

# Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten



Fachmaterial  
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

## I Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide

### Inhaltsverzeichnis

1	Merkmale des Anbaus schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen .....	3
2	Anbautechnische Eigenschaften von Pappel- und Weidenarten .....	4
3	Pappel- und Weidensorten für den Kurzumtrieb .....	6
4	Pflanzgut.....	8
5	Bodenvorbereitung und Pflanzung.....	8
6	Pflege- und Schutzmaßnahmen .....	12
7	Krankheiten und Pflanzenschutz.....	13
8	Düngung .....	13
9	Ernte .....	16
10	Erträge.....	22
11	Lagerung / Trocknung.....	23
12	Bereitstellungskosten / Wirtschaftlichkeit.....	24
13	Rekultivierung .....	26
14	Verwendung und Markt.....	26
15	Übersicht zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb.....	32
Anhang	.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Wichtige Adressen .....		35
Fotonachweis .....		35
Literaturverzeichnis .....		36
Kontakt .....		40

## 1 Merkmale des Anbaus schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen

Der Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen ist eine spezielle Produktionsrichtung der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.

Im zwei- bis zehnjährigen Umtrieb werden Schwachholzsortimente erzeugt, die als Brennstoff oder Industrieholz verwendet werden können.

Diese Form des Anbaus unterscheidet sich von der forstlichen Nutzung durch wesentlich höhere Stammzahlen pro Hektar, geringere Stammdurchmesser und Stammeinzelgewichte. Schnellwachsende Baumarten zeichnen sich durch ein starkes Jugendwachstum aus, d. h. sie erreichen bereits nach 10 bis 15 Jahren den höchsten laufenden Zuwachs ( $V_{fm}/ha \cdot a$ )<sup>1</sup>. Dieses Wachstumsverhalten weisen bestimmte Laubholzarten wie die Weide, Pappel, Robinie, Erle und Birke auf.

Sehr gute Anbauerfahrungen im Kurzumtrieb wurden dabei mit Pappeln und Weiden erzielt. Beide Baumarten lassen sich leicht über Steckhölzer vermehren. Pappel- und Weidenbestände erreichen im Jugendstadium sehr hohe Zuwachsraten an Biomasse. Günstig für den Kurzumtrieb ist auch ihr kräftiger Wiederaustrieb nach der Ernte und ihre Dichtstandsverträglichkeit.

Die Pappeln und Weiden sind in den letzten Jahren speziell in Richtung Schnellwüchsigkeit, Krankheitsresistenz und hohe Zuwachsleistung züchterisch bearbeitet worden, so dass im Kurzumtriebsanbau auf leistungsstarke Sorten zurückgegriffen werden kann.

Im feldmäßigen Anbau schnellwachsender Baumarten unterscheidet man drei Rotationsformen (LÖFFLER et al., 1988):

### 1. Mini-Rotation

Bei mini-Rotationen erfolgt die Ernte der Bäume bereits nach zwei- bis dreijähriger Wachstumszeit. Um nach dieser kurzen Entwicklungszeit wirtschaftliche Erträge von  $\approx 10 \text{ t TM}/ha \cdot a$  (DIMITRI, 1989) zu erzielen, sind sehr dichte Bestände (16.000 - 20.000 Bäume/ha) zu etablieren. Diese Nutzung führt zu hohen Masseleistungen je Hektar in Form von sehr schwachem Holzmaterial (3 - 4 cm Stammdurchmesser), das ausschließlich für Heizzwecke eingesetzt wird. Meist werden Weiden in mini-Rotation genutzt.

### 2. Midi-Rotation

Die Ernte der Bäume erfolgt aller 4 – 6 Jahre. In dieser Wachstumszeit erzielen die Bäume stärkere Stammdurchmesser (6 – 8 cm) und höhere Stammeinzelgewichte als bei zwei- bis dreijährigem Ernterhythmus. Midi-Rotationen erfordern deshalb geringere Bestandszahlen zum Ertragsaufbau. Günstig sind Baumzahlen von 8.000 – 12.000 Stück/ha.

### 3. Maxi-Rotation

In solchen Plantagen werden die Bestände erst nach 8 – 10 Jahren geerntet. Der Ertrag wird in noch stärkerem Maße über das Einzelgewicht realisiert. Die Stammdurchmesser betragen 10 – 12 cm. Baumzahlen von 1500 – 3000 Stück/ha gewährleisten bei dieser Nutzungsrichtung einen optimalen Aufwuchs.

Kurzumtriebsplantagen können über 20 Jahre genutzt werden. In der Landwirtschaft sind sie damit unter die Kategorie der Dauerkulturen einzuordnen.

Die Kultivierung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb ist noch eine sehr junge Anbau- richtung in der Landwirtschaft. Nach gegenwärtigem Stand werden in Deutschland 197 ha (Niedersachsen, Sachsen, Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg) angebaut.

In Schweden werden bereits 16.000 ha Weidenplantagen zur Brennstoffgewinnung genutzt (LARSSON, 2003).

Das Interesse an Kurzumtriebsplantagen hat in jüngster Zeit deutlich zugenommen. Die vorliegende Broschüre will deshalb über Fragen des Anbaus, der Verwertung und Wirtschaftlichkeit informieren.

---

<sup>1</sup>  $V_{fm}$  = Vorratsfestmeter

## 2 Anbautechnische Eigenschaften von Pappel- und Weidenarten

Zur Gattung Pappel (*Populus*) gehören etwa 40 Arten, die mehreren Sektionen zugeordnet sind. Vertreter der Sektionen *Tacamahaca* (Balsampappel), *Aigeiros* (Schwarzpappel) und *Leuce* (Zitterpappel) sind für den Kurzumtrieb besonders gut geeignet (Tabelle 1). Sie gedeihen auf einem breiten Bodenspektrum, besitzen gute Resistenzeigenschaften gegen Schädlinge und weisen eine hohe Dichtstandsverträglichkeit auf. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist ihre starke Wuchs- und Ertragsleistung in den ersten 10 Jahren ihrer Entwicklung.

Tabelle 1: Anbautechnische Eigenschaften von wichtigen Pappelsektionen für den Kurzumtrieb

Sektion/	<i>TACAMAHACA</i>	<i>AIGEIROS</i>	<i>LEUCE</i>
Subsektion	(Balsampappel)	(Schwarzpappel)	(Weiß-/Zitterpappel)
	-	-	Aspen ( <i>Trepidae</i> )
wichtige Arten	<i>P. maximoviczii</i> – asiatische Balsampappel	<i>P. nigra</i> – europäische Schwarzpappel	<i>P. tremula</i> – europäische Zitterpappel
	<i>P. trichocarpa</i> – amerikanische Balsampappel	<i>P. deltoides</i> – amerikanische Schwarzpappel	<i>P. tremuloides</i> – nordamerikanische Zitterpappel
	<i>P. balsamifera</i> – nordamerikanische Balsampappel	<i>P. angulata</i> – (Mutante <i>P. deltoides</i> var. <i>missouriensis</i> )	
Standortansprüche	wechselfeuchte Standorte, keine windexponierten Lagen	hohe Ansprüche an Nährstoffversorgung und Durchwurzelbarkeit, keine Staunässe	mäßig nasse bis trockene Standorte, jedoch Grundwassereinfluss, geringe Ansprüche an Klima und Standort
Bodenarten	breites Spektrum: Sandböden bis Lehm, auch trockene Standorte, optimal fließendes Grundwasser 1 - 2 m, nährstoffreich, kalkhaltig	bevorzugt Aueböden, gut durchlüftete Standorte, gute Wasserführung	breites Spektrum: Kippenböden bis schwere Lehm Böden, optimal sind frische humus- und nährstoffreiche Böden
Wuchs- und Ertragsleistung	rasches Jugendwachstum	empfindlich auf Dichtstand	starkes Jugendwachstum, gute Verträglichkeit des „auf den Stocksetzen“, Dichtstandsverträglichkeit
wichtige Schädlinge Rinde / Blatt	gute Resistenz gegen Pappelbock und Pappelblattkäfer	-	kleiner und großer Pappelbock, roter Pappelblattkäfer
Besonderheit	Dichtstandsverträglichkeit, kräftige Bewurzelung	nicht geeignet für Kurzumtrieb, große Bedeutung als Kreuzungspartner	keine Stecklingsbewurzelung, langsames Wachstum ( <i>tremula</i> ), mind. 8-jähriger Umtrieb notwendig

Von den zahlreichen Arten der Gattung Weide (*Salix*) (ca. 300 Arten) wird hauptsächlich die Korb- oder Hanfweide (*Salix viminalis* L.) in Kurzumtriebssystemen angebaut. Bevorzugte Standorte sind Niederungsgebiete, Hügelland sowie Bach- und Flussläufe. Die Korbweide ist ein mittelhoher Strauch (6 m Wuchshöhe) mit schlanken grauen oder gelbgrünen Trieben, die sehr dicht behaart sind.

Weitere für die Kurzumtriebsnutzung geeignete Arten sind *Salix smithiana* (Kätzchenweide) und *Salix dasyclados* (Filzastweide).

*Salix smithiana* (*S. caprea* x *S. viminalis*) ist ein bis zu 6 m hoher Strauch, der breit ausladend ist. Die Kätzchenweide stellt geringe Bodenansprüche und bildet eine vorzügliche Bienenweide. Ebenfalls eine Hochstrauchform ist die Filzastweide (*S. dasyclados*). Beide Arten erreichen gute Ertragsleistungen im Kurzumtrieb. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, kommt für den Anbau der Weiden ein breites Spektrum an Bodenarten in Frage. Besonders geeignet sind frische bis wechselfeuchte Standorte. Wichtig ist, dass der Wurzelraum ausreichend durchlüftet ist und keine Staunässe aufweist.

Weidensteckhölzer wachsen sehr sicher an. Der Stockausschlag ist kräftig, neigt aber stärker als bei der Pappel zur Verbuschung. Hervorzuheben ist die gute Frosthärte und Krankheitsresistenz. Die genannten Arten sind wichtige Kreuzungspartner für Hochleistungssorten.

Tabelle 2: Anbautechnische Eigenschaften von Weidenarten für den Kurzumtrieb

Gattung	<i>Salix</i>
wichtige Arten	<i>Salix viminalis</i> (Korb-/ Hanfweide) <i>Salix smithiana</i> (Kätzchenweide) <i>Salix dasyclados</i> (Filzastweide)
Standortansprüche	wechselfeuchte bis feuchte Standorte, jedoch keine Staunässe
Bodenarten	breites Spektrum an Bodenarten, bevorzugt leichte, gut durchlüftete Böden
Wuchs- und Ertragsleistung	starkes Jugendwachstum
wichtige Schädlinge Rinde / Blatt	Weidenblattrost
Besonderheit	Dichtstandsverträglichkeit, große Frosthärte

### 3 Pappel- und Weidensorten für den Kurzumtrieb

Für den Kurzumtrieb sind eine Reihe von Pappel- und Weidensorten gezüchtet worden (Tabelle 3 und 4). Es sind Hybridsorten, die auf intraspezifischen und interspezifischen Kreuzungen beruhen. Sie werden hinsichtlich ihrer Anbaueignung kurz charakterisiert. In Versuchen haben die Sorten ein Ertragsniveau von 10 – 20 tTM/ha\*a bei mittlerer Umtriebszeit realisiert.

Von gentechnisch gezüchteten schnellwachsenden Baumarten wird ein verdoppeltes Wachstum erwartet. In einem Freisetzungsversuch bei Hamburg werden 500 gentechnisch veränderte Pappeln getestet ([www.cdu.de/politik-a-z/gentechnik/themenfelder\\_der\\_biotechnologie.pdf](http://www.cdu.de/politik-a-z/gentechnik/themenfelder_der_biotechnologie.pdf)).

Tabelle 3: Wichtige Pappelsorten für den Kurzumtrieb

Pappelsorten Name	Kreuzungspartner	Bemerkung
Mühle Larsen (w) Fritzi Pauley (w) Columbia River (m) Trichobel	<i>P. trichocarpa x P. trichocarpa</i>	mittlere bis hohe Leistung bei midi-Rotation
Androscoggin (m) Hybride 275	<i>P. maximovizcii x P. trichocarpa</i>	mittlere bis hohe Leistung bei midi-Rotation
Rochester (w) Max 1-5	<i>P. nigra x P. maximovizcii</i>	hohe Ertragsleistung bei mini- und midi-Rotation
Unal Raspalje Beaupré Barn Donk Boelare Rap	<i>P. deltoides x P. trichocarpa</i>	sehr hohe Ertragsleistung bei allen Rotationstypen
Tapiau 1-8 Ahle 1-20	<i>P. tremula x P. tremula</i>	
Müнден 1-20 Astria (w)	<i>P. tremula x P. tremuloides</i>	hohe Leistung bei maxi-Rotation

(w) weiblich, (m) männlich

Quelle: nach FRIEDRICH et al. (1994), HOFMANN (1995)

Tabelle 4: Wichtige Weidensorten für den Kurzumtrieb

Weidensorte Name	Kreuzung	Bemerkung
Zieverich Carmen Ingeborg Ulf Rapp Orm Loden	<i>S. viminalis</i>	mittlere bis hohe Ertragsleistung in mini- Rotation (2 – 3 Jahre), mittlere bis gute Resistenz gegen Blattrost
Jorr	<i>S. viminalis</i> (Kreuzung holländischer Klone)	hohes Ertragspotenzial, zügige Jugendentwicklung, mittlere Resistenz gegen Blattrost
Tora	<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i> (Kreuzung sibirische Korbweide x Orm)	hohe Zuwachsraten, weitgehende Blattrostresistenz, geringer Befall mit Gallmücken, kaum Wildverbiss
Torhild	( <i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i> ) x <i>S. viminalis</i> (Kreuzung der Sorten Tora und Orm)	sehr hohes Ertragsniveau, weitgehend resistent gegen Blattrost
Sven	<i>S. viminalis</i> x ( <i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i> )  (Kreuzung der Sorten Jorum und Björn)	Hohertragssorte, hohe Resistenz gegen Blattrost
Olof	<i>S. viminalis</i> x ( <i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i> ) (Kreuzung der englischen Sorte Bowles Hybrid mit Björn)	kleinwüchsig, hohe Triebzahl, hohes Ertragsniveau, kein Blattrostbefall
Gudrun	<i>S. dasyclados</i>	hohe Frosttoleranz, ausgeprägte Resistenz gegen Blattbockkäfer, geringer Wassergehalt zur Ernte, gute Unkrautunterdrückung, teilweise Wildschäden
Tordis	( <i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i> ) x <i>S. viminalis</i> Kreuzung der Sorten Tora und Ulv	Blattrostresistenz, hohes Ertragspotenzial

Quelle: nach LARSSON (2003)

#### 4 Pflanzgut

Die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen erfolgt ausschließlich vegetativ über Steckhölzer, Steckruten, Setzstangen oder Legeruten. In der Praxis haben sich bei der Begründung von Kurzumtriebsplantagen Steckhölzer durchgesetzt.

Bei Steckhölzern handelt es sich um einjährige Triebe, die während der Winterruhe von mindestens drei Jahre alten Mutterpflanzen gewonnen werden. Für die Steckholzgewinnung sind gerade, gut verholzte, gesunde 20 – 30 cm lange Triebabschnitte zu verwenden. Es ist darauf zu achten, dass die Knospen geschlossen sind. Die Steckhölzer sollten einen Durchmesser von 10 bis 20 mm aufweisen. Kräftiger entwickeltes Pflanzgut bezeichnet man je nach Alter, Länge und Durchmesser der Triebabschnitte als Steckruten, Setzstangen und Legeruten (Tabelle 5).

Mit älterem und stärker entwickeltem Pflanzmaterial erreicht man in den ersten Standjahren eine schnelle Entwicklung der Bestände. Auf der Basis von Steckhölzern etablierte Kurzumtriebsplantagen holen in der Regel diesen Entwicklungsvorsprung später wieder auf. Aus Kostengründen sind deshalb die preiswerteren Steckhölzer zu empfehlen.

Pflanzmaterial sollte man im Interesse der Sortenreinheit und Qualität von Baumschulen oder Züchtern erwerben.

Tabelle 5: Pflanzgut für schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb

	Steckholz	Steckrute	Setzstange	Legerute
Alter	1 Jahr	1 - 2 Jahre	Setzstange	1 – 4 Jahre
Länge	20 cm	80 – 250 cm	200 – 400 cm	100 – 300 cm
Durchmesser	10 – 20 mm	10 – 30 mm	25 – 50 mm	10 – 35 mm
Pflanztiefe	20 cm	30 – 50 cm	70 – 100 cm	15 – 20 cm
Verband	beweglicher Verband	Endverband	Endverband	beweglicher Verband
Qualität	gerade gesund ohne Rindenverletzungen	gerade gesund gut verholzt	gerade gesund ohne Seitenzweige	gesund ohne Verletzungen

Quelle: nach HOFMANN (2002 b)

#### 5 Bodenvorbereitung und Pflanzung

Steckhölzer und ebenso Steckruten oder Setzstangen verlangen ein gut abgesetztes, feinkrümeliges Pflanzbett.

Als Grundbodenbearbeitung ist deshalb das Pflügen vorzusehen. Schwere, lehmige Böden pflügt man am besten im Herbst vor dem Pflanzjahr. Auf leichten, sandigen Böden kann die Pflugfurche auch im Frühjahr gezogen werden. Der Pflug ist auf eine Pflugtiefe von 25 – 30 cm einzustellen.

Im Frühjahr ist das Pflanzbett herzurichten. Die gepflügte Ackerkrume ist zu diesem Zweck einzuebnen, rückzuverfestigen und feinkrümelig zu gestalten. Dies erreicht man in guter Qualität durch eine Grubber-Eggenkombination.

Sind die Flächen stark verunkrautet, empfiehlt es sich einige Tage vor dem Pflanzen die Herbizide Round up oder Flexuron auszubringen.

Sieht man Grünland- oder Brachfläche für Kurzumtriebsplantagen vor, ist die Grasnarbe sorgfältig umzubrechen und durch Fräsen zu zerkleinern.

Für die Pflanzung sind Maschinen aus dem Forst- und Baumschulbereich sehr gut geeignet. Die Geräte arbeiten ein- bis mehrreihig. Sie können Pflanzmaterial unterschiedlicher Stärke und Größe ausbringen und verschiedene Pflanztiefen realisieren.



Verschiedene für die Gründung von Schnellwuchsplantagen geeignete Pflanzmaschinen werden in ihren wichtigsten technischen und arbeitswirtschaftlichen Parametern charakterisiert (Abbildung 1 bis 3). Bewährt haben sich in der Praxis besonders die Pflanzaggregate vom Typ „Tolne“ und „Quickwood“ (Abbildung 3).

Die Pflanzanzahl ist abhängig von der Rotationsdauer.

Zur Begründung von mini-Rotationen (2 – 3jähriger Umtrieb) empfiehlt man Bestandsdichten von etwa 16.000 – 20.000 Steckhölzer pro Hektar.

Bei mittleren Rotationszeiten (4 – 6 Jahre) sollte eine Bestandsdichte von ca. 8.000 – 12.000 Pflanzen/ha gewählt werden.

Plant man eine lange Rotationsdauer von 8 – 10 Jahren, sind geringe Pflanzstärken (1.800 – 3.300 Steckhölzer/ha) erforderlich.

Die Pflanzverbände werden vor allem von der Ernte- und Pflégetechnik bestimmt. So haben sich im Pflanzverband Abstände von 2,0 m zwischen den Reihen bewährt. Innerhalb der Reihe betragen die Pflanzabstände 0,30 m bis 0,60 m je nach Bestandsdichte. Dieses Pflanzsystem ist für einreihig arbeitende Ernteaggregate geeignet.

Bei zweireihig arbeitenden Erntemaschinen ist die Anlage von Doppelreihen günstig. Der Abstand in der Doppelreihe beträgt 0,75 m. Die nächste Doppelreihe folgt in einem Abstand von 1,50 m – 2,50 m. Dies richtet sich nach der Arbeitsbreite der Pflégetechnik.

Weite Pflanzabstände von 3 m x 2 m oder 3 m x 1 m sind bei langen Umtriebszeiten notwendig.



Pflanzmaschine PL-10

Zum Pflanzen von Unterlagen, Heister, Koniferen und u. a. P-9 Pflanzen (Staudengewächse), 4 mechanisch verstellbare Tiefenräder, 2 Andrückscheiben, Pflanzvorratskasten, 1 auswechselbares Pflanzelement mit Grabenbreite nach Wahl



Pflanzmaschine PL-10/2

2-Reihen Ausführung, Hauptbalken und 2 Stück PL-10 Pflanzmaschinen, 6 mechanisch verstellbare Tiefenräder, 4 Andrückscheiben, 2 Pflanzvorratskästen, 1 auswechselbares Pflanzelement mit Grabenbreite nach Wahl, auch lieferbar: Pflanzmaschine PL-10/3 oder PL-10/4, 3-Reihen oder 4-Reihen Ausführung

Abbildung 1: Pflanzmaschinen für schnellwachsende Baumarten (Auswahl)



Pflanzmaschine PL-40

Zum Pflanzen von Alleebäumen und großen Koniferen, Ladefläche 2.00 m breit, beide Seiten von Ladefläche abnehmbar, Grabenbreite 40 cm, 2 mechanisch verstellbare Tiefenräder, mechanisch angetriebenes Spatenelement, ausgestattet mit 4 Spaten, Gelenkwelle mit Rutschkupplung



Pflanzmaschine PL-75

Zum Pflanzen von schweren Alleebäumen und großen Koniferen mit oder ohne Ballen, 4 mechanisch verstellbare Tiefenräder, Grabenbreite 75 cm, mechanisch angetriebenes Spatenelement, schwere Ausführung, ausgestattet mit 8 Spaten



Pflanzmaschine PL-90

Zum Pflanzen von schweren Alleebäumen und großen Koniferen mit oder ohne Ballen, 4 hydraulisch verstellbare Tiefenräder, Anbaukonsole für Baumladekran, Grabenbreite 90 cm, mechanisch angetriebenes Spatenelement, schwere Ausführung, ausgestattet mit 8 Spaten, Gelenkwelle mit Scherbolzsicherung



Grondboor WB 3-5

Fortsetzung Abbildung 1: Pflanzmaschinen für schnellwachsende Baumarten (Auswahl)



#### Forsttechnik Flora

- Länge/Breite - 2,20 m/1,20 m
- Gewicht etwa 900 kg
- für Schlepper ab 45 kW (60 PS), Allrad
- ein-, zwei- und dreireihig kombinierbar
- mit 1 oder 2 Arbeitsplätzen pro Maschine
- großer Pflanzenvorratsraum
- Schutzplane mit zusätzlichen Seitenteilen
- höhenverstellbare Räumschare
- hydraulisch angetriebene Kolterscheibe (Sonderwunsch)
- verlängerte und verstellbare Fußabstützung
- verstellbarer Spurreißer
- Pflanzen- Abstandsmarkierer
- verbreiteter Pflanzspalt bis auf ca. 120 mm
- Tiefenbegrenzungsräder (Sonderwunsch)



#### Forsttechnik RPKU

- Länge/Breite/Höhe – 2,70 m/2,40 m/2,40 m
- Gewicht: 1200 kg
- Arbeitselemente: Stützräder, Scheibensech, Pflugkörper, Pflanzschar, Pflanzscheibe, Andruckwalzen
- Bedienung: 1 Traktorist, 2 Pflanzler
- Leistung: ca. 2,2 ha/Schicht
- Einsatz auf sämtlichen Bodenvarianten und Kahlschlägen
- Leistung Schlepper: 80-100 PS Allrad
- optimale Pflanzenlänge: 40-80 cm
- Wurzelpflanztiefe: bis 30 cm

Abbildung 2: Forstpflanztechnik für schnellwachsende Baumarten (Auswahl)



#### Quickwood I

- Schlepper ab 37 kW
- Länge/Breite/Höhe: 1,80/1,20/1,00 m
- Gewicht: 450 kg
- Pflanzmaterial: wurzelnackte, im Container oder im Ballen
- Pflanzgröße: 20 – 100 cm
- Pflanztiefe 10 – 25 cm
- Bedienpersonal: 2, optimal 3 AK



#### Quickwood II

- Schlepper ab 37 kW
- Länge/Breite/Höhe: 1,80/1,20/1,00 m
- Gewicht: 700 kg
- Pflanzmaterial: wurzelnackte, im Container oder im Ballen
- Pflanzgröße: max. 150 cm
- Pflanztiefe 15 - 40 cm
- Bedienpersonal: 2 AK

Abbildung 3: Forstpflanztechnik für schnellwachsende Baumarten (Auswahl)

## 6 Pflege- und Schutzmaßnahmen

Die Pflegemaßnahmen in Kurzumtriebsplantagen beschränken sich im Wesentlichen auf das erste und zweite Standjahr. In dieser Etablierungsphase sind die heranwachsenden Bestände vor zu starkem Unkrautdruck zu schützen. Hierzu sind Roll- und Scharhacken am besten geeignet, um zwischen den Reihen Ungräser und Unkräuter zu dezimieren. Die Bodenfräse ist zur Pflege der Bestände weniger geeignet. Sie lockert sandige Böden zu stark auf und befördert so das schnelle Austrocknen der obersten Bodenschicht. Beim Einsatz auf schweren Boden können Frässohlen entstehen, die die Ausbildung der Wurzeln behindern.

Starker Grassdurchwuchs in den Reihen behindert ebenfalls das Wachstum der Baumtriebe. Mittels Freischneider können die konkurrierenden Gräser beseitigt werden.

Synthetische Herbizide sind nach gegenwärtigem Stand (12/2003) für Kurzumtriebsplantagen nicht zugelassen.

Nach dem Abschluss des ersten bzw. zweiten Standjahres sind keine weiteren Pflegemaßnahmen erforderlich.

Bei starker Trockenheit nach der Pflanzung wird ein Bewässern der Plantage empfohlen, um einen sicheren Anwuchs der Pflanzung zu gewährleisten.

In rehwildreichen Regionen sind die jungen Baumbestände unbedingt vor Verbiss- und Fegeschäden zu schützen. Dadurch können Bestandsverluste von wirtschaftlich gravierendem Ausmaß entstehen. Das Einzäunen der Kurzumtriebsplantage oder das Auftragen von Verbisschutzmitteln (z. B. Cervacolextra, Arcotal, Weißteer TS 300 u. a.) auf die Terminaltriebe der Jungbäume sind wirksame, allerdings auch kostspielige Gegenmaßnahmen.

## 7 Krankheiten und Pflanzenschutz

Pappeln und Weiden werden im Verlaufe ihres normalen Lebenszykluses von zahlreichen Pilzen und Insektenarten heimgesucht. In der speziellen Nutzungsform des Kurzumtriebes können vor allem Rostpilze (*Melampsora spec.*) sowohl bei Pappeln als auch Weiden auftreten.

Begünstigend hierfür ist feucht warmes Wetter. Besonders der Frühsommerbefall führt zu vorzeitigem Abfall der Blätter und Ertragsrückgang. Tritt die Infektion erst im Spätsommer auf, wird das Verholzen der Jahrestriebe verzögert. Die Frostanfälligkeit und Gefahr von sekundärem Schädlingsbefall nimmt dadurch zu (SINNER, 1996). Eine hohe Rostresistenz weisen die asiatischen Balsampappeln auf.

Weitere pilzliche Schäden, die an Pappelarten auftreten können, sind der Rindenbrand (*Dothchiza populae*), die Triebspitzenkrankheit (*Pollaccia radiosia*) und Blattfleckenkrankheit (*Marssonina spec.*). Auch der Befall von Pappelkrebs (*Xanthomonas populi*) ist möglich (SCHULZKE et al., 1990).

In Weidenbeständen ist vor allem der Befall mit Blattrost (*Melampsora spec.*) bedeutsam.

Weiter zu nennen sind die Triebspitzenkrankheit (*Pollaccia saliciperda*), Blattflecken (*Monostichelle salicis*), Rindennekrose (*Fusarium sp.*) und der Rindenbrand (*Glomerella spec.* / *Colletotrichum spec.*). Sie sind in Weidenplantagen weniger verbreitet.

Auch der Befall mit tierischen Schädlingen (Pappelbock, Gallmücke, Pappel- und Weidenblattkäfer sowie Pappelblattroller) ist im Kurzumtrieb von geringer Bedeutung.

Bei der Flächengründung sind möglichst mehrere Sorten mit guten Resistenzeigenschaften zu berücksichtigen. Dadurch wird wirtschaftlichen Schädigungen durch pilzliche und tierische Krankheitserreger vorgebeugt. Außerdem werden die Risiken stärkerer Ertragseinbrüche vermindert.

Beim Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb besteht generell die Gefahr, dass sich auf diesen Flächen Schermäuse (*Arvicola terrestris* L.) und Feldmäuse (*Microtus arvalis*) in stärkerem Maße ansiedeln. Insbesondere die Schermaus kann in hoher Bestandsdichte auftreten. Neben dem Verwühlen des Bodens benagt die Schermaus hauptsächlich während des Winters die Wurzeln der Laubgehölze. Dies geschieht oft in dem Maße, dass die Bäume eingehen. Besonders Neupflanzungen sind gefährdet. Bis zu 50 % des Jungbestandes können auf diese Weise vernichtet werden (FORTMANN, 2002).

Die kleine Wühlmaus (Feldmaus) nagt am Wurzelhals die Rinde ringförmig ab. Auch dies führt zur Schädigung und Schwächung der Bäume.

Neuanpflanzungen sind deshalb auf Befall sorgfältig zu kontrollieren. Ist eine erhöhte Bestandsdichte an Feld- und Schermäusen (= 0,1 Tier/m<sup>2</sup>) festzustellen, muss eine Bekämpfung erfolgen. Entsprechende Präparate zur Mäusebekämpfung sind mit Köderleegeräten (Spezialschare) auf den befallenen Flächen auszubringen.

## 8 Düngung

Zur Düngung von Kurzumtriebsplantagen liegen auf Grund des bisher geringen Anbauumfanges vergleichsweise wenige Ergebnisse vor.

So konnte in einem Düngungsversuch an drei Jahre alten Weidenbeständen ein starker ertragssteigernder Effekt einer N-Düngung (90 kg N/ha; 150 kg N/ha) nachgewiesen werden (LARSSON et al., 1998). Bei Pharmaweiden ist jedoch eine N-Düngung zu unterlassen oder stark zu reduzieren. Hohe N-Gehalte senken den Gehalt an pharmazeutisch wichtigen Inhaltsstoffen in den Trieben. In einer Kurzumtriebsplantage mit Aspen wurde nur in der ersten Rotation ein schwacher Mehrertrag durch zusätzliche N-Düngung festgestellt (REHFUESS, 1995). Ältere Untersuchungsergebnisse weisen an Pappelkulturen hingegen auf eine positive Ertragswirkung durch regelmäßige Düngung hin. Aus den uneinheitlichen Ergebnissen ist abzuleiten, dass eine an den Standort und

Ertrag angepasste Düngung im Sinne der nachhaltigen Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen praktiziert werden sollte (KAUTER et al., 2001).

Für die Höhe der Düngergabe ist der Entzug an Nährstoffen mit dem Erntegut maßgebend. Geerntet wird die gesamte oberirdische Biomasse (Stamm, Äste, Zweige) während der Vegetationsruhe im Winter, nachdem das Laub weitgehend abgefallen ist. Hierbei ist zu beachten, dass sich der Nährstoffgehalt mit der Umtriebsdauer deutlich verändert (Tabelle 6). Je länger die Umtriebszeit gewählt wird, umso mehr verschiebt sich das Verhältnis zwischen Stamm und Rinde zu Gunsten des nährstoffarmen Stammholzes. Der Rindenanteil, in dem in starkem Maße die Nährstoffe (N, P, K, Ca) gebunden sind, verringert sich dadurch.

Tabelle 6: Durchschnittliche Nährstoffgehalte im Erntegut schnellwachsender Baumarten (Pappel/Weide) im Kurzumtrieb (in % in der Trockenmasse)

Nährstoff	Umtrieb		
	2 Jahre	4 Jahre	12 Jahre
Stickstoff (N)	0,66	0,37	0,20
Phosphor (P)	0,11	0,06	0,03
Kalium (K)	0,36	0,26	0,19
Magnesium (Mg)	0,06	0,08	0,05
Kalzium (Ca)	0,51	0,54	0,54

nach KRAPPENBAUER (1989); HARTMANN (2000); RÖHRICHT et al. (2002)

Bei mittlerer Umtriebszeitdauer (4 Jahre) ist mit den in Tabelle 7 zusammengestellten jährlichen Nährstoffentzügen in Abhängigkeit vom Ertragsniveau zu rechnen.

Tabelle 7: Jährliche Nährstoffentzüge schnellwachsender Baumarten (Erntegut) in Abhängigkeit vom Ertragsniveau

Nährstoff	Umtrieb: 4 Jahre					
	Ertragsniveau (t TM/ha*a)					
	6	8	10	12	14	16
	Nährstoffentzug kg/ha (gerundet)					
Stickstoff (N)	22	30	37	44	52	59
Phosphor (P)	4	5	6	7	8	10
Kalium (K)	16	21	26	31	36	42
Magnesium (Mg)	5	6	8	10	11	13
Kalzium (Ca)	32	43	54	65	76	86

Danach werden mit dem Erntegut hauptsächlich Kalium, Stickstoff, Kalzium und in geringerem Maße Phosphor und Magnesium entzogen. Auf der Grundlage von Versuchsdaten wird beispielhaft der jährliche Nährstofffluss bilanziert. Es wird deutlich, dass etwa 30 % der aufgenommenen Nährstoffe in den Blättern gebunden sind und im System Boden-Pflanze verbleiben. Die negativen Bilanzen für die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalzium weisen auf die Notwendigkeit von Düngungsmaßnahmen in Kurzumtriebsplantagen hin (Abbildung 4).

Mit Hilfe der Richtwerte (Tabelle 6 und 7) kann der Nährstoffentzug des Erntegutes in Abhängigkeit von der Rotationsdauer und dem geplanten Ertrag ermittelt werden.

Diese Nährstoffe sind über entsprechende Düngungsmaßnahmen dem Boden wieder zuzuführen. Bei der Bemessung der N-Gabe ist der pflanzenverfügbare N-Gehalt im Boden ( $N_{min}$ ) im Frühjahr zu Beginn des neuen Umtriebes zu berücksichtigen. Bei hohen  $N_{min}$ -Gehalten, die über den bo-

denspezifischen Normalwerten liegen, sind Abschläge von ca. 20 % zu der am N-Entzug ausgerichteten N-Gabe vorzunehmen (Tabelle 8).

Die für Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Kalzium (Ca) anhand der Entzugsrichtwerte (Tabelle 6 und 7) berechnete Düngergabe ist ebenfalls weiter an die standortspezifischen Bedingungen anzupassen.

In Abhängigkeit vom Versorgungszustand der Ackerkrume mit P, K, Mg wird die berechnete Düngergabe durch Zu- oder Abschläge weiter modifiziert. Die Höhe der Kalkgabe ist am standortspezifischen optimalen pH-Wert auszurichten.

Für die Berechnung der Zu- und Abschläge bilden die entsprechenden Richtwerte aus dem erprobten Düngungsberatungsprogramm BEFU (FÖRSTER et al., 2003) eine gute Grundlage.

<u>Mittleres Ertragsniveau (Max 3)</u>			
	Ernte: Stämme, Äste, Zweige <u>11 t TM/ha</u>	Blattmasse- <sup>1)</sup> Abfall <u>3 t TM/ha</u>	Bilanz
	kg/ha	kg/ha	kg/ha
N	59	24	- 35 N
P	14	3	- 11 P
K	45	48	+ 3 K
Mg	7	7	+ 0 Mg
Ca	57	40	- 17 Ca

<sup>1)</sup> Ertrag kalkuliert nach Angaben von LERCH (1985)  
Nährstoffgehalte nach Angaben von KAUTER et al. (2001)

Abbildung 4: Jährliche Nährstoffbilanz bei schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb in Abhängigkeit vom Ertragsniveau, Versuchsdaten Kalkreuth, 3-jähriger Umtrieb

Tabelle 8: Normalwerte des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Stickstoff ( $N_{min}$ ) im Boden in kg/ha

Bodenart	$N_{min}$ 0 – 60 cm
S	30
SI	30
IS	35
SL	45
sL	55
L	65
IT	70
T	70
Mo	40

nach FÖRSTER et al. (2003)

Mit Hilfe der Blattanalyse ist es möglich, den Ernährungszustand der Bäume in Kurzumtriebsplantagen zu beurteilen. Für Pappeln und Weiden sind Grenzwertbereiche eines optimalen Ernährungszustandes ermittelt worden (BERGMANN, 1988; MAKESCHIN, 1994). Die Blattanalyse wird in der Hauptwachstumsphase (August) der Bäume am vierten voll ausgebildeten Blatt von der Spitze des höchsten Triebes der Bäume vorgenommen. Mit ihrer Hilfe kann der Versorgungszustand der Bäume mit Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium beurteilt werden (Ta-

belle 9). Die Blattdiagnose ist somit eine weitere Entscheidungshilfe, um Düngungsmaßnahmen gezielt anzuwenden.

Tabelle 9: Grenzwerte für Charakteristik des optimalen Ernährungszustandes von schnellwachsenden Baumarten auf der Grundlage der Blattanalyse nach BERGMANN (1988) und MAKESCHIN (1994)

Nährstoff mg/g TS	Pappelblätter	Weidenblätter
Stickstoff (N)	18 – 25	26 – 32
Phosphor (P)	1,8 – 3,0	3,5 – 5,0
Kalium (K)	12 – 18	16 – 18
Kalzium (Ca)	3 – 15	11 – 14
Magnesium (Mg)	2 – 3	1,8 – 2,3

## 9 Ernte

Die Erntesysteme für Kurzumtriebsplantagen unterteilt man nach ihrem Mechanisierungsgrad in motormanuelle, teilmechanisierte und vollmechanisierte Verfahren. Sie werden nachfolgend bezüglich der Verfahrensabschnitte, Maschinen, Leistungen und Kosten charakterisiert.

### Motormanuelle Ernte

Zum Fällen der Bäume können die

- Motorsäge
- Bügelmotorsäge und
- der Freischneider

eingesetzt werden. Von den drei Schneidwerkzeugen ist die Bügelmotorsäge ergonomisch am günstigsten zu beurteilen. Die Motorsäge verlangt bei der Trennschnittführung eine stark gebückte Haltung und führt zu einer hohen körperlichen Belastung (Abbildung 5).

Bei der Bügelmotorsäge kann das Fällen der Bäume in aufrechter Haltung vom Motorsägenführer ausgeführt werden. Sie ist bis zu einem Stockdurchmesser von 10 cm einsetzbar.

Auch der Freischneider ist ergonomisch günstiger als die Motorsäge zu bewerten, da die gebückte Haltung beim Schneiden entfällt. Das Tragen des Freischneiders ist allerdings durch Vibration und Lärmbelästigung anstrengend.

Die Kosten für das Fällen bewegen sich je nach Schneidaggregat und Ertrag in einer weiten Spanne (Tabelle 10).

Tabelle 10: Fällkosten für verschiedene motormanuelle Verfahren

Verfahren	Kosten €/t TM atro <sup>1)</sup>
Motorsäge 2 - Mann - Verfahren	22,5 € bei 10 t TM atro/ha
	6,1 € bei 100 t TM atro/ha
Bügelmotorsäge 2 - Mann - Verfahren	31,7 € bei 10 t TM atro/ha
	11,2 € bei 100 t TM atro/ha
Freischneider 2 - Mann - Verfahren	60,3 € bei 10 t TM atro/ha
	20,0 € bei 100 t TM atro/ha

nach KÜPPERS et al. (1994)

<sup>1)</sup> atro: absolut trocken





Abbildung 5: Fällen eines dreijährigen Pappelbestandes im Kurzumtriebsanbau mit Motorsäge

Im nächsten Verfahrensabschnitt der motormanuellen Ernte wird das Erntegut zu Bündeln vorkonzentriert und in die Rückegasse transportiert. Zum Rücken können verschiedene Techniken eingesetzt werden (Tabelle 11). Mit hohen Stückkosten ist das händische Vorkonzentrieren und Rücken mit Pferd verbunden. Der Einsatz von Kranrückeanhängern, Seilschleppern und modernen Forstrückemaschinen steigert die Leistung und senkt die Stückkosten erheblich.

Tabelle 11: Kosten für Rücken und Bündeln der Bäume mit unterschiedlichen Verfahren

Verfahren	€/t TM atro
Bündeln und Rücken mit Pferd	43
Bündeln und Rücken mit Kranrückeanhänger	31
Rücken und Bündeln mit Seilschlepper	31
Rücken und Bündeln mit Forwarder oder Klemmbankschlepper	11

#### Hacken

Das durch Bündeln und Rücken konzentrierte Material wird durch mobile oder stationäre Hacker zu Hackschnitzeln aufbereitet. Zu den mobilen Hackern zählen die Aufbau- und Antriebhacker sowie selbstfahrenden Hacker. Aufbauhacker werden an einen in der Leistung auf den Hacker abgestimmten Schlepper montiert und vom Schlepper angetrieben. Antriebhacker befinden sich auf einem speziellen Anhänger. Dabei verfügen mittlere und große Hacker über einen eigenen Motor. Bei selbstfahrenden Hackern ist der Hacker fest in ein Fahrzeug integriert.

Aufbauhacker erreichen Durchsatzleistungen von 2,5 bis 5,0 t TM atro/h.

Antriebhacker verarbeiten 3,5 bis 8 t TM atro/h Holz zu Hackschnitzeln (Abbildung 6).



Abbildung 6: Aufbereitung von Kurzumtriebsholz zu Hackschnitzeln durch Anhängenhacker - motormanuelles Verfahren

Nach dem Zerkleinerungsmechanismus unterscheidet man drei verschiedene Typen:

- Scheibenhacker
- Trommelhacker
- Spiral- oder Schneckenhacker

Beim Scheibenhacker sind 2 - 4 Messer auf einer rotierenden Scheibe angeordnet. Er verarbeitet Holzstärken von 100 bis 300 mm Durchmesser zu Hackgut. Die Kantenlänge der Hackschnitzel kann zwischen 4 und 180 mm eingestellt werden. Der Kraftbedarf beträgt je nach Größe des Hackers 8 - 105 kW.

Das Zerkleinerungsaggregat des Trommelhackers besteht aus einem um die Längsachse rotierenden Zylinder, auf dem an der Außenseite bis 20 Hackmesser angebracht sind. Dieser Hacker zerkleinert Holz bis zu einer Stärke von 180 bis 450 mm. Das Hackgut kann in einer Kantenlänge von 8 bis 80 mm geschnitten werden. Trommelhacker weisen je nach Größe einen Kraftbedarf von 45 - 325 kW auf.

Im Spiralhacker besorgt eine rotierende Kegelschnecke das Zerkleinern des Holzes. Die Kantenlänge ist zwischen 20 - 80 mm variierbar. Es lassen sich Holzstärken von 160 - 270 mm verarbeiten. Der Kraftaufwand liegt je nach Hackerdimension zwischen 30 - 130 kW.

Der Investitionsaufwand für kleinere handbeschickte Hacker (25 - 60 kW Kraftbedarf) bewegt sich zwischen 4.300 und 12.800 €. Hacker mittlerer Größe (Kraftbedarf bis 250 kW) erfordern einen Investitionsbedarf von 30.700 bis 62.000 €. Großhacker (Kraftbedarf bis 465 kW) kosten zwischen 180.000 und 385.000 € in der Anschaffung. Für die Beschickung mittlerer und großer Hackaggregate ist ein Kran vorzusehen.

Das Hacken am Feldrand oder einem zentralen Aufbereitungsplatz ist produktiver als auf der Rückgasse. Die Kosten betragen 14 – 29 €/t Trockenmasse atro.

#### Gesamtverfahren motormanuelle Ernte

Wertet man die Gesamtverfahren der motormanuellen Ernte, ergeben sich für die Verfahrensvariante: Fällen mit Bügelmotorsäge, Bündeln und Rücken mit Klemmbankschlepper und Hacken auf der Feldstraße die günstigsten Bereitstellungskosten je Tonne Hackschnitzel. Sie betragen etwa 50 €/t TM atro bei einem Ertrag von 10 t TM atro /ha\*a. Das motormanuelle Verfahren kommt vorzugsweise für kleine Flächen in Frage.

### Teilmechanisierte Ernte

Die teilmechanisierte Ernte erfolgt nach einem absätzigen Verfahren mit einem Fäller-Bündler-Aggregat als Schlüsselmaschine.

Diese Maschine schneidet mittels gegenläufiger Kreissägen die Vollbäume in etwa 10 cm Höhe über dem Erdboden vom Stock und konzentriert sie zu Bündeln, die auf dem Feld abgelegt werden. Die Leistungsdaten verschiedener Fäller-Bündler sind der Tabelle 12 zu entnehmen. Von den Leistungsparametern sind die Aggregate geeignet, Bäume mit mittlerem Stammdurchmesser (7 – 8 cm), der bei 4- bis 6-jähriger Umtriebszeit erreicht wird, zu ernten. Hervorzuheben ist, dass der Fäller-Bündler-Prototyp FB 7 auch Vollbäume mit starkem Stammdurchmesser ernten kann.

Tabelle 12: Fäller- Bündler- Erntemaschinen für Kurzumtriebsplantagen (Auswahl)

Gerätebezeichnung	Gerätekombination	Ernteprinzip	Ernteprodukt	Schneidmechanismus	max. Stammdurchmesser	Ernteleistung	Herkunft/Preis
ESM-901	selbstfahrende Erntemaschine für Weiden	Fällen, Bündeln in Vertikalposition Ablage am Feldrand	Vollbäume	zwei gegenläufige Kreissägen Blattdurchmesser 60 cm	10 cm	21 t/h Frischgut	Schweden 106.000 € bei Serienproduktion
Fröbbesta	Anhängegerät an landw. Schlepper (80 kW)	Fällen, Bündeln Ablage parallel zur Fahrtrichtung	Vollbäume	zwei gegenläufige Kreissägen Blattdurchmesser 65 cm	10 cm	20 t/h Frischgut (Weide)	Schweden 50.000 €
FB-7 Prototype Short-Rotation-Harvester	Anhängegerät an landw. Schlepper	Fällen, Bündeln, (8-10 Bäume) seitliche Ablage	Vollbäume	zwei gegenläufige Kreissägen Blattdurchmesser 61 cm	17,8 cm	1000 Stämme/h	Kanada
Dansalix Weidenerntemaschine	Anbaugerät an Schlepper	Fällen, Bündeln auf Ladefläche, Übernahme der Bündel durch Schlepper mit Frontlader	Vollbäume	Kreissäge	10 cm		Dänemark

Quelle: KÜPPERS et al. (1994)

Im weiteren Verfahrensablauf sind die gebündelten Vollbäume wiederum durch Hacker zu Hackschnitzeln zu zerkleinern. Das absätzige Verfahren hat den Vorteil, dass die Bäume auf dem Feld lagern und trocknen können.

Da die Fäller-Bündler sich durch hohe Flächenleistungen auszeichnen, sind diese Maschinen für mittlere bis große Anbauflächen geeignet. Bei hoher Auslastung dieser Spezialmaschinen ist mit Kosten in Höhe von 22 – 30 €/t Trockenmasse atro (Ernte und Aufbereitung) zu rechnen.

### Vollmechanisierte Ernteverfahren

Das vollmechanisierte Ernteverfahren von Kurzumtriebsplantagen ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vollbäume in einem Arbeitsgang vom Stock getrennt und zu Hackschnitzeln verarbeitet

werden. Dafür sind Vollernter entwickelt worden, die über eine Schneidvorrichtung (Kreissäge, Hackscheiben, Messerscheiben), ein Einzugsaggregat (Walzen) für Stämme und eine Hackeinrichtung zum Zerkleinern der Vollbäume verfügen. Von den in Tabelle 13 charakterisierten Vollerntern hat der Claas-Jaguar Vollernter in Schweden auf Kurzumtriebsflächen mit Weiden (3-jähriger Umtrieb) eine stärkere Verbreitung gefunden (Abbildung 7).

Tabelle 13: Fäller- Hacker zur Ernte von Kurzumtriebsplantagen (Auswahl)

Gerätebezeichnung	Gerätekombination	Ernteprinzip	Ernteprodukt	Schneidmechanismus	max. Stammdurchmesser	Ernteleistung	Herkunft/Preis
Claas Jaguar	selbstfahrende Erntemaschine	Fällen, Hacken, Übergabe in Hochkippscontainer	Feinhackschnitzen	zwei gegenläufige Kreissägen 60 cm	4 cm	25 t/h Frischgut	Deutschland 150 T €
Göttinger Gehölmähacker	Anbau an landw. Schlepper	Fällen, Hacken, Hochkippscontainer	Grobhackschnitzen	eine Kreissäge 100 cm	8 cm	18 t/h Frischgut	Deutschland 50 T €
Austoft 7700	selbstfahrende Erntemaschine	Fällen, Hacken, Überladen parallel fahrende Transporteinheit	Grobhackschnitzen	zwei gegenläufige Messerscheiben	6 cm	45 t/h Frischgut (Weide)	Australien umgebaut in Schweden 215 T €
Ungarischer Prototyp zur Beerntung von Laubholz	Anbaugerät an Geräteträger	Fällen, Hacken, Überladen der Hackschnitzen in nachlaufenden Hochkippscontainer	Hackschnitzen	zwei Messerkopfscheiben			Ungarn

Quelle: KÜPPERS et al. (1994)



Abbildung 7: Claas Mähhäcksler zur Ernte von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb

Für gut entwickelte Weidenbestände benötigt der Claas-Jaguar Vollernter zur Ernte eines Hektars ungefähr zwei Stunden. Mit der Schneideinrichtung wird jeweils eine Doppelreihe im Weidenbestand (0,75 m Breite) erfasst. Das Erntegut wird im Interesse einer hohen Maschinenauslastung am Feldrand zwischengelagert (LARSSON, 2003).



Abbildung 8: Göttinger Mähacker für die Ernte von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb

Der Göttinger Gehölmähacker ist ein Anbaugerät für einen Geräteträger (= 85 kW Leistung). Das Ernteaggregat arbeitet einreihig. Die als Schneidmechanismus angebrachte Kreissäge trennt Bäume bis zu einem Durchmesser von 80 mm vom Stock. In einem vertikal angeordneten Hacker wird das Erntegut zu Grobhackschnitzel zerkleinert (Abbildung 8).

Mit dem AUSTOFT 7700 wurde ein Zuckerrohrernter so modifiziert, dass mit ihm Kurzumtriebsplantagen geerntet werden können. Er ist zur Ernte von Pappeln und Weiden im 2- bis 5-jährigen Umtrieb geeignet. Die Bäume werden mittels gegenläufig rotierender Messerscheiben vom Stock getrennt. Das Häckselgut wird über ein Förderband auf einen parallel fahrenden Anhänger befördert (Abbildung 9).



Abbildung 9: Selbstfahrhäcksler AUSTOFT 7700 zur Ernte von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb

Vollernter sind nur in größeren, geschlossenen Anbaugeländen mit Kurzumtriebsplantagen voll ausgelastet. Unter solchen Bedingungen erreichen sie sehr günstige Erntekosten von 10 bis 15 €/t Trockenmasse atro.

Unterzieht man die vorgestellten Ernteverfahren einer kurzen Wertung, ist das motomanuelle Verfahren sehr kostenintensiv. Es kommt nur für den Kleinanbau zur Deckung des Brennstoffbedarfs in kleineren landwirtschaftlichen Betrieben in Frage.

Für den großmaßstäblichen Anbau sind die teil- und vollmechanisierten Ernteverfahren anzuwenden. Ihr Einsatz sollte über Maschinenringe oder größere landwirtschaftliche Erzeugergemeinschaften zur Energieholzgewinnung erfolgen. Dadurch wird eine hohe Auslastung bei geringen Kosten erreicht.

## 10 Erträge

Das Ertragsniveau schnellwachsender Baumarten wird durch das Zusammenspiel von Sorte, Boden, Klima und Anbautechnik bestimmt.

Die Erträge schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb fußen gegenwärtig vorrangig auf Untersuchungen im Versuchs- und Pilotmaßstab. Die Übertragbarkeit auf den Praxismaßstab verlangt somit gewisse Korrekturen.

Für vierjährige Pappelaufwüchse (*P. trichocarpa*) konnte für ertragsschwache Klone ein jährlicher Ertragszuwachs von 7 - 14 t TM/ha\*a, für ertragsstarke Klone von 16 - 18 t TM/ha festgestellt werden. Pappeln der Kreuzung *P. trichocarpa* x *P. deltoides* erreichten im vierjährigen Umtrieb 27 - 28 t TM/ha\*a (KAUTER et al., 2001).

Auf einem lehmigen bis schwach lehmigen Standort mit 760 mm Jahresniederschlagssumme erzielten die sich durch ein langsames Jugendwachstum auszeichnenden Aspen der Sorte „Astria“ auf dem frischen Standort 8,8 t TM/ha\*a, auf dem mäßig frischen Standort 3,9 und auf dem trockenen Standort 1,4 t TM/ha\*a bei vierjährigem Umtrieb.

Die Pappelsorten „Beaupré“ und „Unal“ konnten unter frischen Standortverhältnissen mit 11,1 bzw. 16,3 t TM/ha\*a die höchsten Erträge nachweisen. Auf den mäßig feuchten Flächen sank die Ertragsleistung auf 2 bis 3,5 t TM/ha\*a. Nur knapp 1 t TM/ha\*a betrug der Ertragszuwachs im vierjährigen Umtrieb auf dem trockenen Standort. Für die Sorten „Max 1“ bis „Max 5“ sind je nach Standortbedingungen Ertragszuwächse von 0,9 bis 3,5 t TM/ha\*a ermittelt worden.

Als sehr leistungsstark erwiesen sich auf den feuchten Standorten die beiden Weidensorten *S. viminalis* „Carmen“ und „Zieverich“. Ihr jährlicher Ertragszuwachs belief sich im vierjährigen Umtrieb auf 11 bis 14 t TM/ha (feuchter Standort), 8 - 11 t TM/ha auf mäßig feuchten Boden und 4 - 6 t TM/ha\*a auf einem trockenen Standort (FRIEDRICH et al., 1994).

Auf einem Grundwasser geprägten sandigen Lehmboden der Bodenwertzahl 49 wurden im dreijährigen Umtrieb mit Aspen („Astria“, „Münden“) 8,5 t TM/ha Ertrag pro Jahr erzielt.

Die geprüften Balsampappelklone („Muhle Larsen“, „Max 1“, „Max 3“, „Beaupré“) erzielten im Durchschnitt zweier dreijähriger Umtriebe einen jährlichen Zuwachs von 12,1 t TM/ha. Die höchsten Erträge wurden durch „Beaupré“ und „Max 1“ erzielt. Eine sehr hohe Ertragsleistung ist bei der Weidensorte „Zieverich“ festzustellen. In einem zweimalig durchgeführten dreijährigen Umtrieb wurden jeweils 18 t TM/ha\*a Zuwachs nachgewiesen (RÖHRICHT et al., 2002).

Auf einem rekultivierten Kippenboden (Standort Welzow – Süd, Lausitz) konnte ein Ertrag von 4,5 t TM/ha\*a (dreijähriger Umtrieb) im Durchschnitt der geprüften Pappelsorten erzielt werden. Den Spitzenertrag markierte die Sorte „Beaupré“ mit 12 t TM/ha\*a (BENS et al., 1998).

Auf Sandböden konnte im Mittel von drei Rotationen (dreijähriger Umtrieb) ein jährlicher Ertrag von 10 t TM/ha mit Weiden (*Salix viminalis* „Zieverich“, Stämme 78 – 101; *S. dasyclados* Filzastweide) nachgewiesen werden (BOELCKE, 2001).

Im großflächigen Praxisanbau von Weiden (400 - 900 ha) nahm im dreijährigen Umtrieb der Ertrag pro Jahr um 4,3 t TM/ha zu. Standortabhängig schwankten die jährlichen Zuwachsraten zwischen 1 t TM/ha und 15 t TM/ha (LARSSON et al., 1998).

Die in Versuchen und im praktischen Anbau ausgewiesenen Erträge zeigen, dass mit dem vorhandenen Sortenspektrum an Pappeln und Weiden ein durchschnittlicher jährlicher Ertragszuwachs von 10 - 12 t TM/ha auf landwirtschaftlichen Böden realisiert werden kann. In Abhängigkeit von der Bodenqualität ist mit einer breiten Ertragsamplitude von 6 bis 18 t TM/ha\*a zu rechnen.

## 11 Lagerung / Trocknung

Im Winter geerntete Vollbäume aus Kurzumtriebsplantagen weisen in der Regel noch eine Feuchte von 50 - 60 % auf. Um das Erntegut (Hackschnitzel) über eine längere Zeit lagern zu können, ist eine Trocknung auf eine Restfeuchte von = 20% notwendig. Lufttrockenes Holz (= 20 % Wasser) weist einen höheren Heizwert (4,3 kWh/kg) als erntefrisches Holz (1,5 kWh/kg) auf. Die Trocknung verhindert auch, dass im Lager stärkere Substanzverluste durch Atmungsprozesse und mikrobielle Zersetzung einsetzen. Außerdem wird eine Schimmelbildung am Holz verhindert. Zur Trocknung können verschiedene Verfahren herangezogen werden. In Abhängigkeit vom Feuchtegrad und der Hackschnitzelgröße sollten folgende Belüftungssysteme praktiziert werden:

### 1. Kaltbelüftung

Bei feuchten Holzackschnitzeln (ca. 50 % Wassergehalt) steigen im Lagerstapel die Temperaturen rasch innerhalb von 5 bis 10 Tagen auf 70 bis 80 °C an. Grobhackschnitzel (Kantenlänge 6 - 10 cm) erhitzen sich dabei weniger als Feinhackschnitzel, da eine bessere Durchlüftung im Stapel stattfindet. Bei lufttrockenen Hackschnitzeln (25 % Restfeuchte) verläuft der Temperaturanstieg im Lagerstapel wesentlich langsamer. Erst nach ca. 25 Tagen entstehen Temperaturen von 50 °C (BRUSCHE, 1983). Für eine Selbstentzündung reichen diese Temperaturen nicht aus. Der Flammpunkt des Holzes liegt bei 230 °C (EBERT, 1997). Als Mindestschütthöhe wird für das feuchte Hackgut ca. 1 m empfohlen.

Grobes Hackgut (Kantenlänge 6 - 10 cm) erfordert auch bei Restfeuchten von ca. 50 % keine zusätzliche Zwangsbelüftung im Lager.

Mittel- und Feinhackgut bedarf ebenfalls keiner Zwangsbelüftung, wenn das Material eine Restfeuchte von weniger als 30 % aufweist.

Eine zusätzliche Trocknung ist bei feuchtem Fein- und Mittelhackgut (= 40 % Wassergehalt) erforderlich. Bei der Kaltbelüftung ist mit Trocknungskosten von 12 €/t Hackschnitzel zu rechnen, wenn der Wassergehalt im Holz von 50 auf = 20 % gesenkt werden soll (KOLLOCH, 1990).

Die Gebläseluft treibt die feuchte Luft aus dem Stapel. Dadurch kann auch die Pilzbildung im Hackgut unterbunden werden. Besonders feuchtes Feinhackgut wird bei längerer Liegezeit ohne Belüftung von Pilzen besiedelt. Es wurden im Einzelnen folgende Pilzgattungen festgestellt: *Bispora*, *Paxillus*, *Faligo*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Aspergillus* und *Serratia* (DREINER et al., 1994; IDLER et al., 2004). Hohe Pilzsporenkonzentrationen rufen beim Menschen Mykosen hervor. Beim Umschlag von Holzackschnitzeln im Lager ist deshalb das Tragen einer Atemschutzmaske vorgeschrieben.

### 2. Belüftungstrocknung

Ein weiteres Trocknungsverfahren ist die Belüftung mit vorgewärmter Luft. Dadurch wird der Trocknungsprozess beschleunigt. Kostengünstig ist zur Trocknung Abwärme einzusetzen. Der Einsatz von Heizöl oder Erdgas verteuert den Prozess sehr stark.

Üblich ist, dass die Belüftung des Stapels vom Lagerboden aus über spezielle Lüftungsschächte (Unterflurschächte) erfolgt. Hierbei sind Schütthöhen von mindestens 1 m bis maximal 4 m Höhe zu wählen.

Die Lagerung des Stammholzes im Freien - wie aus der Forstwirtschaft bekannt - ist eine Variante, um auf natürliche Weise das Holz zu trocknen. Innerhalb eines Jahres sinkt der Wassergehalt auf 30 %.

Für die Belüftungstrocknung von Hackschnitzeln im Lager (Altgebäude) ist mit Kosten von 18 €/t TM bis 23 €/t TM (je nach Lagerräumen und Holzfeuchte) zu rechnen (KOLLOCH, 1990).

## 12 Bereitstellungskosten / Wirtschaftlichkeit

Für den Anbau und die Aufbereitung schnellwachsender Baumarten zu Hackschnitzeln liegen noch relativ wenig belastbare Kostenkalkulationen vor.

Auf der Grundlage verschiedener Literaturquellen kann bei der Hackschnitzelproduktion aus Kurzumtriebsplantagen mit durchschnittlichen Kosten von 78 €/t Trockenmasse absolut gerechnet werden (RÖHRICHT et al., 2002).

Die Schwankungsbreite reicht dabei von 36 bis 109 €/t Trockenmasse (Hackschnitzel). Sie resultiert aus der unterschiedlichen Intensität der Bewirtschaftung, Nutzungsdauer der Anlage, dem unterstellten Ertragsniveau und der einbezogenen Kostenfaktoren.

Die nachfolgenden Kostenkalkulation bezieht sich auf eine Kurzumtriebsplantage, die durch folgende typische Bedingungen gekennzeichnet ist:

- Bestandsgründung auf einem Schlag mit mittlerer Bodengüte und gutem Nährstoffversorgungszustand der Ackerkrume
- Etablierung von 11.000 Bäumen/ha
- Durchführung einer vierjährigen Rotation
- Gesamtnutzungsdauer 20 Jahre
- Ertragsniveau 12 t TM/ha\*a

Auf der Basis von Literaturdaten werden für eine derartige Kurzumtriebsplantage die Kosten für die Bereitstellung von Hackschnitzeln ermittelt (Tabelle 14). Die Kalkulation berücksichtigt die Kosten zur Etablierung (Anlagekosten), des Produktionsverfahrens mit den Verfahrensschritten der Bestandspflege, Düngung, Beerntung und Rekultivierung der Plantage sowie des Transportes, der Trocknung und Lagerung der Hackschnitzel. Im Sinne der Vollkostenrechnung werden auch die allgemeinen Kosten (Pacht, Betriebsleitung, Versicherung u. a.) aufgenommen.

Zur Etablierung der Plantage mit 11.000 Bäumen/ha sind Kosten von etwa 2.200 €/ha erforderlich. Dabei wird ein sehr moderater Preis von 8 Cent/Steckholz zugrunde gelegt, der für den Bezug von größeren Stückzahlen zutreffend ist. Der Zaunbau als weitere stark ins Gewicht fallende Kostenposition kann eventuell auf Großschlägen entfallen. Auf kleineren Kurzumtriebsflächen in sehr rehwildreichen Regionen ist er jedoch zu empfehlen.

Betrachtet man die Verfahrenskosten, prägen vor allem die Trocknung, Beerntung und Düngung die Gesamthöhe der Kosten. Bei der Trocknung wurde der Fall unterstellt, dass sehr feuchtes Hackgut (= 50 % Wassergehalt) einzulagern ist. Die im vorliegenden Fall gewählte Kaltbelüftung bedingt Kosten in Höhe von 15 €/t TM (KOLLOCH, 1990; STREHLER, 1986). Passive Trocknungsverfahren senken die Kosten auf etwa 5 €/t. Sie führen aber auch zu stärkeren Substanzverlusten.

Da für die Ernte großer Anbauflächen der Vollernter Vorteile bietet, werden im Beispiel die Kosten für diese Maschine (10 €/t TM) zu Grunde gelegt.

Im Interesse einer nachhaltigen Landbewirtschaftung soll der Bedarf an Nährstoffen (N, P, K) mit einer Düngung von 180 kg N/ha, 29 kg P/ha und 125 kg K/ha je Rotation abgedeckt werden. Eine an dem Kriterium  $N_{\min}$  – Gehalt des Bodens, PK-Versorgungszustand der Ackerkrume und Ernährungszustand der Bäume orientierte Düngungsstrategie kann hier zu Einsparungen führen.

Unter den allgemeinen Kosten einer Kurzumtriebsplantage sind die Pachtkosten (Flächenkosten) für die Fläche, Kosten der Betriebsführung und sonstige Gemeinkosten zusammengefasst. Den Hauptkostenfaktor in diesem Block bilden die Flächenkosten.

Die Gesamtkosten (Anlage-, Produktions- und Allgemeinkosten) belaufen sich bei 20-jähriger Nutzungsdauer auf 948 €/ha und Jahr. Daraus resultieren Stückkosten in Höhe von knapp 80 €/t TM, wenn im Durchschnitt ein Ertrag von 12 t TM/ha und Jahr erreicht wird.

Auf der Leistungsseite bilden die Flächenprämie mit 392 €/ha (Stand 2004) und der Erlös aus dem Holzverkauf die Einnahmequellen.



Tabelle 14: Kalkulation der Vollkosten für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Acker-schlägen

Kostenposition	Einzelkosten €/ha u. Maßn.	Häufigkeit Anzahl/ ND <sup>1)</sup>	Gesamtkosten €/ND	Jahreskosten €/ha u. Jahr	Stückkosten €/t TM
Unkrautbekämpfung	38	1	38	1,9	0,16
Pflügen	72	1	72	3,6	0,30
Saatbettkombination	20	1	20	1,0	0,09
Stecklinge	880	1	880	44	3,67
Pflanzung maschi- nell	437	1	437	22	1,82
Zaunbau	767	1	767	38	3,20
Pflege / sonstiges			0	0	0,00
<b>Anlagekosten gesamt</b>	<b>2.214</b>		<b>2.214</b>	<b>111</b>	<b>9,23</b>
Düngung	153	5	765	38	3,19
Pflege (UKB, Frä- sen)	51	2	102	5	0,43
Freistellen	128	2	256	13	1,07
Ernte vollmechani- siert	491	5	2.454	123	10,23
Transport	172	5	859	43	3,58
Trocknung (Kaltbe- lüftung 50% – 20% Feuchte)	725	5	3.626	181	15,11
Lagerung	245	5	1.227	61	5,11
Rekultivierung	307	1	307	15	1,28
<b>Verfahrenskosten</b>			<b>11.810</b>	<b>591</b>	<b>49,21</b>
Flächenkosten	179	20	3.579	179	14,91
Betriebsführung/ allg. Arbeiten.	102	20	2.045	102	8,52
sonstige Gemeinko- sten	77	20	1.534	77	6,39
<b>Gesamtkosten</b>			<b>18.968</b>	<b>948</b>	<b>79,04</b>
<i>Leistungen</i>					
Stilllegungsprämie	392	20	7.843	392	32,68
UL-Prämie		0	0	0	0,00
Erlöse Holz			15.897	795	66,24
<b>Leistung gesamt</b>			<b>23.740</b>	<b>1.187</b>	<b>98,92</b>
<b>Ergebnis (Ge- winn/Verlust)</b>			<b>4.772</b>	<b>239</b>	<b>19,88</b>
<b>notwendige Erlöse zur Kostendeckung</b>			<b>11.125</b>	<b>556</b>	<b>46,36</b>

<sup>1)</sup> ND = Nutzungsdauer

Um einen gegenüber anderen landwirtschaftlichen Marktfrüchten vergleichbaren Gewinn von 240 €/ha zu realisieren, ist ein Holzpreis in Höhe von 66 €/t TM atro zu fordern. Dies gilt bei Zah- lung der Stilllegungsprämie. Ohne Stilllegungsprämie beläuft sich der Holzpreis auf ca. 90 €/t TMatro bei Gewinnrealisierung. Taxiert man auf Grund dieser Preise die Wettbewerbsposi- tion von Kurzumtriebsholz auf dem Brennstoffmarkt, bestehen im Vergleich zu Altholz (10 – 20 €/t) deutliche Nachteile. Gegenüber Waldrestholzhackschnitzel (75 €/t) ist der Preis für Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen hingegen konkurrenzfähig.

Das stabil hohe Preisniveau für Heizöl (37 Euro-Cent/kg, Stand November 2003) und die Verknappung des Altholzes verbessern die Marktchancen von Waldrestholz und Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen.

### 13 Rekultivierung

Nach Abschluss der Nutzungsdauer (ca. 20 Jahre) kann die Kurzumtriebsplantage wieder rekultiviert und somit in den normalen Fruchtfolgewechsel des Betriebes eingeordnet werden.

Beim Rekultivieren der Kurzumtriebsplantage erzielt die Mulch- oder Rodefräse (schleppergezogene Anbaugeräte) gute Ergebnisse. Mit dem Mulchgerät ist zunächst der oberirdischen Stock zu zerkleinern. Die Rodefräse (1 m Arbeitsbreite) dringt bis zu 40 cm tief in den Boden ein und zerstört auch die Wurzeln.

Durch diese beiden Arbeitsgänge wird der Wiederaustrieb fast vollständig unterdrückt (HARTMANN, 2002).

Als weitere Variante des Rückbaus wird empfohlen, die zu rekultivierende Fläche zweimal flach und einmal tief mit der Rodefräse zu bearbeiten. Anschließend ist mehrmals die Kreiselegge einzusetzen (HOFMANN, 2003).

### 14 Verwendung und Markt

Holz ist ein traditioneller nachwachsender Rohstoff, dessen Bedeutung für die Bau- und Möbelindustrie sowie als Grundstoff für die Papier- und Zelluloseherstellung unumstritten ist. Im Zusammenhang mit der Endlichkeit fossiler Energievorräte und der aus ihrer Verbrennung resultierenden Klimabelastung (Kohlendioxidemission) gewinnt Holz als Brennstoff wieder an Bedeutung.

Das Holz aus dem Kurzumtrieb schnellwachsender Baumarten ist vielseitig verwendbar. Es wird zu hochwertigen Industrie- und Chemieprodukten vergütet. Ebenso ist es ein wertvoller Brennstoff. Im Industriebereich sind die luftgetrockneten Hackschnitzel Ausgangsmaterial für unterschiedliche Werkstoffe, die im Bau- und Dämmstoffbereich Einsatz finden.

Für die Verwendung als Industrieholz (Span- und Faserplatte, Kistenholz, Zellstoff) mit höheren Ansprüchen an bestimmte Parameter wie z. B. die Holzdimension und -qualität sind Ernteintervalle von mindestens acht bis zehn Jahren anzusetzen (FRIEDRICH, 1999). Nach DIMITRI (1988) und EGERT (2003) könnten 30 % des Industriespangutes durch Pappelholz ersetzt werden. Durchgeführte Pilotstudien haben positive Ergebnisse gebracht.

#### ***Bau- und Dämmstoffe***

Je nach Aufbereitung des Holzes unterscheidet man Spanplatten und Faserplatten.

Spanplatten werden hergestellt, indem das Holz in Zerspanungsmaschinen zu 0,5 bis 2 cm langen und 0,2 bis 0,5 mm dicken Spänen zerkleinert wird. In Trocknern wird das Material auf 8 % Restfeuchte getrocknet. Die Holzspäne werden mit Plastrmaterialien (Polyesterharze, Phenolharze, Polyvinylchloride u. a.) beleimt und anschließend im Flach- oder Strangpressverfahren zu Platten verdichtet. Je nach Pressdichte werden auf dem Markt leichte, mittlere und schwere Platten angeboten. Gebräuchlich sind vor allem mitteldichte Platten, die eine Rohdichte von 400 bis 800 kg/m<sup>3</sup> aufweisen. Leichte Platten weisen eine Rohdichte von 250 bis 400 kg/m<sup>3</sup> auf. Schwere haben ein volumenbezogenes Gewicht von 800 bis 1200 kg/m<sup>3</sup>.

Bei Holzfasernplatten bilden die Einzelfasern und Faserbündel den Ausgangsstoff. Zu diesem Zweck erfolgt in Zerfaserungsmaschinen (Defibratoren) das Auflösen der Hackschnitzel in einzelne Faserelemente. Den ausgeschleusten Faserstoffen werden Bindemittel (Harze, Plaste, Paraffine, Wachse) zugefügt. In Rund- und Langsiebmaschinen bilden sich so genannte Faserblätter. Die feuchten Faserblätter werden anschließend heiß verpresst. Es werden Faserplatten mit verschiedener Dichte und unterschiedlichem Gefügebau produziert.

- |                          |                       |                               |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1. Holzfaserdämmplatten: | - hochporöse Platten  | < 230 kg/m <sup>3</sup>       |
|                          | - poröse Platten      | 220 bis 400 kg/m <sup>3</sup> |
| 2. Holzfaserhartplatten: | - mittelharte Platten | 650 bis 850 kg/m <sup>3</sup> |
|                          | - harte Platten       | > 850 kg/m <sup>3</sup>       |
|                          | - extra harte Platten | > 900 kg/m <sup>3</sup>       |

In Tabelle 15 sind einige physikalische Eigenschaften der Holzwerkstoffe zusammengestellt. Danach verfügen Holzwerkstoffe über gute bis mittlere Dämmeigenschaften. Darüber hinaus sind sie atmungsaktiv, feuchtigkeitsabweisend und besitzen die Brandklasse B<sub>1</sub> bis B<sub>2</sub>. Holzfaserplatten kosten etwa 25,51 €/m<sup>2</sup> und sind im Vergleich zu PUR-Hartschaum (17,89 €/m<sup>2</sup>) und Mineralwolle (8,18 €/m<sup>2</sup>) teurer.

Tabelle 15: Wärmeeigenschaften von verschiedenen Holzwerkstoffen und Holzdämmstoffen im Vergleich zu anderen Werkstoffen

Werkstoff	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>	Wärmeleitfähigkeit <sup>1)</sup> ? (W/m <sup>2</sup> *K)	k-Wert bei 10 cm W/m <sup>2</sup> *K	Dicke bei k = 0,4 cm
<u>Spanplatten</u>				
Flachpressplatten	700	0,13	0,45	-
Strangpressplatten	700	0,17	0,45	-
<u>Holzfaserplatten</u>				
harte Holzfaserplatten	1000	0,17	0,60	-
poröse Holzfaserplatten	≤ 300	0,045	0,45	11
Bitumen Hartfaserplatten	≤ 400	0,045	0,45	10 - 15
Wandbauplatte aus Leichtbeton	800	0,29	-	-
Mineralwolleplatten	20 – 200	0,035 – 0,040	0,35 – 0,40	9 - 10

nach: SCHNEIDER (1992) ; ANONYM (2002)

<sup>1)</sup>Die Wärmeleitfähigkeit ? gibt an, welche Wärmemenge durch eine Stoffschicht von 1 m Dicke und einer Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> innerhalb einer Stunde hindurchgeleitet wird.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen haben mit insgesamt 1 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr einen vergleichsweise geringen Marktanteil am Dämmstoffmarkt (42 Mio. m<sup>3</sup>/a). Die Dämmstoffe aus Altpapier und Holz nehmen innerhalb der nachwachsenden Rohstoffe den größten Umfang ein (Tabelle 16).

Tabelle 16: Marktanteile Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Dämmstoff	Anteil %
Holzwolleleichtbauplatte	0,30
Holzfaserdämmplatte	0,63
Altpapier	0,95
Schafwolle	0,20
Baumwolle	0,13
Kork	0,10
Flachs/ Hanf	0,10
Schilf, Stroh, Kokos	0,02

Quelle: GDI (1997)

Als Ursachen für die noch sehr geringen Marktanteile (2,3 % des Dämmstoffmarktes) werden die höheren Preise und Vorbehalte gegenüber den Gebrauchseigenschaften der neuen aus nachwachsenden Rohstoffen bestehenden Produkte gesehen. Bestimmend sind nach wie vor die langjährigen eingeführten Dämmstoffe Mineralwolle und EPC- Hartschaum. Sie nehmen 87 % des Gesamtabsatzvolumens von 40 Mio. m<sup>3</sup> Dämmstoffen pro Jahr ein. Weiterhin ist festzustellen, dass für Dämmstoffe aus Holz vorrangig billige Reststoffe aus der Industrie eingesetzt werden. Erst bei wachsenden Märkten und stärkerer Förderung ökologischer Dämmmaterialien ist mit einer Nutzung schnellwachsender Baumarten in diesem Bereich zu rechnen. Vergleicht man den Erstellungsenergiebedarf für verschiedene Baustoffe, haben Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen schon jetzt enorme Vorteile (Tabelle 17).

Tabelle 17: Erstellungsenergiebedarf verschiedener Baustoffe

Baustoff	Erstellungsenergiebedarf kWh/t
Lehm	0 - 2,5
Holz	5 - 7,5
Kalksandstein	250
Normalbeton	250 - 300
Hochlochziegel	450
Dachziegel	550
Gasbeton	750
Zement	1.000
Kalk	1.200
Glas	6.000
Kunststoffe	8.200 – 20.000
Aluminium	72.000

Quelle: FRUHWALD et al. (1994)

### **Zellstoff / Papier**

Pappelholz enthält ca. 50 % Zellulose. Für die Zellstoffgewinnung werden mindestens 10 Jahre alte Pappeln verwendet. Ab diesem Alter hat die Pappel genügend lange, biegsame Fasern ausgebildet, die sich gut für die Zellstoffgewinnung eignen. Etwa 86 % der Zelluloseproduktion in der Welt dient als Rohstoff für die Papier- und Pappeherstellung. In Deutschland werden ca. 750 000 Tonnen Zellstoff im Inland produziert. Etwa 3,5 Mio. Tonnen Zellulose werden zur Bedarfsdeckung importiert. Haupteinsatzfeld ist ebenfalls die Papierindustrie. Für die inländische Zellstoffproduktion werden vorwiegend Waldholz und Industrierestholz eingesetzt. Prognosen gehen von einem wachsenden Papierverbrauch aus, so dass neben dem Forstholz auch Pappelplantagen künftig als Rohstofflieferant wirtschaftliche Bedeutung erlangen werden.

Zur Verarbeitung gelangen 2 m lange Stammabschnitte der Pappel im Durchmesserbereich 8 bis 40 cm. Aus diesem Material werden nach der Entrindung Schleifholzsortimente gewonnen, aus denen über moderne umweltschonende chemische Verfahren Zellstoff als Papierrohstoff hergestellt wird. Als Vorteile gegenüber Fichtenholz werden die gute Bleichbarkeit und Formation sowie der geringere Energieverbrauch im Produktionsverfahren herausgestellt. Nachteilig ist die etwas geringere Festigkeit im Vergleich zur Fichte zu beurteilen. Das neuartige APTMP (Alkaline Peroxide Thermo Mechanical Pulp) ermöglicht es durch Kombination mechanischer und chemischer Aufschlusschritte auch hochwertigen Holzstoff aus Pappeln zu gewinnen. Der so gewonnene Holzfasernstoff besitzt eine hohe Festigkeit und Grundweiße. Diese Pappelfasernstoffe verleihen den Papieren größere Weichheit, Porosität und ein größeres Volumen. Die breite Einführung des APTMP-Verfahrens eröffnet dem Pappelholz weitere Märkte (HOFMANN, 2002). Es wird eingeschätzt, dass Pappelholz künftig eine wichtige Ergänzung zum Nadelholzsortiment auf dem Papiermarkt darstellt.

Der Verbrauch an Papier und Pappe liegt bei 215 kg/Kopf und Jahr (1999) mit starken Wachstumstendenzen in den letzten Jahren. Bei ausgeschöpften Altpapierquoten bilden Pappelanpflanzungen auf stillgelegten Flächen neben den Forsthölzern eine wirtschaftliche Rohstoffbasis. Für eine Tonne Zellstoff werden etwa 2,5 bis 3,0 t entrindetes Pappelholz benötigt.

### **Pharmazeutische Nutzung der Weide**

Die Weide ist seit einigen Jahren wieder pharmazeutische Rohstoffpflanze (HANNIG, 2001). Zur Extraktgewinnung werden die Zweige ein- bis dreijähriger Weiden genutzt. Die Zweige werden gehäckselt und anschließend extrahiert. Zahlreiche Weidenarten enthalten die gegen unterschiedliche Schmerzen und rheumatische Beschwerden wirksamen Salicylate. Je nach Weidenarten sind in der Rinde 1,5 bis über 11 % Salicylate mit unterschiedlicher Zusammensetzung enthalten (WICHTL, 1997). Durch das Deutsche Arzneibuch (DAB), Ausgabe 10 wird ein Mindestgehalt von 1 % Gesamt - Salicin gefordert. *Salix purpurea* L. (Purpurweide) und *S. daphnoides* Vil. (Reifweide) werden vom DAB 1996 namentlich angeführt. Die Kommission E nennt auch *S. alba* (Silberweide) und *S. fragilis* (Bruchweide). Auch bestimmte Klone der *S. viminalis* (Korbweide) können etwa 2 bis 3 % Gesamtsalicylate enthalten (HANNIG, 2001). Genutzt werden können bereits die einjährigen Triebe. Versuche mit verschiedenen Herkünften der Purpurweide (*Salix purpurea*) und der Reifweide (*Salix daphnoides*) zeigten deutliche Unterschiede im Ertrag des einjährigen Aufwuchses (3 bis 23 dt Trockenmasse/ha) und Gehalt an Salicin (2,1 bis 7,2 % TS). Die Reifweiden – Herkünfte wiesen höhere Salicingehalte auf als die geprüfte Herkunft der Purpurweide (BLUM et al., 2001). Der Vorteil der Weidenrindenextrakte besteht in der komplexen Gesamtwirkung aller Inhaltsstoffe. Die Gesamtextrakte enthalten neben den Salicylaten weitere pharmazeutisch wirksame Substanzen wie phenolische Verbindungen, aromatische Alkohole, Aldehyde, Säuren, Flavonoide und Gerbstoffe. Weidenrindenextrakte enthalten Salicylate, die bekanntermaßen rheumatische Schmerzen lindern. Im Vergleich zum synthetisch hergestellten Wirkstoff Acetylsalicylsäure (Präparat Aspirin) wirken sie komplexer und sind magenfreundlicher. Diese Anbauart bedeutet eine interessante, wirtschaftlich lukrative Nische des Weidenanbaus. Anbauverträge sind unbedingt zu empfehlen.

### **Brennstoff**

Die verschiedenen Holzarten weisen im darrtrockenen Zustand nur geringe Unterschiede im Heizwert je Gewichtseinheit auf. Lediglich das harzreiche Kiefernholz besitzt einen etwas höheren Heizwert. Auf Grund der unterschiedlichen Dichte sind die Heizwerte je Schüttraumkubikmeter bei den einzelnen Holzarten verschieden (Tabelle 18).

Der Heizwert eines Kubikmeters Hackschnitzel aus Pappel- und Weidenholz ist niedriger als der der Harthölzer Eiche und Rotbuche. Zur Substitution von 1000 l Heizöl sind 2,3 t Kurzumtriebsplantagenholz notwendig. Das CO<sub>2</sub>- Reduktionspotenzial je t Holz beträgt daher 1,61 t CO<sub>2</sub>. Bei der energetischen Bewertung ist der Wassergehalt des Holzes zu beachten. Je höher der Wassergehalt, umso niedriger ist der effektive Heizwert. Erntefrisches Pappel- und Weidenholz besitzt einen Wassergehalt von 50 %. Sein Heizwert beträgt nur 10 MJ/kg. Lufttrockenes Holz (20 % Restfeuchte) hat einen solchen von 15 MJ/kg. Eine Trocknung der Hackschnitzel im Lager ist deshalb notwendig. Neben der Feuchte sind die Größe der Hackschnitzel (Fraktionierung), der Rinden- und Grünanteil sowie mineralische Verunreinigungen maßgebende Größen, die die Brennstoffqualität des Holzes beeinflussen.

Durch Wahl des Erntezeitpunktes im Winter wird weitgehend laubfreies und stärker abgetrocknetes Stamm- und Astmaterial geerntet. Der Einsatz von Vollerntern verringert den Erdkontakt und damit den Grad der mineralischen Verunreinigungen.

Exakt arbeitende Hackvorrichtungen sichern einheitliche Hackschnitzelgrößen. Die Hackschnitzellänge ist maßgebend für die störungsfreie Zufuhr des Brennmaterials in den Brennraum durch Stokerschnecken. Zum anderen beeinflusst sie das Trocknungsverhalten. Feinhackschnitzel (5 - 50 mm Seitenlänge) trocknen stärker ab als Grobhackschnitzel (60 - 100 mm Seitenlänge).

Tabelle 18: Heizwert verschiedener Holzarten

Holzart (mit Rinde)	Heizwert Hu MJ/kg TM	Darrdichte <sup>1)</sup> kg/ m <sup>3</sup>	Hackschnitzel kg/ Srm	Heizwert von 1 Srm Hack- schnittel MJ/ Srm	Substitution von 1t Heizöl Srm (gerundet)
Pappel	18,5	410	164	3034	14,0
Fichte	18,8	430	172	3234	13,0
Kiefer	19,2	490	196	3763	11,2
Eiche	18,2	650	260	4732	8,9
Rotbuche	18,4	680	272	5005	8,4
Weide	18,4	420	168	3091	13,6

<sup>1)</sup> entspricht 1 Festmeter (Fm)

1 Fm  $\cong$  2,5 Srm (Schüttraumkubikmeter)

Holzfeuerungsanlagen haben inzwischen einen hohen technischen Standard in der Bedienung, Beherrschung des Abbrandes und Rauchgasemission erreicht. Für den Betrieb mit Hackschnitzeln eignen sich Rostfeuerungen.

Tabelle 19: Feuerungsanlagen und deren Charakteristika: geeigneter Brennstoff, Leistungsbe-  
reich und Investitionsbedarf

Feuerungsanlage	Beschickung	geeigneter Bi- obrennstoff	Feuerungsleistung	Investitions- bedarf €/kW
Vorofenfeuerung	mechanisch	Hackschnitzel	35 kW – 3 MW	200 - 150
Unterschub- feuerung	mechanisch	Hackschnitzel, Späne	20 kW – 2 MW	204 - 150
Rostfeuerungen	mechanisch	Holz, Rinde, grobstückige Brennstoffe	ab 1 MW	180 - 256
Wirbelschicht- feuerungen	mechanisch	Hackschnitzel, Rinde, Brenn- stoffe mit hohem Wassergehalt	ab 10 MW	640 - 460
Einblas- feuerungen	pneumatisch	Späne, Staub aus Holz	ab 200 kW	300 - 250
gas-/ölbefeuerte Anlagen			200 kW – 30 MW	255 - 92

Es handelt sich hierbei meist um Unterschub- und Vorschubrostfeuerungen. Daneben gibt es Einblasfeuerungen für Sägemehl und Feinstsägeespäne sowie Wirbelschichtfeuerungen. Die Investitionskosten für Unterschubfeuerungen liegen im Leistungsbereich 1 MW - 2 MW bei 204 €/kW, für 3 - 10 MW betragen sie etwa 128 €/kW.

Vorschubrostfeuerungen benötigen einen Investitionsaufwand von 211 €/kW (2 MW). Anlagen in der Leistungsgröße von 4 - 10 MW sind mit Investitionskosten von 280 €/kW zu kalkulieren.

Wirbelschichtfeuerungen sind für Anlagengrößen von 20 - 160 MW ausgelegt. Sie verlangen einen Investitionsbedarf von 640 €/kW (20 MW) bis 460 €/kW (140 - 160 MW).

Automatische Hackschnitzelheizungen werden auch im kleinen Leistungsbereich ab 20 kW angeboten und reichen bis 10 MW. Die Versorgung der Anlage erfolgt vom Hackschnitzelsilo aus voll-

automatisch über Transportschnecken. In Großanlagen wird der Brennstofftransport über Unterschubböden und auf Kettenbändern vorgenommen.

Eine aussichtsreiche Entwicklung stellen Pelletheizanlagen dar, die sich sehr gut für die Wärmeversorgung von Wohnungen, Ein- und Mehrfamilienhäusern, Verwaltungsgebäude usw. eignen. Entsprechend der Anwendung werden sie als Einzelraumheizung oder als Zentralheizung ausgelegt.

An Holzpellets werden bestimmte qualitative Anforderungen gestellt, die einen sicheren und störungsfreien Heizanlagenbetrieb gewährleisten (Tabelle 20). Sie werden derzeit aus naturbelassenem Industrierestholz hergestellt. Der Preis bewegt sich für Sackware zwischen 0,23 €/kg und 0,28 €/kg.

Für lose Ware (Tankwagenanlieferung, Lieferung ab Werk) liegt der Preis zwischen 0,09 €/kg und 0,12 €/kg. Pelletheizungen mit hohem Bedienkomfort erfreuen sich in Europa wachsender Nachfrage. Hier bestehen mittelfristig Chancen auch aus schnellwachsenden Baumarten Pellets zu produzieren.

Tabelle 20: Anforderungen an Holzpellets - Gegenüberstellung der Ö-Norm und der DIN-Norm

	Ö-Norm M 7135	DIN-Norm 51731
Durchmesser	4 – 10 mm	4 – 10 mm
Länge	= 50 mm	= 50 mm
Dichte	= 1,2 kg/dm <sup>3</sup>	= 1,0 – 1,4 kg/dm <sup>3</sup>
Wassergehalt	= 10 %	= 12 %
Abrieb	2 %	-
Aschegehalt	= 0,5 %	= 1,5 %
oberer Heizwert	= 18 MJ/kg	15,5 – 19,5 MJ/kg
Schwefelgehalt	= 0,04 Gew. %	= 0,08 Gew. %
Stickstoffgehalt	= 0,3 Gew. %	= 0,3 Gew. %
Chlorgehalt	= 0,02 Gew. %	= 0,03 Gew. %
Presshilfsmittel	2 %	-

Quelle: HOLZ (2003)

Bewertet man die kurz- und mittelfristigen Chancen schnellwachsender Baumarten am Industrie- rohstoff- und Energiemarkt kann folgende zusammenfassende Einschätzung vorgenommen werden (Tabelle 21).

Im Industrieholzbereich bestehen gute Einsatzchancen in der Papier- und Zellstoffindustrie. Ein in Stendal geplantes großes Zellulosewerk wird vorrangig Nadelholz verarbeiten. Inwieweit einheimische Sortiment mit ausländischen Angeboten konkurrieren können, bleibt jedoch abzuwarten.

Im Dämmstoff- und Bauplattenbereich ist vorerst kein größerer Absatz von Holz hackschnitzeln aus Energieholzplantagen zu erwarten. Hier dominieren die preislich günstigen Industrieresthölzer und bestimmte Altholzsortimente den Rohstoffmarkt.

Die pharmazeutische Nutzung von Weiden stellt einen allerdings hochpreislichen Nischenmarkt dar. Auf dem Energiemarkt sind insgesamt mittelfristig gute und wirtschaftlich tragfähige Absatzchancen zu erwarten. Das betrifft sowohl den Wärme- und Strommarkt, aber auch den Sektor Kraftstoffe.

Tabelle 21: Chancen schnellwachsender Baumarten auf dem Industrie- und Energiemarkt

Verwertung	Rohstoff	Aktuelle Marktsituation	Markt/Tendenz
Papier, Zellulose	1-2 m lange Stammabschnitte, Ø = 10 cm Pappel	gering für einheimische Pappel	Zunahme Papierbedarf steigend
Holzfaserdämmplatten (= 400 kg/m <sup>3</sup> )	Hackschnitzel (Pappel)	kein Markt, nur Altholz / Industriertes Holzsortimente	Zumischung (10 - 20 %) möglich
Holzhartfaserplatten (650 – 900 kg/m <sup>3</sup> )	Hackschnitzel (Pappel)	kein Markt, nur Altholz / Industriertes Holzsortimente	Zumischung (10 - 20 %) möglich
Extraktgewinnung	ein- bis dreijährige Weidentriebe	Nischenmarkt	gleich bleibend bis leicht ansteigend
Wärme /Strom	Hackschnitzel, Pellets Pappel / Weide	geringer Einsatz (Pilotanlagen), haupts. Altholz für Hackschnitzel, Industrierestholz für Pellets	mittelfr. ansteigend, langfr. stark ansteigend (Verknappung Altholz, Kostenanstieg fossile Energieträger, Einführung CO <sub>2</sub> -Steuer)
Methan synth. Kraftstoff	Hackschnitzel Pappel /Weide	kein Markt (Pilotphase)	mittelfr. ansteigend, langfr. stark ansteigend

## 15 Übersicht zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb

### 1. Definition

Dauerkultur mit 15 bis 20-jähriger Nutzungsdauer

Ernte im zwei- bis zehnjährigen Umtrieb

Gewinnung von Brennstoffholz oder Industrieholz (Zellstoff- oder Papierherstellung)

### 2. Eigenschaften schnellwachsender Baumarten

- rasches Wachstum
- leichter Vermehrbarkeit
- gutem Stockausschlag
- Dichtstandsverträglichkeit

### 3. Baumarten

Pappeln (*Populus*)

Weiden (*Salix*)

### 4. Standortansprüche

Sand- und Lehmböden mit fließendem Grundwasser

Mindestbodenqualität: Böden mit Ackerwertzahl 30

Niederschläge: mindestens 500 mm pro Jahr

### 5. Sorten (Auswahl)

- |               |              |  |
|---------------|--------------|--|
| Pappelsorten: | Muhle Larsen | - hohe Ertragsleistung (mini-Rotation)               |
|               | Androscoggin | - mittlere bis hohe Ertragsleistung (midi-Rotation)  |
|               | Beaupré      | - sehr hohe Ertragsleistung bei allen Rotationstypen |
|               | Barn         |  |



	Donk	
	Rap	
	Münden -	- hohe Leistung bei maxi-Rotation
	Matrix	- sehr hohe Leistung in allen Rotationstypen
Weidesorten:	Zieverich	- hohe Ertragsleistung mini-Rotation
	Carmen	
	Rapp	- mittlere Resistenz gegen Blattrost
	Tora	- hohe Zuwachsraten, kaum Wildverbiss, - weitgehende Blattrostresistenz
	Sven	- Hohertragssorte - hohe Resistenz gegen Blattrost
	Gudrun	- hohe Frosttoleranz, geringer Wassergehalt zur Ernte - Resistenz gegen Blattbockkäfer

## 6. Pflanzgut

Steckholz	- einjährige Triebe in Winterruhe, gerade, ohne Verletzungen, geschlossene Knospen, 20 - 30 cm lang
Steckruten	- 80 - 250 cm Bezug aus Forstbaumschulen

## 7. Bodenbearbeitung

- Lehm Böden Herbstfurche vor dem Anlagejahr
- Frühjahr: Grubber-Eggenstrich
- Sandböden: Frühjahrsfurche und Grubber-Eggenstrich
- verunkrautete Flächen: Round up oder Flexuron, Behandlung einige Tage vor dem Pflanzen

## 8. Pflanzung

- Pflanzung im Frühjahr, manuell mit Steckeisen (Kleinstflächen)
- Pflanzmaschine z. B. „Flora“ oder „PRKU“, „Tolne“,
- Leistung bei maschineller Pflanzung: 600 – 1000 Steckhölzer/h

## 9. Pflanzverband

- 16.000 Steckhölzer/ha (2 bis 3-jähriger Umtrieb) (2m x 0,30m)
- 12.000 Steckhölzer/ha (4 bis 6-jähriger Umtrieb) (2m x 0,75 m Doppelreihe)
- 1.667 Steckhölzer/ha (= 8 Jahre Umtrieb)

## 10. Pflege und Schutzmaßnahmen beschränken sich auf das erste Standjahr:

- Bewässern der Steckhölzer bei starker Trockenheit nach der Anpflanzung
- Entfernen von Ungräsern und Unkräutern mit Roll- oder Scharhacke oder Leichtgrubber
- bei Unkraut in den Reihen ist der Freischneider einzusetzen

## 11. Krankheiten und Pflanzenschutz

- wirtschaftliche Schäden durch pilzliche und tierische Krankheiten treten kaum auf
- Gefahr Rehwildverbiss (Fegeschäden) Zaunbau oder Vergrämungsmittel
- Gefahr Wühlmausbefall (Auslegen von Ködern)

## 12. Nährstoffentzug

Nährstoff	Richtwert kg/t	Entzug kg/ha 40 t TM/ha (4-jähriger Umtrieb)
Stickstoff	3,4	148
Phosphor	0,6	24
Kalium	2,6	104
Magnesium	0,8	32
Kalzium	5,4	216

## 13. Düngung pro Rotation in Höhe des Entzuges zu beachten sind:

- Versorgungszustand des Bodens P, K, Mg

- Bodenreaktionszustand pH-Wert
- $N_{\min}$ -wert im Boden (Frühjahr)
- Blattanalyse zur Kontrolle des Ernährungszustandes

#### **14. Ernteverfahren**

1. Motormanuelles Verfahren  
Motorsäge – Rücken und Bündeln mit Kranrückeanhänger – Hacken mit Hackaggregat  
Kosten 50 €/t Hackschnitzel (Trockenmasse)
2. Fäller-Bündler-Verfahren  
Fäller-Bündler-Aggregat, Selbstfahrer ESM-901  
Fäller-Bündler-Aggregat, traktorgezogen Fröbbesta → Trocknen → Hacken  
Kosten 23 - 30 €/t TM Hackschnitzel
3. Fäller-Hacker-Verfahren  
Fäller-Hacker-Selbstfahrer Claas-Jaguar-Vollernter  
Fäller-Hacker-tractorgezogen Göttinger-Gehölmähacker  
Kosten 10 - 15 €/t TM Hackschnitzel

#### **15. Erträge**

Bei mittlerer Umtriebszeit (4 - 5 Jahre) sind Jahreserträge von 10 - 12 t TM/ha erreichbar.  
Schwankungsbreite: 6 - 25 t TM/ha nach Standort, Sorte

#### **16. Kosten**

Die Vollkosten bis zur Bereitstellung von Hackschnitzeln mit = 20 % Restfeuchte betragen 72 €/t – 95 €/t. Die Verfahrenskosten werden entscheidend durch die Ernte, Trocknung und Lagerung beeinflusst. Bei der Anlage der Plantage sind es die Steckholzkosten.

#### **17. Rekultivierung**

Rodefräsen erreichen eine 80-prozentige Zerstörung der Wurzelstöcke. Hierfür sind 2 bis 3 Arbeitsgänge und der Einsatz der Kreiselegge notwendig.

#### **18. Ökologische Wirkung**

- geringer Einsatz an Pflanzenschutz- und Düngemitteln
- Anbau in Form von Schutzstreifen mindert die Winderosion auf offenen Flächen
- Beitrag zum Klimaschutz, CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoff
- Schonung endlicher Ressourcen (3 t Holzhackschnitzel ersetzen 1 t Heizöl)

#### **19. Anbau auf Stilllegungsfläche**

Voraussetzung für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf stillgelegten Ackerflächen ist, dass die Bestände innerhalb von 10 Jahren mindestens einmal geerntet werden müssen. Die Flächen fallen dadurch nicht in den Geltungsbereich des Bundeswaldgesetzes.

## Wichtige Adressen

Für Beratung und Vermehrung:

Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten  
Veckerhäger Str. 121                      Tel.: (05541) 42 19  
34346 Hann. Münden                      Fax: (05541) 42 10  
E-mail: [fsb-hannmuenden@t-online.de](mailto:fsb-hannmuenden@t-online.de)

Institut für Agrartechnik Bornim e. V.  
Max-Eyth-Allee 100                      Tel.: (0331) 56 99-820  
14469 Potsdam                      Fax: (0331) 56 99-849  
E-mail: [atb@atb-potsdam.de](mailto:atb@atb-potsdam.de)

Landesforstpräsidium  
Fachbereich Genetik und Züchtung  
Bonnewitzer Str. 34, OT Graupa                      Tel.: (03501) 54 2-0  
01796 Pirna                      Fax: (03501) 54 2-213  
E-mail: [poststelle@lfp.smul.sachsen.de](mailto:poststelle@lfp.smul.sachsen.de)

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau  
Gustav-Kühn-Str. 8                      Tel.: (0341) 91 74-0  
04159 Leipzig                      Fax: (0341) 91 74-111  
E-mail: [poststellefb04@leipzig.lfl.smul.sachsen.de](mailto:poststellefb04@leipzig.lfl.smul.sachsen.de)

Agrobränsle AB  
Box 1743  
70117 Örebro / Schweden                      Tel. / Fax: (0351) 4 52 68 28  
Carsten Neumeister                      Funk: 0 17 95 11 20 55  
E-mail: [carsten.neumeister@agrobransle.se](mailto:carsten.neumeister@agrobransle.se)

Praxisbetriebe in Sachsen:

Landwirtschaftsbetrieb  
Herr M. Dippmann                      Tel.-Nr.: 0 37 24 / 32 42  
Feldstraße 2                      Fax: 0 37 24 / 66 86 20  
09217 Burgstädt                      E-Mail: [LB-M.Dippmann@Freenet.de](mailto:LB-M.Dippmann@Freenet.de)

Firma Salix - Sachsen  
Tina Friedemann                      Tel.-Nr.: 0 37 27 / 9 15 85  
Obere Dorfstraße 82                      Funk: 0 16 04 45 81 04  
09648 Mittweida – OT Frankenau

Land- und Forstwirtschaftsbetrieb  
Herr Frank Uhlemann                      Tel.-Nr.: 03 42 62 / 6 20 81  
Schulstraße 23  
04808 Thammenhain

## Fotonachweis

Titelfoto:                      Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Abbildung 1:                      [www.damcon.nl/duits](http://www.damcon.nl/duits)  
Abbildung 2:                      [www.forsttechnik-koch.de](http://www.forsttechnik-koch.de)  
Abbildung 3:                      AGRO FORST TECHNIK GmbH & Co KG, A-9470 St. Paul  
Abbildung 5 und 6:                      Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Abbildung 7:                      CLAAS KGaA mbH, Harsewinkel  
Abbildung 8 und 9:                      Frank Burger, Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft,  
bur@lwf.uni-muenchen.de

## Literaturverzeichnis

- ANONYM, 2002: Dämmstoffe aus der heimischen Natur. - CMA- Broschüre, Bonn (2. Aufl.)
- BENS, O.; BUNGART, R.; PÖNITZ, K.; SCHNEIDER, B. U. und HÜTTL, R., 1998: Production and distribution of biomass für energy transformation and heat supply in rural areas. In: KOPETZ, H. et al. (eds.): Biomass for Energy and Industry. Würzburg, S. 764 - 767
- BERGMANN, W., 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav-Fischer-Verl., Jena, S. 381
- BLUM, H; DEHE, M.; FAUSTEN, G.; LORENZ, J., 2001: Versuchsbericht Heil- und Gewürzpflanzen 2001. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau Ahrweiler/Mayen
- BOELCKE, B., 1997: Feste nachwachsende Energieträger - Anbaueignung und Ertragsbildung von Miscanthus, schnellwachsende Baumarten und Getreidepflanzen in Mecklenburg-Vorpommern. Forschungsbericht. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Pflanzenbau
- BOELCKE, B., 2001: Schnellwachsende Baumarten Ergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern 1993-1999. Internetrecherche: [www.landwirtschaft-mv.de/nwe-baum.my](http://www.landwirtschaft-mv.de/nwe-baum.my)
- BRUSCHE, R., 1983: Hackschnitzel aus Schwachholz. KTBL- Schrift 290, Darmstadt
- BURGER, F., 1996: Praxiserfahrungen bei der Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen. In: Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung. Internetrecherche: [www.lwf.uni-muenchen.de/veroef/schn96/nr8.htm](http://www.lwf.uni-muenchen.de/veroef/schn96/nr8.htm)
- DIMITRI, L., 1988: Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung. In: Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden (4)
- DIMITRI, L., 1989: Anbau schnellwachsender Baumarten zur Energie- und Rohstoffgewinnung auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen – Stand, Perspektiven und Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft. - In: Forst und Holz, S. 307 – 312
- DINKELBACH, L., KALTSCHMITT, M., SONTOW, J., 1995: Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe. - In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (5), S. 195 – 208
- DREINER, K. et al., 1994: Holz als umweltfreundlicher Energieträger - Eine Kosten- Nutzen- Untersuchung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverl. Münster. Reihe Angewandte Wiss. Nr. 432, 192 S.
- EBERT, H.-P., 1997: Heizen mit Holz in allen Ofenarten. 5. verb. Und erw. Auflage, Ökobuch Staufen b. Freiburg
- EGERT, 2003: mündliche Mitteilung
- FRIEDRICH, E., 1999: Anbautechnische Untersuchungen in forstlichen Schnellwuchsplantagen und Demonstration des Leistungsvermögens schnellwachsender Baumarten. - In: Schriftenreihe „Nachwachsender Rohstoffe“ (13), S. 19 – 149
- FRIEDRICH, E.; DIMITRI, L.; SCHULZKE, R., 1994: Züchterische Maßnahmen zur Steigerung und Sicherung der Produktion und Anbautechnik der Biomasseproduktion in forstlichen Schnellwuchsplantagen. In: Modellvorhaben "Steigerung und Sicherung der Produktion durch Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen und Bewirtschaftung in kürzeren Umtriebszeiten - Verbundforschungsprojekt Oldenburg". Abschlußbericht 1988-1993. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden

- FÖRSTER, F.; ERNST, H.; ALBERT, E., 2003: BEFU 2004. N, P, K, Mg- Düngungsempfehlung, N, P, K- Nährstoffbilanzen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- FORTMANN, M., 2002: Wühlmäuse und Maulwürfe – Erkennen, Vorbeugen, Abwehren. Augsburg, Bechtermünz Verl.
- FRÜHWALD, 1994: Holz- ein Rohstoff der Zukunft. Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
- GDI (1997): GDI-Mengenschätzung. In Dämmjournal Nr. 6, 1-2 Hamburg
- HANNIG, H.-J., 2001: Anbau- und Ernteoptimierung zur Gewinnung salicinreicher Weidenrinden - Droge. Fachtagung für Heil- und Gewürzpflanzen. Kurzfassung der Beiträge 12.-15.11.2001, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler/Mayen
- HARTMANN, H., 2000: Produktion und Bereitstellung biogener Festbrennstoffe. - In: Leitfaden Bioenergie. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow, S. 50 – 81
- HARTMANN, H. und STREHLER, A., 1995: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (3)
- HARTMANN, H. und KALTSCHMITT, M., 2002: Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. Schriftenreihe Nachwachsende „Rohstoffe“ Band 3, 2. Auflage - vollständige Neubearbeitung, Landwirtschaftsverlag GmbH Münster
- HOFMANN, M., 1995: Schnellwachsende Baumarten für den Kurzumtrieb. Tagungsband Stausseminar Schnellwachsende Baumarten, Kassel FNR e. V.
- HOFMANN, M., 1998: Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten. Merkblatt 11. Hann. Münden
- HOFMANN, M., 1999: Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (13), S. 151 – 239
- HOFMANN, M., 1999: Energetische Bewertung der Kurzumtriebswirtschaft. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (13), S. 397 – 432
- HOFMANN, M., 2002 a: Schnellwachsende Baumarten als Energieträger - eine Produktionsalternative für die Landwirtschaft. 8. Internationale Fachtagung, 5. und 6. September in Freiberg
- HOFMANN, M., 2002 b: Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung. Merkblatt 12. Hann. Münden
- HOFMANN, M., 2003: Mündliche Mitteilung, Stausseminar „Nachhaltige Erzeugung von Pappelholz auf Stilllegungsflächen als Rohstoff zur Papierherstellung, Kloster Nimbschen
- IDLER, C.; DARIES, W.; SCHOLZ, V.; EGERT, J., 2004: Probleme und Lösungsansätze zur Lagerung von Feldholzhackgut. - In: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. - Bornimer Agrartechnische Berichte (35), S. 75 - 86
- JUG, A., 1997: Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts. Dissertation. Forstwirtschaftliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
- JUG, A., 1999: Ernährungs- und standortkundliche Untersuchungen. - In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (13), S. 369 – 391

- KASTEN, J.; BOELCKE, B.; ANNEN, T., 2001: Was kostet Biomasse? Bauernzeitung (9), S. 54, 56
- KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEIN, W., 2001: Pappeln in Kurzumtriebswirtschaft. Pflanzenbauwissenschaften 5 (2), S. 64 – 74
- KOLLOCH, H.-P., 1990: Ökonomische Untersuchungen zur Ernte von Stroh und Schwachholz als Energieträger in Großfeuerungsanlagen (1 MW bis 10 MW). - Diss. TU München, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
- KRAPFENBAUER, A., 1989: Holz als umweltfreundlicher Energieträger. - In : DREINER, K. et al. - Landwirtschaftsverl. Münster, S. 121
- KÜPPERS, G. J., 1999: Ökonomische Betrachtungen von Pappelumtriebsflächen. - In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (13), S. 433 – 452
- KÜPPERS, G. J.; SCHWEINLE, J.; THOROE, C.; WIPPERMANN, H.-J., 1994: Betriebswirtschaftliche und erntetechnische Begleitforschung. - In: Modellvorhaben "Steigerung und Sicherung der Produktion durch Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen und Bewirtschaftung in kürzeren Umtriebszeiten - Verbundforschungsprojekt Oldenburg". Abschlußbericht 1988-1993. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden
- LARSSON, S., 2003: Gute Erfahrungen in Schweden mit dem Anbau von Weiden als nachwachsender Rohstoff. Informationsschrift der Firma Agrobränsle AB, Box
- LARSSON, S.; MELIN, G.; ROSENQUIST, H., 1998: Commercial harvest of willow wood chips in SWEDEN. - In: Kongressband "Biomass for Energy and Industry. Proceedings of the international Conference Würzburg
- LERCH, G., 1985: Pflanzenökologie. Teil 2: Zur Ökologie von Stoffproduktion und Ertragsbildung. Akademie-Verl. Berlin. Wiss. Taschenbücher, 4. ber. Auflage
- LÖFFLER, H. D.; PATZAK, W.; DÜRRSTEIN, H., 1988: Ernte von Kurzumtriebsplantagen. Forstliche Forschungsberichte (90)
- MAKESCHIN, F.; REHFUESS, E. K.; JUG, A., 1994: Ernährungs- und Standortkunde. - In: Modellvorhaben "Steigerung und Sicherung der Produktion durch Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen und Bewirtschaftung in kürzeren Umtriebszeiten - Verbundforschungsprojekt Oldenburg". Abschlußbericht 1988-1993. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden
- MAKESCHIN, F.; REHFUESS, E. K.; RÜSCH, I., 1989: Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf ehemaligem Acker: Standortliche Voraussetzungen, Nährstoffversorgung, Wuchsleistung und bodenökologische Auswirkungen. Forstwirtschaftliches Centralblatt. Hamburg 108, S. 125 – 143
- REMLER, N., 1996: Holz aus Kurzumtriebsplantagen – ein nachwachsender Energieträger, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising. Internetrecherche: [www.lwf.uni-muenchen.de/veroeff/schn96/nr8.htm](http://www.lwf.uni-muenchen.de/veroeff/schn96/nr8.htm)
- RÖHRICHT, C.; KIESEWALTER, S.; GROß-OPHOFF, A., 2002: Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (4)
- SCHIRMER, R., 1996: Aspekte der Pflanzenzüchtung schnellwachsender Baumarten für Energiewälder In: Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung (Beiträge eines Fachgespräches). Internetrecherche: [www.lwf.uni-muenchen.de/veroeff/schn96/nr8.htm](http://www.lwf.uni-muenchen.de/veroeff/schn96/nr8.htm)

- SCHNEIDER, B, 1992: Bautabellen. Werner- Verl., Düsseldorf, 10. Aufl.
- SCHNEIDER, B. und DEIMLING, S., 2000: Kosten und Wirtschaftlichkeit. - In: DEIMLING, S. et al., Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow, S., S. 173 – 190
- SCHULZKE, R.; LANGE, O.; WEISGERBER, H., 1990: Pappelanbau. Herausgegeben vom Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e. V., AID-Heft 1226, Bonn
- SINNER, H.-U., 1996: Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb. - In: Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwendung. Beiträge eines Fachgesprächs, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising
- STETTER, U. und MAKESCHIN, F., 1999: Humushaushalt ehemals landwirtschaftlich genutzter Böden nach Aufforstung mit schnellwachsenden Baumarten. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (13), S. 341 – 391
- STREHLER, A., 1986: Die Umwandlungsverfahren von Lignocellulose zur Erzeugung von industriellen Rohstoffen. Thermische Verfahren. In: SCHLIEPAKE et al.: Nachwachsende Rohstoffe. Verlag J. Kordt, Bochum
- WEISGERBER, H., 1985: Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Voraussetzungen, Leistungen, Perspektiven. In: Journal of Agronomy and Crop Science (156), S. 173 – 187
- WICHTL, M., 1989: Teedrogen. Wiss. Verl.-gesellschaft mbH, Stuttgart (2. Aufl.)
- WIPPERMANN, H.-J., 1995: Entwicklung von Erntemaschinen für Energieholzflächen. Teil 1 und 2. In: Holz-Zentralblatt (1), S. 6 – 8, (16), S. 274 – 276
- WIPPERMANN, H.-J., 1999: Verfahrenstechnik zur Biomasse-Ernte auf Kurzumtriebsflächen. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ (13), S. 314 – 338

**Kontakt:**

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Fachbereich Pflanzliche Erzeugung

Referat 41

04131 Leipzig, PF 22 11 61

Autor: Dr. habil. Ch. Röhricht, K. Ruscher

Tel.: 0341 / 91 74 - 284

Fax: 0341 / 91 74 - 111

E-Mail: [Christian.Roehricht@leipzig.lfl.smul.sachsen.de](mailto:Christian.Roehricht@leipzig.lfl.smul.sachsen.de) (kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Bildnachweis/-titel: siehe Seite 34

Redaktionsschluss: Juli 2004

Schutzgebühr: 5,00 €

**Internet:** <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/Lfl>