationskoeffizient, wenn die Produktivität des Häckslers in Bezug zur reinen Arbeitszeit (RAZ) und der Gesamt-Arbeitszeit (GAZ) gesetzt wurde ($R^2=0,49$ bzw. $R^2=0,36$; Abbildung 1).

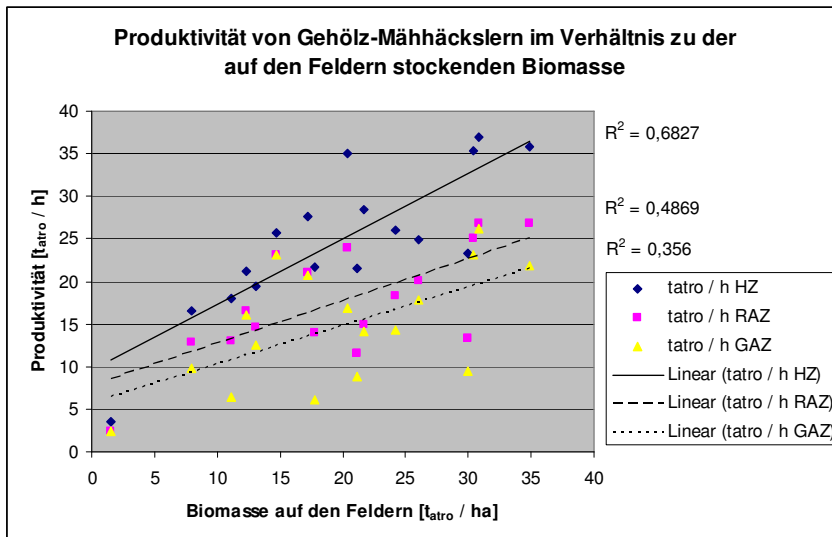


Abb. 1: Korrelationen zwischen der auf den Feldern stockenden Biomasse und der Produktivität der Gehölz-Mähhäcksler in Bezug zur Hauptzeit (HZ), zur reinen Arbeitszeit (RAZ) und zur Gesamtarbeitszeit (GAZ).

Die unterschiedlichen Werte für R^2 für die Daten der HZ und der RAZ sind im Allgemeinen auf die benötigten Zeiten zum Wenden der Fahrzeuge zurückzuführen. Diese hängen von der Form des Feldes und dem Vorhandensein von Vorgewenden ab. Der Unterschied von R^2 zwischen den Daten von RAZ und GAZ ist hauptsächlich auf Wartezeiten und andere Aktivitäten zurückzuführen, die der GAZ zugeordnet wurden. Da die Kosten und die Gewinnspanne direkt an die Produktivität der Maschine gekoppelt sind, muss der Landwirt versuchen, einen nahezu optimalen Arbeitsablauf zu erzielen. Um die Beziehung zwischen der Produktivität der Maschine und den Kosten zu optimieren, sollte er im voraus Parameter wie die Form des Feldes berücksichtigen. Flächen mit einer Größe von einem Hektar können sehr unterschiedliche Formen haben.

Diese beeinflusst die Produktionskosten von Hackschnitzeln und ist in der folgenden Tabelle exemplarisch dargestellt (Tabelle 17). Dies verdeutlicht, wie bedeutsam die vorherige Berücksichtigung von möglichen Nachteilen auf bestimmten Flächen ist.

Tab. 17: Kosten, die aufgrund von Wendemanövern in Abhängigkeit von verschiedenen Feldformen entstehen, bezogen auf eine Feldgröße von 1 ha. Die beiden ersten Zeilen beziehen sich auf rechteckige Feldformen mit unterschiedlichen Seitenlängen, die dritte Zeile bezieht sich auf ein dreieckiges Feld mit einem Winkel von 90° und zwei Winkeln von 45°. Der Zeitbedarf für ein Wendemanöver wurde auf 45 Sekunden festgesetzt, der Abstand zwischen zwei Reihen auf drei Meter. Die Kosten für den Mähhäcksler wurden mit 400 €/h veranschlagt, die Kosten für zwei Schleppergespanne mit einer Ladekapazität von 35 m³ und mit Fahrer wurden auf zwei Mal 63 = 126 €/h veranschlagt.

Feldbreite [m]	Feldlänge [m]	Anzahl der Wendemanöver	Zeitbedarf für das Wenden [min]	Kosten [€/ha]
20	500	5	3,8	33
100	100	32	24,0	210
141	141	46	34,5	302

Von den an Traktoren montierten Anbau-Hackern konnten nur die Kosten für den JF Z 20 bestimmt werden. Die Ernten mit dem Schmidt-System und dem JF Z 6 wurden beendet, weil die Maschinen nicht funktionierten und für die Ernte von Feldern nicht geeignet schienen. Die Herstellungskosten von Hackschnitzeln mit dem JF Z 20 waren vergleichsweise gering und erreichten unter typischen Bedingungen 15,5 €/t_{atro}. Die Kosten für die Herstellung von Hackschnitzeln mit Methoden, bei denen die Prozesse der Ernte und des Hackens getrennt ablaufen, sind in der Tabelle 18 wiedergegeben.

Tab. 18: Kosten der Produktion von Hackschnitzeln mit Methoden, wobei die Arbeitsschritte der Ernte und der Hackens getrennt voneinander ausgeführt wurden. Abkürzungen: HZ: Hauptzeit, RAZ: Reine Arbeitszeit, GAZ: Gesamtarbeitszeit. Abkürzungen in der Spalte Maschine: *Motor-man*: motor-manuelle Ernte, *Fäller-Bün.*: Ernte mit einem Fäller-Bündler.

Maschine	Feld	Ernte			Hacken			Gesamt-Kosten GAZ
		Kosten HZ	Kosten RAZ	Kosten GAZ	Kosten HZ	Kosten RAZ	Kosten GAZ	
		[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]	[€/t _{atro}]	
Stemster	Buggingen 1	8,0	23,4	28,3	27,0	32,4	35,1	63,4
	Buggingen 2	39,1	130,5	133,8	27,0	32,4	35,1	168,9
	Haine	7,2	18,5	21,5			35,7	57,2
Motor-man.	Bettenreute			3,0	32,7	43,6	46,0	49,0
	Gengenbach			130,8	22,6	24,4	25,4	156,2
Fäller-Bün.	Alfdorf	31,0	35,1	37,6	12,5	15,6	22,0	59,6
	Vatan			29,4			35,7	65,1

Im Allgemeinen sind die in Tabelle 18 gezeigten Kosten für die Herstellung von Hackschnitzeln wesentlich höher als diejenigen der anderen Verfahren. Oft ist das Hacken alleine schon so teuer wie die Ernte mit dem Mähhäcksler-System. Addiert man die Kosten für die Ernte, fallen die Produktionskosten etwa doppelt so hoch aus.

Die Fläche in Bettenreute mit den 17-jährigen Pappeln bildet hier eine gewisse Ausnahme, da das Fällen mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand bewerkstelligt werden konnte. Die Berechnung erfolgte unter Zugrundelegung eines Stundenlohns von 15 € in Anlehnung an KTBL (2006). Die Kosten für den Arbeitsschritt Fällen und Rücken beliefen sich inklusive der Ausgaben für die eingesetzte Technik lediglich auf rund 3 €/t_{atro}. Hätte man nun noch die Bäume mit einem Hackunternehmern hacken lassen anstatt sie händisch weiterzuverarbeiten, hätte man die Kosten für das Hacken von 46 €/t_{atro} auf 25,5 €/t_{atro} senken können. Dennoch wird deutlich, dass die Produktion von Hackschnitzeln aus jüngeren Bäumen stets kostenintensiver ist als die vollmechanisierte Ernte mit Gehölz-Mähhäckslern. Beispielsweise lag die Menge der Biomasse der auf der Fläche bei Haine zwischen denjenigen, die auf den Flächen Kraichtal 1 und Kraichtal 2 stockten. Alle drei Flächen waren mit zwei- bis dreijährigen Pappeln bepflanzt. Dennoch lagen die Herstellungskosten in Haine unter Verwendung des Stemster bei 57,2 €/t_{atro} sowie bei 22,5 und 31,9 €/t_{atro} in Kraichtal unter Verwendung des New Holland-Mähhäckslers. Allerdings können frisch geerntete Hackschnitzel bis zu einem Drittel ihrer ursprünglichen Biomasse verlieren, wenn sie nicht schnell getrocknet oder verwertet werden. Durch die Anwendung einer zweiphasigen Erntemethode, wie sie in Tabelle 18 dargestellt ist, könnten diese Probleme überwunden werden, da die Frischbiomasse auf etwa 35 % Wassergehalt oder weniger vorgetrocknet werden kann und so eine Wertsteigerung erfährt.

Zusätzlich können die Kosten für Erntemaßnahmen dadurch reduziert werden, dass ein Großteil der anfallenden Arbeiten in Eigenleistung erbracht wird und aus der Kostenrechnung ausgeklammert wird. So nahm beispielsweise in Gengenbach die gesamte Familie an der Ernte der KUP teil. Berechnet man für die teilnehmenden Familienmitglieder keine Stundenlöhne, so liegen die Produktionskosten für vorgetrocknete Hackschnitzel bei 54,8 €/t_{atro} – ein Betrag, der unter den derzeit üblichen Einkaufspreisen von ca. 90-95 €/t_{atro} liegt. Er könnte die Bewirtschaftung von KUP besonders für solche Landwirte interessant machen, welche auch die Anlage und Bewirtschaftung der KUP überwiegend in Eigenleistung vornehmen können und welche die Hackschnitzel in ihrer eigenen Heizanlage bei kurzen Transportwegen verwerten möchten.

Die wichtigsten in dieser Studie ermittelten Produktionskosten für Hackschnitzel sind in Abbildung 2 zusammenfassend dargestellt.

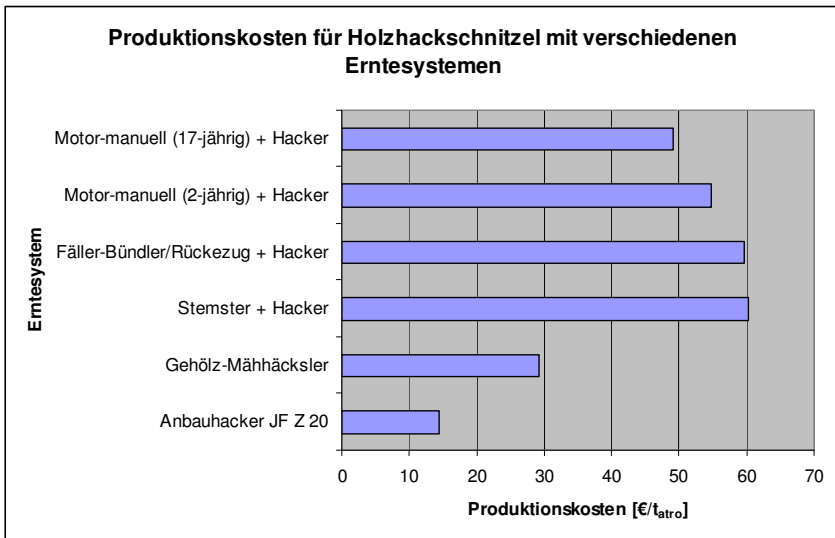


Abb. 2: Vergleich zwischen den Hackschnitzel-Produktionskosten von verschiedenen Ernteverfahren (motormanuelle Ernten von 17 bzw. 2-jährigen Bäumen mit nachfolgender Hackung durch Forsthacker, einer Ernte mit einem Fäller-Bündler/Rückezug Aggregat mit nachfolgender Hackung durch einen Forsthacker, Mittelwert von zwei Ernten mit dem Stemster mit nachfolgender Hackung durch einen Forsthacker, Mittelwert von neun Ernten mit dem New Holland Mähhäcksler, sowie eine Ernte mit dem Anbauhacker JF Z 20). Die Transportkosten für die Erntemaschinen und die Biomasse sind nicht mit einbezogen, die Mehrwertsteuer ebenfalls nicht. Die motormanuelle Ernte der 2-jährigen Bäume wurde ohne Lohnkosten für die arbeitende Familie gerechnet (siehe Text).

Da die Transportkosten für die Erntemaschine einen beträchtlichen Anteil an den Gesamterntekosten betragen können, sollten auch sie vorab berücksichtigt werden. Lassen sich die Erntemaßnahmen von verschiedenen Landwirten untereinander derart koordinieren, dass die Maschine verschiedene KUP-Flächen nacheinander anfährt, so können die Transportkosten auf die an der Maßnahme beteiligten Landwirte umgelegt werden. Diese können ggf. für alle Teilnehmer unabhängig von Entfernungsunterschieden zu gleichen Teilen berechnet werden, um für alle Beteiligten die gleiche Ausgangssituation zu schaffen. Ein üblicher Pauschalpreis für den Transport von Gehölz-Mähhäckslern mittels Tiefladeanhänger per Spedition bewegt sich bei ca. 5 €/km, und bei etwa 2 €/km auf einem unternehmenseigenen Tieflader (dies ist bei der Fa. Roth gegeben, die über den New Holland Häcksler in Süddeutschland verfügt). Die Transportkosten für den Stemster betragen ebenfalls etwa 2 €/km. Mobile Forsthacker sind normalerweise im ländlichen Raum im näheren Umkreis vorhanden, so dass hier mit Transportpauschalen von 50-200 € gerechnet werden kann.

2.8 Richtlinien für Entscheidungsfindung für die Anlage von KUP

Rechnet man zu den Kosten, die bei der Ernte und dem Abtransport der Hackschnitzel entstehen, noch Kosten für die Flächenanlage, die Pflegemaßnahmen, die Pacht und für die Rückumwandlung dazu, so wird deutlich, dass die Anlage von KUP auf Grenzertrags-Standorten oder weit vom Hof abgelegenen Flächen stets ein Risikogeschäft ist. Mehrere Autoren haben die Wasserverfügbarkeit als den limitierenden Faktor bei der Biomasseproduktion von KUP identifiziert (z.B. MURACH et al., 2008; RÖHLE et al. 2010). Demzufolge ist die Etablierung von KUP auf Standorten mit einer nur geringen Wasserverfügbarkeit nicht empfehlenswert. Allerdings könnte KUP auf solchen Flächen etabliert werden, die aufgrund einer Tendenz zur Vernässung als ungeeignet für eine herkömmliche Bewirtschaftungsform angesehen werden. Hier gilt allerdings zu berücksichtigen, dass Ernten mit Gehölz-Mähhäckslern und anderem schweren Gerät bei nicht gefrorenem Boden problematisch sein können. Besonders die beladenen Anhänger der parallel fahrenden Schleppergespanne können in weichem, nassen Boden tiefe Furchen hinterlassen, die im schlimmsten Fall den Abbruch der Ernte erzwingen und die Bodenoberfläche vollständig zerstören. Diese Gefahr läßt sich kaum vermeiden, da mit der Ernte aufgrund der Terminplanung der Dienstleister oft nicht bis zu einer Frostperiode gewartet werden kann. Die Nachteile auf zur Vernässung neigenden Flächen könnte man dadurch vermeiden, dass man auf solchen Flächen KUP mit längerer Umtriebszeit anlegt, um die Bäume nach Erreichen eines Zieldurchmessers mit forstlicher Technik oder motormanuell zu fällen – idealer Weise in Eigenleistung.

Möchte man Fehlinvestitionen vermeiden, so ist weiterhin eine Prüfung der in Betracht kommenden Fläche von technischer und logistischer Warte aus von entscheidender Bedeutung. Die zentrale Frage, die bereits vor der Anlage einer KUP bis ins Detail geklärt werden sollte, stellt die geplante Verwendung des Materials dar. Hieraus ergeben sich alle weiteren Fragen nach der zu erzeugenden Qualität des Materials, des Pflanzverbandes und auch der einsetzbaren Erntetechnik. Als Entscheidungshilfe hierfür können die Richtlinien dienen, die in dem nachfolgenden Schema dargestellt sind (Abbildung 3).

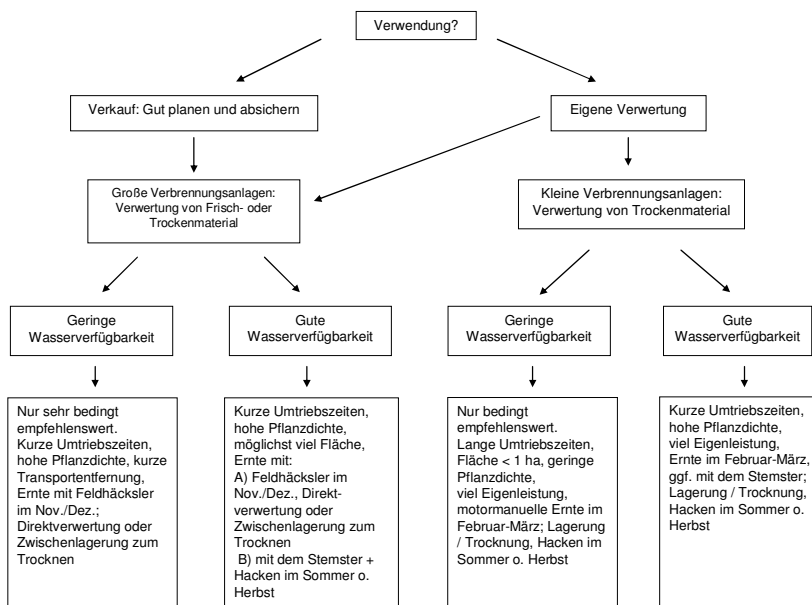


Abb. 3: Grobe situationsbezogene Richtlinien für die Anlage von KUP. Der best mögliche Erntezeitpunkt ist ebenfalls von der geplanten Verwendung der Biomasse abhängig. Soll das Material bereits im gleichen Winter verwertet werden, so empfiehlt sich eine Ernte im November oder Dezember, wenn der Bedarf an Hackschnitzeln hoch ist. Soll das Material erst in der kommenden Heizsaison in vorgetrocknetem Zustand verwertet werden, so empfiehlt sich die Ernte im Februar oder März, um Qualitätseinbußen durch eine Lagerung über die Wintermonate hinweg zu vermeiden.

Der „KUP-Ernteplaner“

Zur Verbesserung der Ernteplanung und insbesondere der Ernte-Logistik wurde im Rahmen des CREFF-Projektes ein neues und detailliertes Berechnungswerkzeug entwickelt, das hauptsächlich auf den Ergebnissen der beschriebenen Feldstudien beruht. Dieser „KUP-Ernteplaner“ bietet die Möglichkeit, flächenspezifische Eckdaten einzugeben und dadurch eine Abschätzung über die zu erwartenden Erntekosten anhand von individuellen Vorgaben zu berechnen. Er besteht aus drei Datenblättern, worin die wichtigsten Kenngrößen eines gegebenen Feldes eingetragen werden. Das Blatt *Ertragsschätzung* dient der Abschätzung der stockenden Biomasse, die anderen beiden Blätter dienen zur Berechnung der mit der Ernte verbundenen Kosten. Der Anwender kann hier zwischen dem Blättern *Hackgutlinien* und

Ganzbaumlinie wählen. Das erstgenannte Blatt ermöglicht die Berechnungen von Erntemethoden, wobei direkt Hackschnitzel erzeugt werden, wie z.B. mit den Gehölz-Mähhäckslern und den Anbauhackern. Das zweite Blatt beinhaltet die Berechnungen für diejenigen Erntemethoden, bei denen das Ernten und das Hacken des Materials in zwei getrennten Arbeitsschritten erfolgt. In beiden Blättern werden die erwarteten Kosten für die Ernte, den Biomasse-Transport oder auch die Lagerung numerisch und graphisch dargestellt. Der KUP-Ernteplaner berechnet weiterhin die Zeit, die für die Transportfahrten der Schleppergespanne während der Ernte benötigt wird, sowie – in Abhängigkeit der gewählten Volumina – die Anzahl der benötigten Container.

Die Möglichkeit zur Eingabe von individuellen Werten in den *KUP-Ernteplaner* ermöglicht es zu demonstrieren, auf welche Weise welche Parameter die Kalkulation beeinflussen und kann zur Entscheidungsfindung bezüglich der Frage beitragen, ob die Etablierung einer Plantage auf einer bestimmten Fläche empfehlenswert ist oder nicht. Dies gilt insbesondere für Grenzertragsstandorte. Wenn auf dem Blatt *Ertragsschätzung* zum Beispiel die Optionen „schlechte“ oder „sehr schlechte“ Wasserverfügbarkeit ausgewählt werden, sind die zu erwartenden Gewinnspannen vergleichsweise gering oder sogar negativ. Dann ist es wahrscheinlich, dass auch nach wiederholten Ernten während einer Periode von etwa 20 Jahren der erzielte Gesamterlös die Kosten für die Etablierung, Pflege und Rekultivierung der KUP nicht deckt. Das trifft vor allem für die Ganzbaumlinien zu, die in der Regel höhere Produktionskosten als Hackgutlinien verursachen. Dies verdeutlicht die bereits genannte Empfehlung, KUP auf marginalen Standorten nach Möglichkeit in Eigenleistung zu bewirtschaften und auf eine scharfe Vollkostenrechnung zu verzichten. Der *KUP-Ernteplaner* kann im Internet über die Webseite der FVA bezogen werden.

2.9 Kosten für Rekultivierungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der zwei Zeitstudien von Rekultivierungsmaßnahmen dargestellt. Die wenigen verfügbaren Veröffentlichungen enthalten Angaben, die von 1000 bis 6000 €/ha (Becker & Wolf, 2009) und von 500 bis 5000 €/ha (Große *et al.* 2010) reichen. Die Kosten für eine typische Rekultivierung liegen schätzungsweise zwischen 1300 und 1500 €/ha; sie betragen in



der Praxis aber auch schon 2500 €/ha (Große *et al.*, 2010). In den beiden von uns durchgeführten Zeitstudien beliefen sich die Kosten der ersten Rückwandlung in Bettenreute auf 1881 €/ha. In diesem Fall wurde ein kleiner Bagger für die Entfernung der Stümpfe von 17-jährigen Pappeln für sechs Tage ohne Fahrer gemietet. Die Arbeit wurde dabei von einem erfahrenen

Baggerführer durchgeführt, für den in dieser Rechnung nach KTBL (2006) 15 €/h als Arbeitslohn veranschlagt worden sind. Die Kosten für die zweite Rückwandlung beliefen sich auf 9000 €/ha. Bei dieser Variante führte der Fahrer eines Fendt 936 Vario folgende drei Schritte durch: 1) Grubbern, 2) Fräsen und 3) Mulchen (s. Bild nebenan). Rekultivierungskosten dieser Größenordnung sind offensichtlich überhöht und machen jegliche Wirtschaftlichkeitsrechnung für KUP zunichte. Sie müssen unbedingt vermieden werden. In diesem Fall war es jedoch nicht möglich, einen anderen Unternehmer zu finden, der willens bzw. in der Lage war, diese Rekultivierungsmaßnahme durchzuführen.

3 Auswirkungen verschiedener Erntemethoden auf den Wiederaustrieb von Pappeln

Im März des Jahres 2011 wurde mit dem Häcksler von New Holland eine 3-jährige KUP bei Kraichtal beerntet, die mit sechs verschiedenen Sorten von Pappeln bestockt war. Die Sorten Hybride 275, Max 1, Max 3, Max 4, Muhle Larsen, und Spickermann sind dort in jeweils aufeinander folgenden Doppelreihen angelegt worden. Das Feld wurde zuvor als Maisacker genutzt und wies eine hohe Bodengüte auf. Von jeder Sorte wurde die Biomasse gewogen. Abbildung 4 zeigt die ermittelten Mengen der Biomassen der sechs Sorten, wobei Muhle Larsen und Hybride 275 den geringsten Zuwachs aufwiesen. Bestehende Unterschiede in der Wüchsigkeit wurden offenbar noch dadurch verstärkt, dass Pappeln mit geringem Zuwachs durch die stärker wachsenden Nachbarreihen überwachsen und abgedunkelt worden waren.

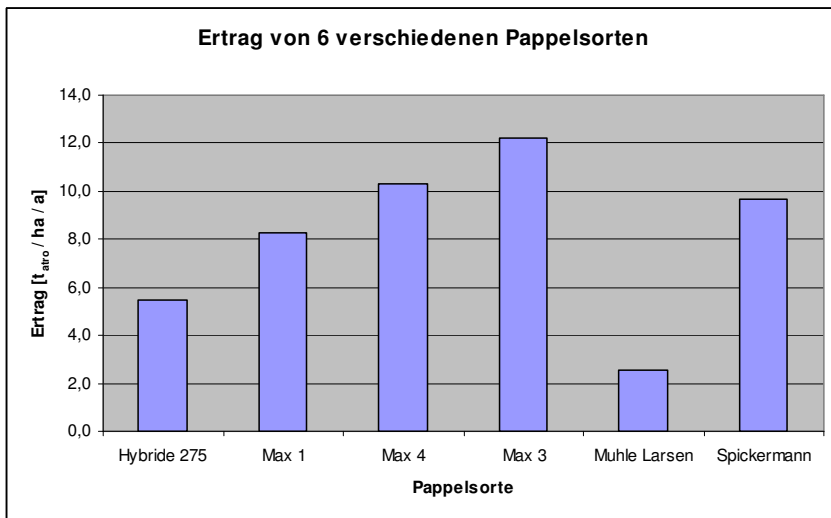


Abb. 4: Erträge (in $t_{dro}/ha/a$) von sechs verschiedenen Pappelsorten auf dem Feld Kraichtal 1. Die Erträge wurden bei der Ernte mit dem New Holland Gehölz-Mähhäcksler gewogen. Der Wassergehalt wurde bestimmt und vom Frischgewicht abgezogen.

Nach der Ernte wurde ein Versuch zur Ermittlung der potentiellen Auswirkungen von verschiedenen Erntemethoden auf den Wiederaustrieb der Pappeln durchgeführt. Auf einer Teilfläche wurden die Stöcke der Pappeln auf drei verschiedene Arten behandelt: 1) Belassen des normalen Schnitts mit dem New Holland-Mähhäcksler und dem 130 FB Vorsatz, 2) bodennahes Abschneiden der Stöcke mit einer Motorsäge, wobei ein sauberer Trennschnitt erzeugt wurde, 3) Zerstörung und Spaltung der Stöcke mit einer Axt. Darüber hinaus wurde bei

dem Klon Max 4 eine vierte Behandlung durchgeführt: die Bäume von insgesamt vier Reihen wurden bereits bei der Ernte mit dem New Holland Mähhäcksler deutlich höher als üblich geschnitten (in 28,8 cm Höhe gegenüber 9,9 cm beim normalen Schnitt). Auf diese Weisen sollten vier verschiedene Ernteverfahren verglichen werden werden.

1. Ein „normaler“ Schnitt von einem Feldhäcksler
2. Ein sauberer Schnitt von einer Motorsäge
3. Eine destruktive Durchtrennung des Stammes, wie sie beispielsweise von dem BioBaler durchgeführt wird
4. Ein normaler Schnitt von einem Feldhäcksler bei Schneelage. In solchen Fällen werden die Bäume oberhalb der Schneedecke geschnitten, so dass nach dem Abtauen des Schnees die Strünke deutlich höher sind als sonst üblich.

Im Februar und März 2012 wurden die Triebanzahl, der Brusthöhendurchmesser aller Triebe eines Stocks, die Höhe des stärksten Triebes eines Stocks sowie die Ausfallrate der einzelnen Klone und Varianten bestimmt (für Hybride 275 stand jedoch nur in sehr geringem Umfang Material zur Verfügung). Die Auswertung der Daten mittels ANOVA-Analyse zeigte bei den einzelnen Sorten keinerlei statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungsvarianten. Dies deutet darauf hin, dass die verschiedenen Behandlungsvarianten einschließlich der destruktiven Variante keinen Einfluss auf das Wiederaustriebsverhalten haben. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Höhe des stärksten Triebes für jede Behandlungsvariante und für jeden Klon. Auch hier war die Produktivität von Muhle Larsen und Hybride 275 am geringsten, teilweise waren große Ausfälle zu verzeichnen. Dies schien jedoch ein genereller Befund zu sein, der unabhängig von den Behandlungsvarianten aufgetreten ist und sich auch auf der Gesamtfläche der KUP widerspiegelte. Die Behandlungen schienen daher keinen Einfluss auf die klonspezifische Produktivität zu haben.

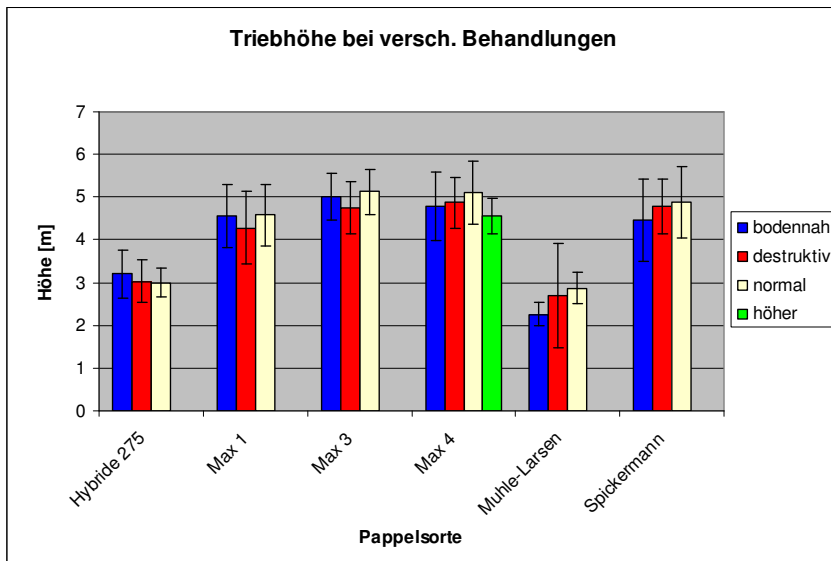


Abb. 5: Höhe des stärksten Triebes der Stöcke von sechs verschiedenen Pappelsorten nach einjährigem Wachstum im Anschluss an eine Ernte. Die Stöcke der Pappelsorten wurden nach der Ernte auf drei bzw. vier (Max 4) verschiedene Weisen behandelt. Eine ANOVA-Analyse ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass verschiedene Erntetechniken zumindest in der ersten Vegetationsperiode nach einer Ernte keinen Einfluss auf die Vitalität und das Wiederaustriebsverhalten der sechs getesteten Pappelklone haben. Sie scheinen die vereinzelt geäußerte Vermutung zu bestätigen, dass Erntemethoden, welche die Stöcke der Bäume stark in Mitleidenschaft ziehen, das Wiederaustriebsverhalten der geernteten Bäume nicht beeinträchtigen. Dennoch ist denkbar, dass sich eventuelle Nachteile wie eine verminderte Stabilität der Stockarchitektur oder auch verstärkter Pilzbefall erst nach einiger Zeit zeigen. Die Entwicklung der Bäume soll weiter verfolgt werden.

4 Schlussbetrachtungen

Die Ernte von Kurzumtriebsplantagen läßt sich heute unter technischen Aspekten problemlos mit Gehölz-Mähhäckslern durchführen. Hierbei sollten die Reihen einen Mindestabstand von zwei Metern besitzen. Allerdings können auf vernässenden Böden und in Hanglagen Probleme auftreten, und die Wirtschaftlichkeit von KUP ist erst ab jährlichen Zuwächsen von schätzungsweise 10 t_{atro}/ha gegeben. Weiterhin ist die Lagerung der aus erntefrischem (feuchtem) Material hergestellten Hackschnitzel problematisch und kann zu erheblichen Biomasseverlusten führen. Im Idealfall sollte zu Beginn der Heizperiode geerntet werden, so dass die Hackschnitzel im frischen Zustand direkt in großen Anlagen verwertet werden können. Für kleinere Anlagen empfiehlt sich, die Bäume zunächst zu ernten, und sie erst nach einem Trocknungsprozess zu Hacken. Da diese Verfahren allerdings kostenintensiver sind als diejenigen mit Gehölz-Mähhäckslern, sollten hier Arbeitsschritte wie das Fällen und Rücken nach Möglichkeit in Eigenleistung erbracht werden und Transportentfernungen so kurz wie möglich gehalten werden. Verfügt ein Unternehmen über großflächig angelegte KUP, so kann sich auch der Einsatz des Stemmerrentiers. Dort, wo forstliche Erntetechnik eingesetzt werden muss, empfiehlt sich beispielsweise ein Aggregat, wie es in Alldorf zum Einsatz gekommen ist. Hier handelte es sich um eine Kombination aus einem Fäller-Bündler und einem Rückezug, der die abgeschnittenen Bäume auf einen Rungenkorb ablegen konnte. Es erwies sich als eine vorteilhafte Lösung, da zum Ernten und Rücken nur eine Maschine benötigt wird. Daraus resultieren geringere Maschinentransportkosten, ein geringerer terminlicher Planungsaufwand und eine geringere Bodenverdichtung. Allerdings ist auch bei zweiphasigen Ernten stets auf gute jährliche Zuwächse zu achten. Grundsätzlich gilt: Je mehr Zuwachs pro Jahr zu erwarten steht, um so eher kann die Anlage von KUP empfohlen werden. Die Anlage auf Grenzertragsstandorten kann daher nur eingeschränkt empfohlen werden, und zwar nur für Flächen, die über eine gute Wasserverfügbarkeit im Boden verfügen. Die Anlage von KUP auf solchen Flächen muss auch dann sehr genau für den Einzelfall geprüft und geplant werden – insbesondere im Hinblick auf die zukünftige Verwertung des erzeugten Hackschnitzelmaterials und die einzusetzende Erntetechnik. Die Kosten des Ernteprozesses selbst lassen sich derzeit am ehesten dadurch verringern, dass die Abfuhrlogistik gut organisiert ist und keine Wartezeiten bei den Gehölz-Mähhäckslern bzw. den Hackern entstehen. Hierfür wurde ein Kalkulationsprogramm entwickelt, das die Planung der Ernteprozesse erleichtert und zu Abschätzung der entstehenden Kosten genutzt werden kann. Was die Art und Weise betrifft, wie die Trennschnitte bei der Ernte von KUP-Bäumen geführt werden, so scheinen verschiedene Techniken inklusive der weitgehenden Zerstörung der Stöcke keinen Einfluss auf das Wiederaustriebsverhalten der Stöcke zu besitzen.

Verwendete und weiterführende Literatur

- BECKER, R.; SCHOLZ, V.; WEGENER, J. (2010). Maschinen und Verfahren für die Ernte von Kurzumtriebsverfahren. In: A. BEMMANN & C. KNUST (Hrsg.), Agrowood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin: Weißensee Verlag, pp. 88-102.
- BECKER, R.; WOLF, H. (2009): Acker, Plantage, Acker – eine wechselseitige Nutzung. AFZ-Der Wald 64, 530-531
- BURGER, F. (2007): Potenziale von Energiewäldern auf landwirtschaftlichen Flächen. AFZ-Der Wald 62, 749-750
- BURGER, F.; SCHOLZ, V. (2004): Stand der Technik bei der Ernte von Energiewäldern. Holz-Zentralblatt 46, 610-611.
- ECKEL, H.; HARTMANN, S.; SCHROERS, J. O.; DÖHLER, H.; SCHOLZ, V.; LORBACHER, F. (2008): Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. Landtechnik 63(6), 351-353.
- GROSSE, W.; BÖCKER, L.; LANDGRAF, D.; SCHOLZ, V. (2010): Rückwandlung von Plantagenflächen in Ackerland. In: A. BEMMANN & C. KNUST (Hrsg.), Agrowood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin: Weißensee Verlag, pp. 130-138.
- HANDLER, F.; BLUMAUER, E. (2009): Optimierung der Verfahrenstechnik bei der Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen. Zwischenbericht zum Forschungsprojekt BLT 2291.
- KTBL (2006): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Reinheim: Lokay.
- MURACH, D.; HARTMANN, H.; WALOTEK, P. (2008): Ertragsmodelle für landwirtschaftliche Dendromasse. In: D. MURACH, L. KNUR L. & M. SCHULTZE (Hrsg.), Endbericht DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse. Verlag Dr. Norbert Kessel, Remagen, pp. 93-116.
- RÖHLE, H.; ALI, W.; HARTMANN, K.-U.; STEINCKE, C. (2010): Wachstum und Biomasseproduktion schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. In: A. BEMMANN & C. KNUST (Hrsg.), Agrowood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin: Weißensee Verlag, pp. 103-116.
- SCHOLZ, V.; LÜCKE, W. (2007): Stand der Feldholz-Erntetechnik. Landtechnik 62, 222-223.



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Wonnhaldestrasse 4
79100 Freiburg

Tel.: (07 61) 40 18 - 0
FAX: (07 61) 40 18 - 3 33
fva-bw@forst.bwl.de
www.fva-bw.de