

# Leitlinie

zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von

# Energieholz



## **Impressum**

Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft  
Naumburger Str. 98, 07743 Jena  
Tel.: 03641 683-0, Fax: 03641 683-390  
Mail: [pressestelle@tll.thueringen.de](mailto:pressestelle@tll.thueringen.de)

**Autoren:** Thomas Hering  
Dr. Gerd Reinhold  
Andrea Biertümpfel  
Dr. Armin Vetter

Mai 2013

4. Auflage

### **Copyright:**

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

## Inhaltsverzeichnis

---

1	Marktsituation .....	4
1.1	Einleitung .....	4
1.2	Rechtliche Grundlagen.....	4
1.2.1	Beihilfefähigkeit.....	4
1.2.2	Pflanzgut .....	5
1.2.3	Fördermöglichkeiten.....	6
1.2.4	Rechtliche Regelungen .....	6
1.3	Einordnung in das Produktionssystem.....	7
1.4	Verbrauchsorientierte Produkthanforderung .....	9
2	Standortansprüche.....	10
2.1	Klima- und Bodenansprüche .....	10
3	Produktionsverfahren .....	11
3.1	Arten- und Klonwahl/Umtriebszeit.....	11
3.2	Nährstoffentzüge und Düngung.....	13
3.3	Bodenbearbeitung .....	14
3.4	Pflanzung .....	14
3.5	Mechanische Pflege und Pflanzenschutz .....	15
3.6	Krankheiten und Schädlinge .....	16
3.7	Ernte .....	16
3.8	Transport und Lagerung .....	19
4	Verfahrensbewertung .....	20

# 1 Marktsituation

## 1.1 Einleitung

Aufgrund einer stetig steigenden Nachfrage nach Holz zur stofflichen als auch zur energetischen Verwertung sowie konstant steigender Holzpreise gewinnt die Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUP) zunehmend an Bedeutung. Unter der Anlage von Kurzumtriebsplantagen ist der feldmäßige Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verstehen. Eine Sonderform dieser Bewirtschaftung stellen sogenannte Agroforstsysteme (AFS) dar. Dabei erfolgt gleichzeitig der Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen und Gehölzen auf ein und demselben Schlag. Als Gehölze sind generell einheimische Baumarten, meist jedoch Pappeln und Weiden mit einer Umtriebszeit von weniger als 20 Jahren<sup>1)</sup> zu verstehen. Vorrangig wird das Erntegut energetisch verwertet aber auch weitere Möglichkeiten, z. B. zur Paletten- und Kistenproduktion sowie zur Gewinnung von Zellstoff sind möglich.

Der Begriff „Schnellwachsende Baumarten“ bezieht sich allgemein auf Gehölze mit einer raschen Jugendentwicklung und einem hohen jährlichen Ertragszuwachs in den ersten Jahren nach der Pflanzung. Sie besitzen die Fähigkeit zum Stockausschlag, d. h. sie sind in der Lage nach der Beerntung aus dem verbliebenen Stock wieder auszutreiben. Die Zeit zwischen einer Aufwuchs- und Ernteperiode stellt einen Umtrieb dar.

## 1.2 Rechtliche Grundlagen

### 1.2.1 Beihilfefähigkeit

Der Anbau von schnellwachsenden Bäumen im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlich genutzter Fläche wird laut Verordnung (VO) Nr. 73/2009 (EG) wie eine Dauerkultur behandelt. Damit wird klar geregelt, dass Flächen im Kurzumtrieb, welche für eine landwirtschaftliche Tätigkeit genutzt werden, die Vorgaben zur Beihilfefähigkeit erfüllen. Die dazugehörige Verordnung (VO) 1120/2009 (EG) regelt in Artikel 2, dass nur solche Flächen beihilfefähig bleiben, welche mit Gehölzen im Sinne des KN-Code 0602 90 41 bestockt sind. Es handelt sich dabei um mehrjährige Gehölze, deren Wurzelstöcke nach der Ernte im Boden verbleiben und im Folgejahr wieder austreiben. Die für Deutschland gültige zulässige Baumartenliste ist in der Bekanntmachung Nr. 05/10/31 der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung veröffentlicht (siehe Tab. 1).

**Tabelle 1:** Übersicht der in Deutschland zulässigen Baumarten und ihrer maximalen Umtriebszeiten

Baumart	Arten	max. Umtriebszeit
Pappel ( <i>Populus</i> )	alle Arten	20
Weide ( <i>Salix</i> )	alle Arten	20
Robinie ( <i>Robinia</i> )	alle Arten	20
Erle ( <i>Alnus</i> )	alle Arten	20
Birke ( <i>Betula</i> )	alle Arten	20
Esche ( <i>Fraxinus</i> )	Gemeine Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	20
Eiche ( <i>Quercus</i> )	Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> )	20
	Traubeneiche ( <i>Quercus petraea</i> )	20
	Roteiche ( <i>Quercus rubra</i> )	20

<sup>1)</sup> d. h. die Ernte muss wenigstens einmal innerhalb von 20 Jahren stattfinden

Kurzumtriebsplantagen können gegenwärtig **grundsätzlich** nur auf Ackerland etabliert werden. Bei Anlage von Schnellwachsenden Baumarten auf Dauergrünland ist zu beachten, dass der Status Dauergrünland in Dauerkultur geändert wird. Das Dauergrünland wird dann zu „Ackerland“. Dabei sind die landesrechtlichen Regelungen zum Grünlandumbruch zu beachten. Hier gilt grundsätzlich das Grünlanderhaltungsgebot. Es ist sicherzustellen, dass der Dauergrünlandanteil gegenüber dem Basisjahr 2003 nicht um mehr als 10 % abnimmt [Artikel 6, VO (EG) Nr. 73/2009 sowie Artikel 3 VO (EG) Nr. 1122/2009]. Hier sind die jeweils aktuellen Richtlinien des Landes Thüringen zu berücksichtigen. Bei Etablierung von mehr als 50 Bäumen je Hektar wird das Grünland gegenwärtig rechtlich Wald im Sinne des Bundeswaldgesetzes.

Des Weiteren sind für potenzielle Betreiber von KUP oder AFS beihilfefähige Mindestflächen (Minimum 1 ha) und Mindestgrößen der Einzelschläge von 0,3 ha einzuhalten.

### 1.2.2 Pflanzgut

Bei der Anlage von Schnellwachsenden Baumarten stellt sich die Frage nach Vermehrungsgut. Dabei gilt, da es sich um forstliches Pflanzgut handelt, grundsätzlich das Forstvermehrungsgesetz (FoVG). Dieses Gesetz ist die Grundlage für die Erzeugung, das Inverkehrbringen als auch für den Im- und Export von Pflanzmaterial. Damit wird eine Qualitätssicherung für das eingesetzte Vermehrungsgut sichergestellt. Es gilt für alle Baumarten mit Ausnahme der Weide.

Das FoVG differenziert nach verschiedenen Stufen in:

- quellengesichertes
- ausgewähltes
- qualifiziertes und
- geprüftes Ausgangsmaterial.

Das Inverkehrbringen von Pflanzmaterial insbesondere für vegetativ vermehrtes Pflanzgut wie z. B. bei Pappeln ist nur für Pflanzgut der Stufe „geprüft“ zulässig. Dabei wird bei solchem Material ein „verbesserter Anbauwert“<sup>2)</sup> sichergestellt. **Material, welches für den Eigenbedarf erzeugt wird, obliegt nicht den Regelungen des FoVG.** Das betrifft insbesondere die vegetative Vermehrung von Stecklingen bzw. Steckhölzern der Baumart Pappel. Die zugelassenen Klone bzw. -mischungen wurden durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) veröffentlicht. Für die übrigen generativ vermehrten Baumarten wird meistens ausgewähltes Vermehrungsgut verwendet. Die Erzeugung unterliegt dem FoVG und darf nur von registrierten Forstsamen- und Forstpflanzenbetrieben und nach Ausstellung von Stammzertifikaten erzeugt und in den Verkehr gebracht werden.

Bei der Verwendung von Weidenklonen und bestimmten Pappelklonen sind gegebenenfalls Sortenschutzbestimmungen zu beachten. Dabei dient der Sortenschutz zur Sicherung der Rechte des Züchters ohne Aussage über die Eignung und das Leistungsvermögen der geschützten Sorten. Für die Anlage von größeren Plantagen wird die Anlage eines Mutterquartieres empfohlen. Dieses dient zur Stecklingsgewinnung für den eigenen Betrieb und sollte im Vorfeld der beabsichtigten größeren Flächenetablierung erfolgen. Dadurch können die Stecklingskosten ggf. erheblich reduziert werden.

---

<sup>2)</sup> Unter Material mit einem verbesserten Anbauwert wird verstanden, dass dieses im Vergleich zu Prüfstandards in mindestens einem Merkmal überlegen und bei den anderen mindestens gleichwertig ist.

### 1.2.3 Fördermöglichkeiten

Die Bewirtschaftung von Energieholzplantagen sind betriebsprämienberechtigt (siehe Pkt. 1.2.1). Des Weiteren gibt es die Möglichkeiten der finanziellen Förderung über das Agrarinvestitionsprogramm (AIP), speziell über die Beihilfe für Investitionen zur Diversifizierung der Produktion sowie über das im Januar 2012 novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), sofern die Erzeugung von Elektroenergie aus dem Holz der Kurzumtriebsplantagen erfolgt.

Ein Förderprogramm direkt für KUP gibt es gegenwärtig in Thüringen im Rahmen des Agrarinvestitionsförderungsprogramms (AFP). Für KUP, welche im Rahmen des AFP gefördert werden, gelten hier vergleichbare Zuwendungsvoraussetzungen und Anforderungen an das Verwaltungsverfahren wie bei anderen Investitionen im Rahmen des AFP (Qualifikation des Zuwendungsempfängers, Buchführung, Investitionskonzept, Rating, Kontrollen, etc.). Das Mindestinvestitionsvolumen beträgt hier gegenwärtig 20 000 € je Einzelmaßnahme. Es erfolgt des Weiteren die Anwendung der De-Minimis Regelung.

Gegenwärtig befindet sich diese Fördermaßnahme in Überarbeitung und soll mit spezifischeren Zuwendungsvoraussetzungen und geringeren Mindestinvestitionsvolumen umgesetzt werden.

### 1.2.4 Rechtliche Regelungen

Das **Bundeswaldgesetz (BWaldG)**, zuletzt geändert im Juli 2010 stellt im Artikel 1 § 2, Absatz 2 klar, dass Kurzumtriebsplantagen als auch Agroforstsysteme auf Ackerflächen kein Wald im Sinne des Gesetzes sind<sup>3)</sup>. Grünland mit mehr als 50 Bäumen wird zu Wald im Sinne des BWaldG.

Grundsätzlich gilt, dass nach § 14 des **Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)** eine land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Bodennutzung nicht als Eingriff zu bewerten ist, soweit die Ziele und Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege berücksichtigt werden. Die Anlage von Schnellwachsenden Baumarten ist jedoch als Einzelfall zu betrachten und es wird daher empfohlen, vor der Anlage einer KUP oder eines AFS das Vorhaben bei der Unteren Naturschutzbehörde bzw. dem Landwirtschaftsamt anzuzeigen. Es gelten des Weiteren die einschlägigen Bestimmungen des Thüringer Naturschutzgesetzes sowie des Artenschutzes.

Das **Nachbarschaftsrecht** regelt länderspezifisch notwendige einzuhaltende Abstände zu angrenzenden Grundstücken. Allgemein ist bei Anlage einer KUP bzw. eines AFS die Absprache mit den Anliegern im Vorfeld der Etablierung sinnvoll, um einerseits die Maßnahme zu erläutern sowie andererseits Übereinstimmung in Bezug auf einzuhaltende Grenzabstände zu erzielen.

Mit Wirkung zum 1. Januar 2012 trat das novellierte **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** und die gleichzeitig geänderte **Biomasseverordnung (BiomasseV)** in Kraft. Letztere regelt u. a. die Einordnung von biogenen Energieträgern in Einsatzstoffvergütungsklassen und damit die mögliche Inanspruchnahme erhöhter substratbezogener Vergütungen. Dabei wird unterschieden in die Klassen I und II (s. Anlage 2 bzw. 3 der BiomasseV).

---

<sup>3)</sup> 1. Grundflächen auf denen Baumarten mit dem Ziel baldiger Holzentnahme angepflanzt werden und deren Bestände eine Umtriebszeit von nicht länger als 20 Jahren haben (Kurzumtriebsplantagen)  
2. Flächen mit Baumbestand, die gleichzeitig dem Anbau landwirtschaftlicher Produkte dienen (agroforstliche Nutzung),  
3. mit Forstpflanzen bestockte Flächen, die am 6. August 2010 in dem in § 3 Satz 1 der InVeKoS-Verordnung vom 3. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3194), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 7. Mai 2010 (eBAnz AT51 2010 V1) geändert worden ist, bezeichneten Flächenidentifizierungssystem als landwirtschaftliche Flächen erfasst sind, solange deren landwirtschaftliche Nutzung andauert und  
4. in der Flur oder im bebauten Gebiet gelegene kleinere Flächen, die mit einzelnen Baumgruppen, Baumreihen oder mit Hecken bestockt sind oder als Baumschulen verwendet werden.

#### **A Einsatzstoffe der Einsatzstoffvergütungsklasse I, Anlage 2 Nr. 22:**

„Holz aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Ausnahme von Nummer 18 der Anlage 3. Als KUP gelten Anpflanzungen mehrjähriger Gehölzkulturen mit einer Umtriebszeit von mindestens drei und höchstens 20 Jahren auf landwirtschaftlichen Flächen, die allein oder im Rahmen einer agroforstlichen Nutzung der Energieholzgewinnung dienen, und die nicht Wald im Sinne des Bundeswaldgesetzes sind, einschließlich Rinde“.

Nach § 27 des EEG erhöht sich die Grundvergütung (siehe § 27, Absatz 1, Satz 1 bis 4) nach Absatz 2, Satz 1, Punkt a) bis c) um:

- 6 ct/kWh bei Anlagen ≤ 500 kW,
- 5 ct/kWh bei Anlagen ≤ 750 kW,
- 4 ct/kWh bei Anlagen ≤ 5 MW und für

#### **B Einsatzstoffe der Einsatzstoffvergütungsklasse II, Anlage 3 Nr. 18:**

„Holz aus KUP im Sinne von Nummer 22 Satz 2 der Anlage 2, sofern die KUP nicht auf Grünlandflächen (mit oder ohne Grünlandumbruch), in Naturschutzgebieten, in Natura 2000-Gebieten oder in Nationalparks angepflanzt wurden und sofern keine zusammenhängende Fläche von mehr als 10 ha in Anspruch genommen wurde, einschließlich Rinde“. Nach § 27 des EEG erhöht sich die Grundvergütung (siehe § 27, Absatz 1, Satz 1 bis 4) nach Absatz 2, Satz 2, Punkt a) um:

- 8 ct/kWh bei Anlagen ≤ 5 MW.

### **1.3 Einordnung in das Produktionssystem**

Der Anbau von Schnellwachsenden Baumarten hat sich in den letzten fünf Jahren vervielfacht. Während Ende des letzten Jahrzehntes nur etwas mehr als 100 ha bundesweit etabliert waren, sind die gegenwärtigen Anbauflächen auf etwa 5 000 ha bundesweit angewachsen. In Thüringen sind bisher lediglich knapp 70 ha offiziell in der Anbaustatistik auf betriebsprämienberechtigten Flächen erfasst.

Die Etablierung von Systemen zum Anbau von Schnellwachsenden Baumarten hängt in der Praxis neben den ökonomischen im Wesentlichen von den gegebenen betriebsindividuellen Rahmenbedingungen ab. Dabei sind neben den allgemeinen Standortbedingungen wie z. B. Wasserversorgung, Ackerzahl, Niederschläge und Temperaturen, die Pachtverhältnisse, die Vertragsdauer von Pachtverhältnissen und die absolute Höhe der Pachtzahlungen von großer Bedeutung. Des Weiteren ist die Verfügbarkeit von bzw. der Zugriff auf Spezialtechnik in Bezug auf die Pflanzung, ggf. Pflege sowie die Ernte bzw. Rückumwandlung einer der wesentlichen Gründe für die potenzielle Etablierung von Energieholzanlagen. Nicht zuletzt sind die Vermarktungsmöglichkeiten und die dabei erzielbaren Erlöse eine weitere wichtige Grundlage für die Umsetzung solcher Systeme.

In Thüringen wird auf ca. 75 % Pachtland gewirtschaftet (Agrarbericht 2011). Da für eine sinnvolle ökonomische Bewirtschaftung einer solchen Dauerkultur analog z. B. bei Anlagen zum Hopfenanbau ein Mindestbewirtschaftungszeitraum von etwa 24 Jahren anzustreben ist, sollte von den Verpächtern das Einverständnis zum Anlegen einer Energieholzplantage eingeholt und über einen verlängerten Pachtzeitraum verhandelt werden. Die Anlage auf eigenen Flächen bleibt davon unberührt. Die Anlage von Energieholzplantagen weisen zahlreiche Vor- und Nachteile auf (siehe Tab. 2).

**Tabelle 2:** Vergleich der Vor- und Nachteile des Energieholzanbaus

Vorteile	Nachteile
Extensive Bewirtschaftung	Lange Flächenbindung - Kapitalbindung
Lange Nutzungsdauer des Pflanzgutes	Hohe Anfangsinvestitionen
Einkommensdiversifizierung / Risikominimierung	Etablierungsrisiko
Brechung von Arbeitsspitzen	Geringe Verbreitung von regionalen Dienstleistern
Eigenpflanzguterzeugung	Produktionsverfahren bislang kaum etabliert
Erweiterung des Artenspektrums	Geringe genetische Variabilität des Pflanzgutes
Lange Bodenruhe - Humusbildung	Eingeschränkte Zulassung von PSM
Geringer Nährstoffbedarf	Baumarten- u. Klonspezifisches standortabhängiges Ertragspotenzial ungenügend bekannt
Nutzung von Grenzertragsstandorten oder Sonderflächen (Schlagform bzw. -größe Nutzung von Wasserschutzgebieten)	Teilweise eingeschränkte Vermarktungsmöglichkeiten (KWK- bzw. Wärmeerzeugungsanlagen)
Kurze, weitestgehend geschlossene Stoffkreisläufe durch Anbau (CO <sub>2</sub> -Festlegung), Verbrennung (CO <sub>2</sub> -Freisetzung) und Ascheverwertung (Nährstoffrückführung)	Geringe Verbreitung von geeigneten Technologien zur Anlage bzw. Ernte des Holzes (Spezialtechniken) - hohe An- bzw. Abfahrtskosten
Erosionsschutz, da Dauerkultur (Wind, Wasser)	
Biotopverbund, Auflockerung der Landschaft	
Deckungsflächen für z. B. Niederwild	

Die Absatzmöglichkeiten für die Ernteprodukte bestehen im Wesentlichen als Brennstoff für Anlagen zur Wärmeerzeugung bzw. Anlagen zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung. Darüber hinaus gibt es auch einzelne reine Stromerzeugungsanlagen auf der Basis von Energieholzsortimenten.

Während reine Wärmeerzeugungsanlagen in Bezug auf den Brennstoff eher regionale Angebote wahrnehmen (ca. bis zu 50 km Einzugsradius) und diese in Konkurrenz zu alternativen Energieholzsortimenten, wie z. B. Holzpellets, Sägereistholz, Landschaftspflegeholz, Waldrestholz u. a. aus Durchforstungsmaßnahmen bzw. Industrieholz, sowie z. T. Recyclingholz stehen, sind die größeren Verbraucher auch überregional bei der Brennstoffaquisierung engagiert (ca. bis zu 300 km Einzugsradius). Aufgrund deutlich größerer Abnahmemengen der Letztgenannten, meist geringeren Anforderungen an die Qualität (bezüglich der Hackgutgröße, Wassergehalt, etc.) sind abnehmerspezifische Preisunterschiede am Markt feststellbar. Daneben sind stetig ansteigende Preise zu verzeichnen. Das spiegelt sich auch in den Preisberichtsdiagrammen von einschlägig bekannten Datenbanken wieder (Quelle: C.A.R.M.E.N.). Da Richtpreise für Material aus KUP erst seit kurzem statistisch erfasst werden, erfolgt die Anlehnung an die Preisberichtstabellen von Energieholzsortimenten aus dem Wald. Diese stiegen seit 2005 jährlich um ca. 13 % (Quelle: Statistisches Bundesamt). Mit diesem Trend sowie der Erhöhung der Preise für fossile Energieträger zeichnet sich eine kontinuierliche Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von KUP ab.

Die Preise frei Konversionsanlage für diese Energieholzsortimente liegen in Abhängigkeit von Abnahmemengen, Qualität und Logistik in folgenden Bereichen:

- Waldhackgut (Wärmeerzeugungsanlagen): 100 bis 150 €/t TM (Richtwert 125 €/t TM)
- Waldhackgut (KWK-Anlagen): 80 bis 100 €/t TM (Richtwert 90 €/t TM)



In Thüringen haben sich in den letzten Jahren die Absatzmöglichkeiten für Energieholzsortimente stark verbessert, da zum einen eine ganze Anzahl größerer Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf der Basis von naturbelassenem Waldrestholz, aber auch zunehmend mittelgroße Heizwerke (100 kW bis 5 MW<sub>FWL</sub>) entstanden sind.

Bei Anlage einer KUP ist zu empfehlen, die Vermarktungsalternativen bzw. die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung im Rahmen einer Wärmeproduktion in der Region frühzeitig zu klären. Gegebenenfalls ist eine langfristige Vertragsgestaltung hinsichtlich der Bindung an geeignete Abnehmer mit entsprechenden Preisgleitklauseln sinnvoll.

Während Betreiber von EEG-Anlagen von nahezu gleichbleibenden Produktpreiskonditionen (Erlös für den eingespeisten Strom als Hauptprodukt) in ihrer betriebsindividuellen Kalkulation ausgehen müssen, stehen Biomasseheizwerksbetreiber in unmittelbarer Konkurrenz zu mit fossilen Energieträgern betriebenen Anlagen. Das bedeutet, dass die Preiselastizität von Heizwerksbetreibern an die Entwicklung der Weltmarktpreise für fossile Energieträger wie z. B. Heizöl, Erdgas etc. gekoppelt ist. Das eröffnet eine viel größere Flexibilität in der Preisgestaltung und in der Anpassung auf volatile Märkte.

#### 1.4 Verbrauchorientierte Produktanforderungen

Um den zunehmenden Marktteilnehmern (Erzeuger, Händler, Anbieter und Betreiber von Konversionsanlagen, etc.) ein Instrument zur Verständigung über gleichbleibende Produktanforderungen an die Hand zu geben, erfolgte zur Einordnung der Brennstoffqualitäten eine europaweit abgestimmte Klassifizierung von Biomasse. Daraus resultiert für Holzhackschnitzel die **DIN EN 14961**, welche die Brennstoffspezifikationen und -klassen für feste Biobrennstoffe definiert.

Die von den jeweiligen Marktteilnehmern formulierten Produktanforderungen können dabei im Einzelnen davon abweichen. Indirekt werden teilweise bestimmte Anforderungen auch über das Bundesimmissionsschutzgesetz und seine Verordnungen (1./4./13. BImSchV) bzw. über anlagenindividuell formulierte Anforderungen im Rahmen des Genehmigungsrechtes vorgegeben.

Für Betreiber von Konversionsanlagen sind insbesondere die Angaben zum Wassergehalt, der Stückigkeit (Korngröße), ggf. zum Feinanteil bzw. zum Anteil an Störstoffen von primärer und oft essenzieller Bedeutung, da sie teilweise über die Brauchbarkeit des Brennstoffes generell aber auch über die Funktionssicherheit bzw. die Effizienz des Anlagenbetriebes mit entscheiden. Holz aus KUP ist gegenüber naturbelassenen Waldrestholzsortimenten durch folgende normativ zu erfassenden Produktparameter (siehe Tab. 3) gekennzeichnet.

**Tabelle 3:** Vergleich produktspezifischer chemischer Eigenschaften von Energieholzsortimenten

Parameter	Einheit	Pappel				Laubholz				Nadelholz			
		MW	n =	MAX	MIN	MW	n =	MAX	MIN	MW	n =	MAX	MIN
Stickstoff	% d. TM	0,56	288	1,22	0,19	0,49	55	2,66	0,11	0,14	41	0,28	0,07
Schwefel	% d. TM	0,05	350	0,12	0,02	0,04	54	0,22	0,01	0,02	54	0,06	0,01
Chlor	% d. TM	0,02	318	0,11	0,00	0,02	44	0,07	0,01	0,01	36	0,02	0,00
Aschegehalt	% d. TM	2,0	350	4,5	0,6	0,6	12	1,2	0,3	0,8	51	2,2	0,2

Da Energieholz mit einem Wassergehalt zwischen 50 bis 60 % als Hackgut geerntet wird, ist im Weiteren mit Trocknungsprozessen bzw. Biomasseabbauraten je nach Trocknungs- bzw. Lagerungsvariante zu rechnen, um einen Vergleich zu alternativen Bewirtschaftungsformen (Anbausystemen bzw. Umtriebszeiten) zu ermöglichen.

Weitere relevante Eigenschaften von Hackgut aus Pappelholz sind:

- Schüttgewicht (55 % WG - zur Ernte)  $\approx 250 \text{ kg/Srm}$
- Schüttgewicht (35 % WG - bei Vermarktung)  $\approx 170 \text{ kg/Srm}$
- unterer Heizwert ( $H_{u_{wf}}$ ) (0 % WG)  $\approx 18,5 \text{ MJ/kg}^{\text{TM}}$
- unterer Heizwert (35 % WG)  $\approx 12,2 \text{ MJ/kg}^{\text{TM}}$  (inkl. Verdampfungswärme)

Bei einem Anbau auf normalen landwirtschaftlichen Nutzflächen ist nicht mit einer für die energetische Verwertung problematischen Anreicherung mit Schwermetallen zu rechnen. Als Richtwerte können die Grenzwerte für Holzpellets (ENplus) herangezogen werden. Bei Anbau auf Sonderstandorten können KUP zur nachhaltigen Nutzung von schwermetallbelasteten Flächen beitragen.

## 2 Standortansprüche

### 2.1 Klima- und Bodenansprüche

Nach den bisherigen Erkenntnissen sind die Baumarten Pappel und Weiden am besten für den Kurzumtrieb geeignet und sollen deshalb im Folgenden vertiefend betrachtet werden. Vor allem ihre Schnellwüchsigkeit in den ersten Jahren nach der Pflanzung und ihr gutes Stockausschlagvermögen prädestiniert sie für die kurzen Umtriebszeiten. Sie sind damit anderen Baumarten wie z. B. Erle, Birke oder Eiche klar überlegen. Grundsätzlich ist festzustellen, dass Pappeln und Weiden verhältnismäßig geringe Ansprüche an die Bodenqualität stellen. Entscheidend für den Ertragszuwachs ist die Wasserversorgung, die entweder über ausreichende Niederschläge, ein gutes Bodenwasserspeichervermögen bzw. einen Grundwasseranschluss gegeben sein sollte.

Weiden haben etwas höhere Ansprüche als Pappeln, so dass ihr Anbau besonders auf Aueböden erfolgreich ist. Böden mit Staunässe und sogenannte Minutenböden sind für beide Arten nicht geeignet. Des Weiteren ist eine gute Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit des Standortes bis mindestens 30 cm von Vorteil, da ansonsten mit geringeren Zuwachsraten, zumindest bei den ersten beiden Umtrieben (Ernten), zu rechnen ist. Weiden und Pappeln bevorzugen schwach saure bis neutrale Böden. Steinreiche und schwere tonige Böden können Probleme bei der Pflanzung bereiten. Der Anbau kann bis in Höhenlagen von 600 m erfolgen.

Hohe Erträge  $> 10 \text{ t TM/Jahr} \times \text{ha}$  sind nur auf gut durchlüfteten, nährstoffreichen Böden bei ausreichendem Wasserangebot erzielbar. Einen generellen Überblick über die Anbaueignung der Baumarten gibt Tabelle 4:

**Tabelle 4:** Anbaueignung einzelner geeigneter Baumarten

Ertrag	Wasserverfügbarkeit	Schadanfälligkeit
<b>Hoch</b>	<b>Hoch</b>	<b>Hoch</b>
Pappel	Weide	Weide
Robinie	Pappel	Pappel
Weide	Birke	Robinie
Erle	Erle	Birke
Birke	Robinie	Erle
<b>Gering</b>	<b>Gering</b>	<b>Gering</b>

Bei der Anlage von KUP auf absoluten ackerbaulichen Grenzstandorten ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig. Hier sind bei geringeren Baumzahlen je Hektar, deutlich höhere Umtriebszeiten zu wählen und eine besondere Beachtung bei der Etablierung der Kultur notwendig. Natürlich sind ebenso wie bei Marktfruchtarten auch hier geringere Erträge zu erwarten als bei entsprechend besseren Standorten.

Grundsätzlich ist der Anbau von KUP im gemäßigten Klima bis zu einer Höhe von etwa 600 m über NN zu empfehlen. Dabei ist für einen entsprechenden Anbauerfolg eine ausreichende Wasserversorgung während der Vegetationsperiode von ca. 300 mm (Jahresniederschlag > 550 mm) bzw. ein hohes Wasserhaltevermögen des Standortes entscheidend. Grundwasserbeeinflusste Standorte sind besonders gut geeignet. Der Oberboden sollte möglichst gut durchlüftet sein.

In Abhängigkeit von den Standortbedingungen Boden (Ackerzahl/Nutzbare Feldkapazität), Niederschlägen, Temperaturen bzw. Höhenlage sind die entsprechenden jährlich erzielbaren Biomasseerträge durchaus mit denen von Marktfruchtarten vergleichbar. Weniger gut geeignet sind ackerbauliche Grenzstandorte, staunasse, sehr schwere, tonige bzw. trockene Böden.

### 3 Produktionsverfahren

#### 3.1 Arten- und Klonwahl/Umtriebszeit

Der Anbau verschiedener Sorten (drei bis vier) in einer Energieholzplantage kann das Risiko bei der Sortenwahl, d. h. kein optimaler Standort, schlechtes Anwuchsverhalten, Ausbreiten von Krankheiten minimieren und damit die Ertragssicherheit steigern. Neben der Wuchsleistung ist die Regenerationsfähigkeit aus dem Stock über mehrere Umtriebe für eine lange Nutzungsdauer der Energieholzplantage von hoher Bedeutung. Die Auswahl der Arten bzw. Klone für die Energieholzproduktion ist vor allem vom Standort und der Umtriebszeit abhängig. Zur Erreichung maximaler Zuwächse wurden dazu in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Sorten gezüchtet und getestet.

Dabei hat sich die Baumart Pappel und dabei insbesondere die Gruppe der Balsampappeln und ihrer Hybriden als besonders geeignet herausgestellt. **Besonders geeignet sind Hybridsorten mit der Entwicklung von starken Haupttrieben.** Dies ermöglicht eine effizientere Ernte und garantiert eine bessere Holzhackschnitzelqualität.

**Tabelle 5:** Im Rahmen von Versuchen in Thüringen erprobte Pappelklone

Art / Kombination		Klon / Klonmischung
Balsampappel	Populus trichocarpa	Muhle Larsen
	Populus maximowicij x trichocarpa	<b>Androscoggin; Hybride 275 (NE 42)</b>
Balsampappel X Schwarzpappel	Populus maximowicij x nigra	<b>Max 1,2,3,4</b>
	Populus trichocarpa x deltoides	Beaupré; Boleare, Raspalje
	Populus deltoides x trichocarpa	Donk

Insbesondere die **Klone Max 1, 3, 4; Hybride 275 (NE 42)** und etwas eingeschränkter **Androscoggin** haben sich in Thüringen bisher als besonders wüchsig erwiesen. Dabei wird das Ertragsmaximum von bis zu 200 dt/ha x a jeweils erst ab der 4. Umtriebsperiode (mit

4. Ernte) erreicht. Dies führt jedoch zu einem deutlichen Anstieg der mittleren Jahreserträge bezogen auf eine gesamte Bewirtschaftungsdauer von 24 Jahren. Alle anderen getesteten Klone konnten nur etwa 50 % dieser Maximalwerte erreichen.

Die Züchtung für Pappeln wird gegenwärtig erneut intensiviert und erste neue Klone werden am Markt angeboten (z. B. **AF, Matrix**). Da die bereits für in Thüringen als besonders wüchsig nachgewiesene Pappelklone nur eine geringe genetische Vielfalt aufweisen, wird bei der Anlage von Flächen ab ca. 5 ha die Verwendung einer Klonmischung empfohlen. Allerdings sollte die Anlage blockweise und sortenrein erfolgen.

Die Ergebnisse der TLL in Thüringen zeigen, dass sowohl Weiden als auch Pappeln sehr stark auf Standortunterschiede reagieren. Nach den bisherigen Ergebnissen der Thüringer Versuche auf den Standorten Dornburg, Langenwetzendorf und Bad Salzungen (aus mehr als 15 Jahren Anbauerfahrung) im drei- bzw. fünfjährigen Umtrieb können die rostresistenten Pappelklone Max 1, 3, 4 sowie Androscoggin ebenso wie die Klone von Hybride 275 (NE 42), Schwarza bzw. J105 empfohlen werden (vgl. Versuchsbericht „15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen“). Die Pappelklone Max 1, 3, 4 und Androscoggin verfügen auch nach der fünften Ernte bei dreijähriger Umtriebszeit noch über 80 % des gepflanzten Baumbestandes.

Von den 300 Weidenarten der Gattung *Salix* eignen sich am besten Klone mit wenigen, kräftigen Trieben (z. B. *Tora*, *Tordis*). Sie erzielen jährlich höhere Zuwachsraten und lassen sich effizienter ernten. Doch selbst diese Sorten weisen nach mehreren Umtrieben eine deutlich höhere Anzahl von Haupt- und Nebentrieben auf als die bereits empfohlenen Pappelklone. Neuere Sorten zeigen oftmals eine verbesserte Resistenz gegen Blattrostkrankheiten und Gallmückenbefall und werden darüber hinaus weniger von Hasen und Rehwild verbissen (z. B. *Björn* und *Tora*). Im Gegensatz zur Pappel, bei der in den letzten 20 Jahren nur wenig neue Klone zugelassen wurden, kommen bei der Weide jährlich neue Sorten auf den Markt, wie *Jorr*, *Torhild*, *Sven*, *Tordis*, *Olof*, *Karin* und *Inger*. In Bad Salzungen brachte die Weide *Tora* sehr gute Ergebnisse. Hier berechtigt der durch Grundwasser positiv beeinflusste Standort auch den Anbau von Weiden.

Bei Weiden war ein Selektionsmerkmal die Ausprägung von wenigen Haupttrieben, welche eine Reduzierung der Rinden- und somit Ascheanteile zur Folge hat und damit im Hinblick auf das Stück-Masse-Gesetz bei der Ernte deutliche Vorteile aufweist. Empfehlenswerte Sorten aus dem derzeit verfügbaren Spektrum der Weidenzüchtungen für die Biomasseerzeugung sind derzeit: ***Tora*, *Tordis*, *Inger*, *Zieverich*, *Björn* und *Sven***.

Robinien, Erlen, Birken, Eichen und Eschen haben ihre maximalen Zuwächse erst ab einem Alter von mindestens 15 Jahren und eignen sich daher in Bezug auf maximale Biomasseerträge nur bedingt für eine Kurzumtriebsplantage. Bei Eschen tritt zudem in Thüringen massiv ein Eschentriebsterben auf, so dass vom Anbau abgeraten werden muss.

Schwarzerle und Birke erreichen nicht die Wachstumsleistungen wie Pappelhybride und Weiden. Zudem können sie nicht preisgünstig über Stecklinge vermehrt werden.

Für maximale Erträge werden längere Umtriebszeiten von mindestens fünf bis zehn Jahren empfohlen. Hier wird über die längere Umtriebszeit die Höhe als dritte Zuwachsdimension besser ausgeschöpft. Vorteile der höheren Umtriebszeiten bestehen in niedrigeren Anlagekosten der Plantage durch geringere Pflanzkosten und in geringeren Lager- und Transportkosten für das Erntematerial. Des Weiteren sind aufgrund der Ganzbaumlagerung nach der Ernte, deutlich geringere Biomasseverluste zu verzeichnen. Im Rahmen der Versuche sollte über eine spätere Ernte (Erhöhung der Umtriebszeit) und damit eine bessere Ausnutzung des individuellen Standraumes diskutiert werden.

Die Vorteile der Bewirtschaftung in kürzeren Rotationen (drei bis vier Jahre) liegen in einer kostengünstigeren mechanisierten Ernte mit Feldhäckslern und im schnelleren Kapitalrückfluss. Kurze Umtriebszeiten mit engen Pflanzabständen (8 000 bis 12 000 Pflanzen/ha) haben gegenüber langen Umtrieben mit weiten Pflanzabständen (4 000 bis 8 000 Pflanzen/ha) zudem Vorteile bei der Etablierung der Anlagen. Aufgrund der höheren Stecklingszahl verbunden mit einem geringeren Lichteinfall sind weniger Pflegemaßnahmen gegen konkurrierende Unkräuter notwendig.

Bei der Anlage kleinerer Flächen (< 5 ha) besteht ggf. die Gefahr von Wildschäden (je nach Einstandsgebiet). Hier ist besonders in der Etablierungsphase eine intensive Bejagung der Fläche unabdingbar. Eine Einzäunung ist mit erheblichen Kosten verbunden und wirtschaftlich nicht darstellbar.

Es wird deutlich das je schlechter der Standort d. h. geringere Ackerzahlen bzw. geringere nutzbare Feldkapazität, tiefere mittlere Temperaturen sowie geringere Niederschläge in der Vegetationsperiode, schlechterer Grundwasseranschluss aber auch je kleiner die zu bewirtschaftende Fläche umso höhere Umtriebszeiten gewählt werden sollten. Dies ist verbunden mit einer geringeren Pflanzenzahl je Hektar. Die optimale Stecklingsanzahl je Standort, bezogen auf die jeweilige Umtriebszeit kann allerdings aufgrund einer unzureichenden Datenlage nicht abschließend bewertet werden. Für die vorliegende Leitlinie vorgenommenen Kalkulationen wird bei einer mittleren Umtriebszeit von 8 Jahren von 5 200 Pflanzen/ha ausgegangen.

### 3.2 Nährstoffentzüge und Düngung

Die geringen Nährstoffentzüge lassen keine erhebliche Düngenotwendigkeit erwarten (siehe Tab. 6). Die Stickstoff-Nachlieferung des Bodens (Mineralisation), ehemals landwirtschaftlich genutzter Flächen und der Eintrag aus der Luft (ca. 30 bis 50 kg/ha x a) sind ausreichend, um jährliche Trockenmassezuwächse von 8 bis 12 t/ha bei Pappeln abzusichern. Dies trifft insbesondere auf die ersten 5 bis 15 Jahre nach der Anlage von KUP zu. Ob Stickstoffgaben nach einer längeren Standzeit (Beerntung) der Plantagen notwendig sind und inwieweit eine Nährstoffverarmung der Flächen bei Rückführung in eine annuelle Nutzung ausgeglichen werden muss, wurde bisher nicht ausreichend belegt. Für *Salix viminalis* werden, im Gegensatz zu Pappeln, positive Effekte einer Stickstoffdüngung zwischen 50 und 100 kg N/ha und Jahr beschrieben (A. JUG, 1998).

**Tabelle 6:** Nährstoffentzug des Erntegutes (kg/dt TM), Dornburg, Langenwetzendorf (1994 bis 2005)

	N	P	K	Mg
Weide dreijährig	0,49	0,095	0,24	0,052
Pappel dreijährig	0,50	0,099	0,32	0,064
Pappel fünfjährig	0,47	0,081	0,26	0,061

Bei der Verbrennung werden die Nährstoffe Kalium zu 60 bis 80 %, Magnesium und Phosphor zu 80 bis 100 % in die Asche eingebunden. Mit einer potenziellen Rückführung der Aschen als Düngestoff auf die Plantagen könnte man somit bei diesen Nährstoffen einen weitestgehend geschlossenen Kreislauf erreichen. In Großbritannien, Schweden und teilweise in Norddeutschland wird der Einsatz von Klärschlamm in Energieholzplantagen empfohlen. Über die Verwendung von Gülle gibt es bisher keine Erfahrungen.

### 3.3 Bodenbearbeitung

Vor der Anlage einer Plantage ist bei der Bodenbearbeitung im Spätsommer und Herbst vor der Pflanzung großes Augenmerk auf die Bekämpfung von Unkräutern zu legen. Insbesondere bei Auftreten von Wurzelunkräutern sollte eine Stoppelbearbeitung erfolgen. Besonders gut geeignet hinsichtlich einer Bodenherbizidwirkung ist Mais als Vorfrucht. Der Einsatz eines Totalherbizides zur Gewährleistung einer Minimierung von Begleitvegetation im Folgejahr ist standortabhängig zu entscheiden. Eine ca. 25 cm tiefe Pflugfurche mit einem Nachbearbeitungsgerät im Herbst zur Schaffung eines gut abgesetzten Pflanzbettes ist zu empfehlen.

Die Pflanzenbettvorbereitung im zeitigen Frühjahr hat das Ziel, eine gut durchlüftete, wasserspeichernde, den Stecklingen einen guten Bodenschluss gewährleistende Zone zu schaffen. Das Pflanzbett muss weitestgehend eben und gut abgesetzt sein.

### 3.4 Pflanzung

Die Pflanzbettvorbereitung, die Klonwahl und die Qualität des Pflanzgutes sind neben der Pflanzung selbst wesentliche Faktoren, welche die Anwuchsrate und damit den Erfolg der Anlage der Plantage beeinflussen. Die Pflanzung erfolgt mit ca. 20 bzw. 30 cm langen Stecklingen, die mindestens drei bis fünf Augen aufweisen. Diese Stecklinge sollten während der Vegetationsruhe, vorrangig von Januar bis März des Pflanzjahres, aus einjährigen Trieben [Ø ca. 1,0 bis 2,0 cm (20 cm), bzw. 3,0 bis 4,0 cm (30 cm)] geschnitten werden. Bis zur Pflanzung sind die Stecklinge kühl, d. h. bei 1 bis 4 °C und möglichst hoher Luftfeuchtigkeit (≈ 85 % Luftfeuchtigkeit) zu lagern oder besser im Boden einzuschlagen und abzudecken. Die Zeit zwischen dem Schneiden der Stecklinge und der Pflanzung ist so gering wie möglich zu halten. Eine Woche vor der Pflanzung wird das Pflanzgut an einem wärmeren hellen Ort gelagert, um die Knospenschwellung anzuregen. Damit wird ein schnellerer Austrieb auf dem Feld gefördert und das Anwuchsrisiko minimiert. Direkt vor der Pflanzung ist eine Wässerung des Stecklingsmaterials über 24 h von Vorteil. Größere Stecklinge erhöhen bei Trockenheit nach der Pflanzung die Anwuchsraten.

Weiden weisen generell eine höhere Anwuchsrate als Pappeln auf (ca. 90 bis 100 %). Bei den Pappeln bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Klonen. Bei Beachtung der aufgeführten Maßnahmen sind mit den Balsampappelhybriden Anwuchsraten > 90 % erzielbar. Ein unsachgemäßes Vorgehen bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen, z. B. überlagertes Pflanzgut, ungeeignete Klone, schlechtes Pflanzbett und zu später Pflanztermin (Trockenheit) kann zu starken Ausfällen führen. Von den von der Wuchsleistung empfohlenen Klonen weisen unter den geprüften Thüringer Standortbedingungen die Weiden und die Pappelmischklonsorte *Max* sowie *J 105* hohe Anwuchsraten auf.

Der günstigste Pflanztermin ist das zeitige Frühjahr, sobald man den Boden befahren kann (ca. ab Ende Februar). Es empfiehlt sich der Anbau von mehreren Klonen in Blöcken von sechs bis zehn Reihen pro Klon, um einen evtl. Nachbau zu ermöglichen. Eine Mischung der Sorten in den Reihen birgt die Gefahr, dass einzelne Klone unterdrückt werden.

Bei kleinen Flächen bis ca. 1 ha wird eine manuelle Pflanzung empfohlen. Ansonsten kann die Pflanzung der Stecklinge mit geeigneten Pflanzmaschinen erfolgen. Entscheidend ist, dass die Stecklinge gerade oder leicht schräg mit gutem Bodenschluss bis ca. 18 cm (bei 20 cm Stecklingen) tief im Boden stecken. Bei gut wasserversorgten Böden sollten die Stecklinge mit mindestens einer Knospe, jedoch maximal 1 bis 2 cm aus dem Boden herausragen. Bei sandigen Böden sind sie aufgrund einer erhöhten Austrocknungsgefahr ebenerdig auszubringen. Dabei ist allerdings auf eine Markierung der Reihen zu achten um

eine sichere Bodenbearbeitung zu gewährleisten. Zum Vermeiden einer falschen Pflanzrichtung sowie als Verdunstungsschutz empfiehlt sich die Markierung der Oberseite.

Der Pflanzverband bzw. das Anbausystem ist abhängig von der Baumart, -anzahl, der Umtriebszeit und der geplanten Erntetechnik. Im Gegensatz zu früheren Erkenntnissen wird heute von den meisten Experten ausschließlich die Anlage von Einzelreihen empfohlen. Dies ermöglicht einen größeren individuellen Pflanzenstandraum und eine größere Flexibilität in der Bewirtschaftung und Vermarktung. Des Weiteren liegen die Vorteile in der erzielbaren Qualität des Erntematerials (z. B. weniger Triebe, weniger Asche, etc.) und damit besseren Vermarktungschancen. Bei der Wahl des Reihenabstandes ist die Spurbreite bzw. Arbeitsbreite der Technik zur Pflanzung, Pflege und zur Ernte zu beachten. Gegebenenfalls sind hier betriebsindividuelle Anpassungen an vorhandene Technik sinnvoll. Reihenabstände liegen je nach vorhandener Technik dabei zwischen 1 und 3 m. Die Pflanzabstände sollten 40 cm nicht unterschreiten und 2 m nicht überschreiten. Generell ist es günstig, wenn dem einzelnen Baum möglichst ein gleichmäßig großer Standraum zur Verfügung steht. Für den mittleren Umtrieb sind 4 000 bis 8 000 und für den kurzen Umtrieb 8 000 bis 12 000 Stecklinge zu empfehlen.

Sollen perspektivisch weitere Flächen mit KUP angelegt werden, wird die Anlage eines Mutterquartiers empfohlen. Da auf diesen Flächen Pflanzmaterial, ausschließlich für den eigenen Nachbau gewonnen werden soll, sind hier höhere Pflanzendichten von 10 000 bis 15 000 Stecklingen geeignet. Soll Pflanzgut zum Inverkehrbringen in diesen Mutterquartieren erzeugt werden, gilt das Forstvermehrungsgesetz (FoVG) und die bereits in Punkt 1.2.2 dargestellte Vorgehensweise.

### **3.5 Mechanische Pflege und Pflanzenschutz**

Im Vergleich zu ackerbaulichen Kulturen sind Weiden und Pappeln im Pflanzjahr durch eine langsamere Jugendentwicklung gekennzeichnet. Deshalb ist die Unkrautbekämpfung im Pflanzjahr, unmittelbar vor der Pflanzung und in den ersten drei Monaten danach für eine hohe Anwuchsrate unerlässlich. Eine Untersaat zur Unkrautbekämpfung wird nicht empfohlen, da die Gefahr besteht, dass der zögerliche Austrieb nach der Pflanzung unterdrückt wird und damit ungenügend konkurrenzfähig gegenüber der schneller wachsenden Untersaat ist.

Zur Umweltschonung sollte der mechanischen Pflege der Vorrang gegeben werden. Bei entsprechendem Reihenabstand sind sowohl Hack- und Mulchgeräte als auch Bodenfräsen bzw. Flachgrubber für den Einsatz zwischen den Baumreihen geeignet. Die Pflege in der Baumreihe, besonders um den Steckling, gestaltet sich recht schwierig. Sie ist jedoch für die Entwicklung der Bäume am wichtigsten. Allerdings besitzen nur verschiedene Totalherbizide (Wirkstoff Glyphosat), die lediglich im Voraustrieb bzw. abgeschirmt zwischen den Reihen zum Einsatz kommen können sowie das Graminizid Fusilade Max eine entsprechende Zulassung. Weitere Mittel, wie z. B. Flexidor, Fenikan oder Stomp Aqua können im Voraustrieb eingesetzt werden. Lontrel 720 SG wirkt gezielt gegen Ackerkratzdisteln und andere Korbblütler und ist im Nachauflauf anwendbar. Für letztgenannte Herbizide bedarf es vor der Anwendung in KUPs bzw. AFS einer Genehmigung nach PflSchG Art. 51 der Zulassungsverordnung und/oder § 22 (2) (früher § 18 b) beim zuständigen Landwirtschaftsamt. Das Fehlen zugelassener und auch verträglicher Mittel im Nachauflauf unterstreicht die Notwendigkeit vorbeugender Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung.

Der ursprüngliche propagierte Rückschnitt des ersten Austriebes, zur Verbesserung der Bestockung, bringt nach derzeitigem Kenntnisstand keine Vorteile. Besonders wenn eine

starke Verunkrautung zu erwarten ist, kann es zur Beeinträchtigung des Austriebes im 2. Jahr kommen. Zudem ist der Mehraufwand für den Rückschnitt und die zusätzliche Pflege zu berücksichtigen.

Ab dem zweiten Standjahr ist in der Regel keine Unkrautbekämpfung mehr notwendig. Die Unkrautflora beeinträchtigt das Gedeihen der Bäume dann nicht mehr und verringert sich mit zunehmendem Deckungsgrad der Energiehölzer.

### **3.6 Krankheiten und Schädlinge**

Sowohl in Pappel- als auch in Weidenplantagen können vor allem Rostkrankheiten an den Blättern auftreten. Es handelt sich dabei vorwiegend um *Melampsora* spp. Die Mehrklonsorte *Max* ist rostresistent. Auch *Androscoegin* wird kaum befallen. Ein sehr starker Rostbefall mit vorzeitigem Blattfall trat in Dornburg und Langenwetzendorf an den Pappeln *Unal*, *Beaupre* und *Donk* auf. Nach Angaben der Züchter weisen neue Weidensorten, z. B. *Tora*, *Sven*, *Tordis*, *Olof* und *Inger* gute Blattrostresistenzen auf.

Verschiedene Käfer, deren Raupen bzw. Larven, wie z. B. Pappelblattkäfer (*Melanosoma populi*), Chryr (*Phyllodecta vulgatissima*), Grünrüßler (*Phyllobius arborator*) sowie Blattwespenlarven, sind in der Lage erhebliche Fraßschäden an den Blättern zu verursachen. Besonders in Neupflanzungen können aufgrund der noch geringen Blattmasse wenige Schädlinge großen Schaden anrichten.

Weiden sind vor allem durch Wildverbiss gefährdet. Je kleiner die Plantage (< 2 ha), desto höher die Gefahr von erheblichen Schäden. Im Extremfall kann durch Zäune dem entgegen gewirkt werden. Dies ist jedoch bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit als nicht kostendeckend einzuschätzen. Ein starker Bejagungsdruck in der Etablierungsphase sollte mit den verantwortlichen Jägern abgesprochen und durchgeführt werden.

Wie in allen Dauerkulturen können Mäuse Schäden an den Wurzeln verursachen. Eine Bekämpfung mit Giftködern ist möglich, aber sehr aufwändig. Bestandesüberwachungen sollten regelmäßig erfolgen. Durch Freihalten des Bodens von Unkraut kann dem Expandieren einer Mauspopulation von Beginn an entgegengewirkt werden.

### **3.7 Ernte**

Die Ernte kann erst zur Vegetationsruhe erfolgen, d. h. in den Wintermonaten. Um Schäden an den Stöcken zu vermeiden, muss der Boden gut befahrbar, trocken bzw. am günstigsten gefroren sein. Einen Anhaltspunkt über die Anzahl der besonders gut geeigneten Erntetage in Thüringen gibt Tabelle 7.

Demnach kann man in Abhängigkeit vom Standort der Plantagen im Durchschnitt der Jahre mit 30 bis 40 Erntetagen mit Bodenfrost rechnen. Allerdings besteht eine erhebliche Schwankungsbreite zwischen den Standorten und den Jahren. Um eine anschließende effiziente und wirkungsvolle Trocknung des geernteten Materials zu erzielen ist eine möglichst frühe Ernte zu empfehlen (ab ca. November).

Zahlreiche Technologien wurden für die Ernte entwickelt und erprobt. Sie sind vor allem in Schweden, Italien, USA, Kanada, zunehmend auch in Osteuropa und Deutschland im Einsatz. Einen Überblick über mittlerweile etablierte Systeme für die Ernte bei kurzen (3 bis 5 Jahre) bzw. mittleren Umtriebszeiten (6 bis 10 Jahre) geben die Tabellen 8 und 9. Bereits die Anlage der Plantage ist in Abhängigkeit von der Umtriebszeit mit dem Ernteverfahren abzustimmen.



**Tabelle 7:** Entwicklung der Anzahl der Tage mit Bodenfrost von 1994 bis 2012  
(Bodentemperatur in 10 cm Tiefe < 0 °C, November bis April)

Zeitraum	Bad Salzungen	Burkersdorf	Buttelstedt	Dobitschen	Dornburg	Friemar	Heßberg	Kirchengel	Straußfurt
94/95	0	0	17	21	0	17	5	15	7
95/96	85	84	102	104	22	100	122	112	82
96/97	53	33	55	49	0	55	74	60	34
97/98	18	0	19	22	0	25	25	21	22
98/99	8	0	10	32	0	36	29	44	26
99/00	7	0	16	25	0	14	4	16	13
00/01	12	0	24	23	0	31	39	44	26
01/02	4	0	25	41	0	38	16	40	33
02/03	34	7	56	64	1	51	54	85	55
03/04	0	0	36	32	0	21	45	49	12
04/05	9	0	26	45	0	21	37	65	11
05/06	68	31	71	66	10	71	74	96	69
06/07	0	0	4	0	0	4	0	6	7
07/08	9	0	25	0	0	25	25	38	15
08/09	59	2	18	24	0	58	67	68	56
09/10	42	0	2	27	0	37	78	91	26
10/11	18	0	4	0	4	24	19	80	8
11/12	25	0	14	26	0	24	43	35	25
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	85	84	102	104	22	100	122	112	82
Mittelwert	25	9	29	33	2	36	42	54	29

**Tabelle 8:** Anforderungen und technische Daten der Vollerntemaschinen  
(Feldhäcksler mit Erntevorsatz)

	Claas Jaguar	Krone Big X Wood Cut 1500	New Holland
geeignete Umtriebszeit	2 bis 4 Jahre	2 bis 6 Jahre	2 bis 6 Jahre
geeignet zum Fällen	Einfach- u. Doppelreihe	Einfach- u. Doppelreihe	Einfach- u. Doppelreihe
Max. Durchmesser	Weide/Pappel < 8 cm	Weide/Pappel < 15 cm	Weide/Pappel < 15 cm
Effektive Schnittbreite	100 cm	150 cm	280 cm
Ernteleistung	30 bis 60 t/h	1 ha/h	0,8 bis 1,0 ha/h
Qualität Hackgut	G 30	G 20 bis G 40	G 30 bis G 100
Art des Hackers	Trommelhacker	Trommelhacker	Trommelhacker
Motorleistung	260 kW	480 kW (Big X 650)	ab 400 kW
Antrieb	hydraulisch	mechanisch,	stufenlos hydraulisch
Gewicht	1,3 t (Vorsatz) + 7,9 t	3 t (Vorsatz) + 13 t	2,14 t (Vorsatz) + 11,5

Grundsätzlich ist zu unterscheiden in Vollernteverfahren (kontinuierlich) und in absetzige bzw. diskontinuierliche Verfahren. Während im Vollernteverfahren neben der Beerntung der Bäume gleichzeitig das Hacken der Bäume durchgeführt wird, findet die Hackung des Materials beim absetzigen Verfahren zeitlich versetzt statt. Im besten Fall nach einer entsprechenden Trocknungszeit von ca. 6 bis 8 Monaten.

**Tabelle 9:** Vergleich der Ernteverfahren in Bezug auf ihren Einsatzbereich

	Kontinuierliches Verfahren	Diskontinuierliches Verfahren	
Ernte	<b>Vollerntemaschinen</b>	<b>Bagger mit Baumschere</b>	<b>Feller Buncher</b>
Rückung	entfällt	<b>Rückewagen</b>	<b>Rückewagen</b>
Umtrieb	2 bis 6 Jahre	6 bis 10 Jahre <sup>*)</sup>	6 bis 10 Jahre <sup>*)</sup>
Stammdurchmesser	4 bis 15 cm	8 bis 25 cm <sup>*)</sup>	8 bis 25 cm <sup>*)</sup>
Reihenabstand <sup>**)</sup>	2,40 m	2,40 m	2,40 m
Pflanzabstand <sup>**)</sup>	0,40 m	0,80 m	0,80 m
Pflanzenbestand <sup>**)</sup>	10 400 Pfl./ha	5 200 Pfl./ha	5 200 Pfl./ha

<sup>\*)</sup> je nach Umtriebszeit bzw. eingesetzten Ernte-Aggregat können auch ältere Bestände bzw. stärkere Stammdurchmesser geerntet werden

<sup>\*\*)</sup> in Bezug auf den Pflanzverband (Reihen-Pflanzabstand) wurden die für die Kalkulation verwendeten mittleren Werte angegeben

Entscheidend für die Auswahl der Erntetechnik ist der Stammdurchmesser zur Ernte, welcher in Abhängigkeit von der Bonität des Standortes in unterschiedlichen Umtriebszeiten erreicht wird.

Da das „Stück-Masse-Gesetz“ erheblichen Einfluss auf die Erntekosten hat, ist auf eine Optimierung der Umtriebszeit auf den maximal technologiebedingt erntbaren Stammdurchmesser abzielen. Dabei wird unterschieden in Wurzelhalsdurchmesser (WHD) bzw. Brusthöhendurchmesser (BHD, bei 1,30 m). Bei den hier ausgewiesenen Erntetechnologien wird die Grenze der Beerntbarkeit mit max. 15 cm WHD angegeben (siehe Tab. 9).

Ein weiterer wesentlicher Parameter ist die eigentlich zu beerntende Fläche. Aufgrund der immer noch geringen Verfügbarkeit derartiger Spezialmaschinen (< 10 in Deutschland) sind erhebliche Anfahrtkosten zu kalkulieren. Diese ermöglichen einen wirtschaftlichen Einsatz erst ab ca. 5 ha je Kampagne. Teilweise werden durch Dienstleister sogenannte „Ernterouten“ zur Minimierung von Anfahrtkosten erstellt. Probleme in der Praxis durch sich ändernde Wetter- bzw. Bodenverhältnisse bleiben.

Ein weiterer wichtiger Parameter bei der Auswahl der Erntetechnik sind die Vermarktungsmöglichkeiten. Beim Einsatz von Vollerntemaschinen fällt generell nasses Erntegut (50 bis 60 % WG) mit relativ großen Transportvolumina an. Dies führt in der weiteren Logistikkette zu einem nicht unerheblichen Trocknungsaufwand verbunden mit, je nach Verfahren, erheblichen Verlusten durch einen Biomasseabbau während der Lagerung (15 bis 20 %) und zur Notwendigkeit großer Lagerplätze bzw. -hallen. Wird das Material zur Ernte als Frischware verkauft, müssen deutliche Preisabschläge akzeptiert werden. Falls preiswerte Abwärmepotenziale zur Verfügung stehen, könnte eine technische Trocknung ökonomisch sinnvoll sein.

Unter Thüringer Standortbedingungen sind beim Einsatz von Vollerntemaschinen ca. 200 ha/Jahr als notwendige zu beerntende Fläche anzusehen, d. h. der Einsatz einer derartigen Maschine ist erst bei größerem Anbau von Energieholz in einer Region sinnvoll. Da diese Flächendichte noch nicht erreicht ist, wurde für die Kalkulation ein überbetrieblicher Maschineneinsatz über Lohnunternehmen angenommen. Weitere technische Lösungen für eine derartige Variante wie z. B. Anbauhacker werden seit Jahren entwickelt und erprobt. Einige aussichtsreiche Entwicklungen sind als Prototypen vorhanden, eine Markteinführung steht jedoch noch aus. Bei diesen Maschinen muss insbesondere der Nachweis der Qualitätssicherung des Erntematerials u. der Standfestigkeit der Technik im Dauereinsatz nachgewiesen werden.

Bei höheren Umtriebszeiten kommen Anbaugeräte bzw. Technologien aus dem Forstbereich zur Anwendung. Diese lassen sich teilweise mit Baumaschinen (z.B. Bagger) kostengünstig kombinieren. Mit entsprechenden Auslegern sind Bäume in Reichweiten bis zu 10 m erntbar. Bei diesen diskontinuierlichen Verfahren werden zunächst im 1. Schritt die Bäume als Ganzbäume gefällt und in ca. 20 bis 30 einzelnen Haufen je Hektar zu beerntende Fläche vorkonzentriert. Danach, jedoch zeitlich unabhängig, werden die Ganzbäume an die Lagerstelle in unmittelbarer Nähe zum Abfuhrweg gerückt und in Poltern zu 4 bis 5 m Höhe aufgeschichtet. Diese Form der Lagerung dient sogleich als Trocknungsplatz und sollte daher möglichst an einem sonnigen und windexponierten Standort erfolgen. Hier konnte bei praxisnahen Lagerungsversuchen der TLL eine effiziente (30 bis 35 % WG) und ökonomische Trocknung nachgewiesen werden. Die ermittelten Biomasseabbauraten lagen unter 6 % (M. BÄRWOLF und TH. HERING, 2012). Der 2. Schritt, die Rückung, kann über professionelle Dienstleister aus dem Forstbereich erfolgen. Hier ist auf eine Minimierung von Anfahrtkosten zu achten. Da diese Technik aufgrund der spezifischen Anforderungen im Wald relativ teuer ist, muss unbedingt auf eine Optimierung der Rückung geachtet werden. Eine Rückung mit landwirtschaftlicher Technik z. B. Teleskoplader mit Mistgreifer bzw. bei längeren Feldrandentfernungen Strohplattenwagen mit hohen Rungen und integriertem Ladekran wird generell als kostengünstiger eingeschätzt. Diese Technologien werden allerdings bisher kaum angewandt und daher liegen keine genauen Kostenbewertungen vor. Nach 6 bis 8 monatiger Lagerung erfolgen im dritten Schritt die Hackung des Materials sowie der Transport zum Endverbraucher. Bei diesem System entfällt eine aufwendige Nachtrocknung.

Bei kleineren Flächen, bis ca. 5 ha, ist die Bewirtschaftung in höheren Umtriebszeiten in jedem Fall als wirtschaftlicher einzuschätzen. Dabei ist neben einer manuellen Anlage der Bestände auch eine motormanuelle Beerntung zu empfehlen.

### **3.8 Transport und Lagerung**

Die größte Nähe zur landwirtschaftlichen Praxis für den Transport hat die Anwendung der Silomaiskette, da sie in vielen Agrarbetrieben vorhanden ist. Für längere Transportwege eignen sich ggf. auch Containerfahrzeuge. Die Transportmasse wird wesentlich bestimmt durch die Energieholzart, den Trockenmassegehalt zur Ernte, die Hackgutgröße und die verwendete Erntetechnik. Diese Größen beeinflussen wiederum die Schüttdichte.

Bei den eingesetzten Vollerntemaschinen kann die Hackgutgröße von G20 bis G100 Material (max. Kantenlänge von 20 bis 100 mm) je nach Einstellung variieren. Dabei wurden durchschnittliche Schüttdichten von  $250 \text{ kg/m}^3$  (G50), bei Wassergehalten von im Mittel 55 %, ermittelt. Nach Trocknung des Materials auf ca. 30 % WG sinkt die Schüttdichte auf durchschnittlich  $170 \text{ kg/m}^3$  (G50). Der Transport des Erntegutes sollte möglichst direkt an den Endverbraucher erfolgen, da weitere Logistikschritte zusätzliche Kosten für Ein- und Auslagerung verursachen. Aufgrund des hohen Wassergehaltes (Notwendigkeit der Trocknung) bzw. des Anfalls der gesamten Erntemenge in einem relativ kurzem Zeitraum (ca. November bis Februar) sind weitere Umschlags- bzw. Lagerungsprozesse jedoch manchmal unvermeidbar. Die Logistik sollte unbedingt mit dem Abnehmer des Erntegutes abgesprochen und optimiert werden. Die Ernte fällt üblicherweise in den Zeitraum mit dem höchsten Brennstoffbedarf. Heizwerke haben aus Kostengründen oft nicht genügend Lagerkapazitäten für den Bedarf der gesamten Heizperiode. In der Praxis existieren Logistikkonzepte, die von einer Lagerkapazität für ein Jahr (einmaliger Umschlag) bei meist kleineren Anlagen, bis zu einem maximalen Brennstoffvorrat von zehn Tagen am Heizwerk bzw.

Heizkraftwerk mit der entsprechenden fast kontinuierlichen Anlieferung ausgehen. Bei der Lagerung, bevorzugt in Freiluftlagerungen, erwärmt sich das Hackgut bis zu 65 °C (Wasserdampffahne). Nach ca. 30 Tagen fällt die Temperatur auf 30 °C ab. Nach ca. drei bis vier Monaten ist ein Wassergehalt von etwa 35 % erreicht. Erfahrungen aus Schweden zeigen, dass die Schütthöhe 5 m nicht überschreiten sollte, um Selbstentzündungen zu vermeiden.

Ein Wassergehalt unter 30 % ist in der Regel für eine ordnungsgemäße thermische Verwertung in kleineren und mittleren Anlagen z. B. Unterschubfeuerung notwendig. Größere Anlagen, z. B. Vorschubrostfeuerungen sind teilweise in der Lage, feuchtes Energiehackgut (ab 55 % TS), bzw. Mischungen zu verwerten.

Die Trockenmasseverluste bei der Lagerung von feinen Hackschnitzeln im Haufen liegen im Bereich von 15 bis zu 30 % pro Jahr, während sie bei einer Haufenlagerung von groben Hackstücken über 50 mm Kantenlänge (G 50) nur etwa 10 bis 20 % pro Jahr betragen. Die Verluste können durch passive oder aktive Belüftung des Lagers verringert, jedoch nicht ganz vermieden werden. Ein Regenschutz kann insbesondere bei Fein- und Mittelhackschnitzeln die Trocknung erheblich verbessern sowie Pilzbesatz und Verluste senken (BÄRWOLFF und HERING, 2012; SCHOLZ und IDLER, 2005). Erst ab einem Wassergehalt zwischen 20 und 30 % werden die Biomasseabbauraten signifikant geringer (lagerbeständig). Bei einer Lagerung und Trocknung als Stamm liegen die Verluste bei < 6 % pro Jahr. Im Gegensatz zu Material aus der Beerntung mit Vollerntemaschinen können die Hackschnitzel beim absetzigen Verfahren, analog Waldhackgut, von der Ernte bis zum Hacken auf etwa 70 % Trockenmassegehalt im Polter effizient und kostengünstig vorgetrocknet werden.

Stehen preiswerte Abwärmepotenziale zur Verfügung kann auch eine technologische Trocknung sinnvoll sein.

## **4 Verfahrensbewertung**

Energiehackgut aus Kurzumtriebsplantagen ist mittlerweile, wenn auch in geringem Umfang, ein auf dem freien Markt handelbares Produkt. Dies resultiert generell aus stetig steigenden Preisen für Brennholzsortimente, einem steigenden Anbau sowie aus einer zunehmenden Nachfrage von Heizwerken. Aufgrund der seit Anfang 2012 geänderten Einsatzstoffvergütungsklassen im EEG sind nun entscheidende Anreize vorhanden derartige Sortimente in Heizkraftwerken einzusetzen.

Neben der generellen Einsatzmöglichkeit der einzelnen Qualitäten in den verschiedenen Konversionssystemen entscheidet im Wesentlichen die Hackgutgröße, der Wassergehalt, die Liefermenge, -zeit bzw. -einheit und die Transportentfernungen über die Preisgestaltung. Vor der Anlage von Plantagen empfiehlt es sich mit potenziellen Betreibern von Biomasseheizwerken bzw. -heizkraftwerken Abnahmeverträge zu schließen. Dabei sollten Preisgleitindizes ggf. in Kopplung an die Preise fossiler Brennstoffe integriert werden. Für die vorliegende Kalkulation wurde ein mittlerer Energieholzpreis von 115 €/t TM (G 50, W 30, 20 km Lieferentfernung) zugrunde gelegt. Er orientiert sich damit bei ca. 92 % an den gegenwärtig üblichen mittleren Preisen für Waldhackschnitzel. Der Preisabschlag basiert auf den höheren Aufwendungen bei Logistikprozessen sowie Betriebskosten im Bereich der Konversionsanlage.

Die Parameter Hackgutgröße und Wassergehalt sind besonders abhängig vom verwendeten Anbau- bzw. Ernte- bzw. Logistikverfahren. Die vorliegende Leitlinie zeigt unter den dargestellten Rahmenbedingungen erstmalig den Vergleich von Energieholz im kurzen (3 bis 5

Jahren) gegenüber dem mittleren (6 bis 10 Jahren) Umtrieb. Dabei wird mit den vorliegenden Zahlen auf den Vergleich der mittleren Kosten der Hackschnitzelproduktion bei drei Ertragsstufen, inklusive Trocknung (bis 30 % WG) und einem Bewirtschaftungszeitraumes von 24 Jahren abgezielt. Um den Bezug zu konventionellen Marktfrüchten zu gewährleisten, wurde eine Bewirtschaftungsfläche von 20 ha gewählt. Darüber hinaus gehende Kalkulationen für kleinere Flächen (10, 5 und 1 ha) ergänzen die ökonomische Betrachtung.

Bei der Beurteilung der Kosten ist zu beachten, dass folgende Faktoren ökonomisch nicht bewertet wurden:

- Die Energieholzproduktion auf Pachtflächen ist aufgrund der langen Bindungsfristen, mit einer anzustrebenden Option einer Pachtvertragsverlängerung nur bei dynamisch sich anpassenden bzw. höherem Pachtzins denkbar.
- Zusätzlich besteht für den Flächeneigentümer das Risiko der Nutzungseinschränkungen nach Ablauf der Energieholzproduktion durch eine mögliche Ertragsdepression in den ersten zwei Nutzungsjahren nach der Flächenrekultivierung.

Die entscheidenden Kostenfaktoren sind dabei die Anzahl der Stecklinge je Hektar, das erreichbare Ertragsniveau, die Ernte- und die Trocknungskosten.

Die Tabellen 10 und 11 zeigen die mittleren Kosten der Produktion von Holzhackschnitzeln bei den unterschiedlichen Umtriebszeiten.

Die Hauptkosten der Pflanzung ergeben sich je nach Pflanzverband aus der Anzahl Stecklinge pro Hektar. Bei einem Preis von 0,14 bis 0,19 €/Pappelsteckling in Abhängigkeit der Abnahmemenge bzw. Flächengröße. Dazu kommen weitere ca. 0,05 € (maschinell) bis 0,10 € (manuell) für das Ausbringen der Stecklinge. Der Preis für das Pflanzmaterial kann mit der Anlage von Mutterquartieren durch Selbstgewinnung reduziert werden (0,06 bis 0,10 €/Steckling). Dabei ist die Anlage zertifizierter Mutterquartiere notwendig. Die Bestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes und des Sortenschutzes sind zu beachten. Für die vorliegende Kalkulation wurde für den kurzen Umtrieb von 10 400 und für den mittleren Umtrieb von 5 200 Stecklingen/ha und der Einsatz einer Pflanzmaschine kalkuliert. Setzt man eine derartige Pflanzmaschine auf kleineren Flächen ein kommen Zusatzkosten für die Anfahrt der Maschine anteilig dazu.

Erstmalig wurden die mittleren Lagerungsverluste und Trocknungs- bzw. Lagerungskosten mit kalkuliert. Die Datengrundlage resultiert aus Praxisversuchen der TLL. Diese sind vor allem beim kurzen Umtrieb mit durchschnittlich 17,5 % Lagerungsverlusten und 17,50 €/t TM Trocknungskosten nicht unerheblich.

Neben den Kostenfaktoren bei der Anpflanzung sind Rücklagen für eine Rekultivierung der Plantage nach deren Nutzungszeit zu kalkulieren. Dabei wurden 1 200 €/ha zugrunde gelegt. Hinzu kommen auch hier evtl. Zuschläge für kleinere Flächen. Die Kosten beziehen sich auf eine Nutzungszeit der Plantage von 24 Jahren. Kostenreduzierungen sind zudem möglich, wenn die Nutzungsdauer der Plantage auf einen längeren Zeitraum (40 Jahre) ausgedehnt wird.

Es wird angestrebt die Grunddünger Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium und Schwefel wieder mit der Asche zurückzuführen. Für die Kalkulation wurde eine mineralische Düngung von 30 % des Entzuges zugrunde gelegt. Eine Stickstoffdüngung wird in den Kosten nicht berücksichtigt. Hier wird von einem ausreichend hohen Luftstickstoffeintrag ausgegangen. Gegebenenfalls kann diese aber gegen Ende der Plantagenutzungszeit bei Nutzungsänderung der Fläche erforderlich sein.

**Tabelle 10:** Richtwerte für mittlere Kosten der Hackschnitzelproduktion bei drei Intensitätsstufen, Vermarktung nach Trocknung (hier: DOM-Belüftungsverfahren), Einsatz von Vollernemaschinen bei Umtriebszeit von 4 Jahren und 6-maliger Ernte (Bezugsfläche 20 ha)

Position			ME	Ertragsniveau (dt TM/ha)				
				80	100	120		
<b>Leistungen</b>	Marktware	11,5	Absatz	€/dt	11,5	11,5	11,5	
				dt/ha	66	83	99	
				€/ha	759	949	1 139	
	Summe Umsatz			dt/ha	66	82,5	99	
				€/ha	759	949	1 139	
<b>Direktkosten</b>	Saatgut		€/ha	61	61	61		
	Düngemittel		€/ha	11	14	16		
	Pflanzenschutzmittel		€/ha	6	6	6		
	<b>Summe</b>		<b>€/ha</b>	<b>78</b>	<b>81</b>	<b>83</b>		
<b>Arbeits-erledi-gungskosten (AEK)</b>	Unterhaltung Maschinen		€/ha	61	75	90		
	Kraft- und Schmierstoffe		l/ha	105	131	157		
	Kraft- und Schmierstoffe	€/l	0,95	€/ha	100	125	149	
	Maschinenvermögen		€/ha	1 089	1 350	1 612		
	Schlepperleistungsbesatz		kW/ha	1,08	1,35	1,61		
	AfA Maschinen		€/ha	93	115	138		
	Arbeitszeitbedarf termingebunden		AKh/ha	8,0	9,9	11,8		
	Arbeitszeitbedarf nicht termingebunden		AKh/ha	2,5	2,5	2,5		
	Personalkosten 9,49 €/h	Nebenkosten	50 %	€/ha	149	176	204	
	Saldo gel. u. bez. Lohnarbeit		€/ha	390	431	473		
<b>Summe</b>	Zuschlag kleine Fläche	0 %		793	923	1053		
<b>Leitung (L) und Verwaltung (V) (Personalkosten)</b>	Anteil an Produktion		%	45 %	€/ha	67	79	92
	<b>Summe</b>				<b>€/ha</b>	<b>860</b>	<b>1 002</b>	<b>1 144</b>
<b>Kosten für Zahlungsansprüche</b>								
<b>Gebäudekosten</b>	Vermögen			€/ha	0	0	0	
	Unterhaltung			€/ha	0	0	0	
	AfA			€/ha	0	0	0	
	<b>Summe</b>			<b>€/ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Flächenkosten</b>	Pacht	€/BP	BP	35	45	55		
		3,10	€/ha	109	140	171		
<b>Sonstige Kosten</b>	Berufsgenossenschaft		7,30 €/ha	€/ha	7,30	7,30	7,30	
	sonstiger allg. Betriebsaufwand			€/ha	45	45	45	
	<b>Summe</b>			<b>€/ha</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	
<b>Summe Kosten</b>				€/ha	<b>1 098</b>	<b>1 274</b>	<b>1 450</b>	
davon AEK incl. L + V u. LBG		davon LBG		7,30 €/ha	€/ha	867	1 009	1 152
<b>Beitrag zum prämierten Betriebsergebnis</b>				€/ha	-339	-326	-312	
<b>Flächenzahlungen 2013</b>				10 % Modulation	€/ha	311	311	311
<b>Beitrag z. Betriebserg. incl. Flächenzahlungen</b>				€/ha	-29	-15	-1	
<b>Beitrag z. Betriebseinkommen</b>				€/ha	295	380	464	
<b>Beitrag z. Cash flow</b>				€/ha	64	100	136	
<b>Kapitalbindung Plantagenanlage</b>				€/ha	2 488	2 288	2 488	
<b>Zinsaufwand Plantagenanlage</b>				€/ha	76,6	76,6	76,6	
<b>Beitrag z. Betriebserg. incl. Flächenz. u. Zinsansatz Plantage</b>				€/ha	<b>-106</b>	<b>-92</b>	<b>-78</b>	
<b>Deckungsbeitrag prämiertfrei</b>				€/ha	130	237	344	
<b>Gewinnschwellenpreis incl. Flächenzahlungen u. Zinsansatz Plantage</b>				€/ha	<b>13,1</b>	<b>12,6</b>	<b>12,3</b>	
				ct/kWh	<b>2,56</b>	<b>2,46</b>	<b>2,40</b>	

**Tabelle 11:** Richtwerte für mittlere Kosten der Hackschnitzelproduktion bei drei Intensitätsstufen, Vermarktung nach Trocknung (hier: Ganzbaumlagerung), Einsatz von diskontinuierlichen Ernteverfahren bei Umtriebszeit von 8 Jahren und 3-maliger Ernte (Bezugsfläche 20 ha)

Position		ME	Ertragsniveau (dt TM/ha)			
			80	100	120	
<b>Leistungen</b>	Marktware 11,5 Absatz	€/dt	11,5	11,5	11,5	
		dt/ha	75	94	113	
		€/ha	865	1 081	1 297	
	Summe Umsatz	dt/ha	75,2	94	112,8	
		€/ha	865	1 081	1 297	
<b>Direktkosten</b>	Saatgut	€/ha	30	30	30	
	Düngemittel	€/ha	11	14	16	
	Pflanzenschutzmittel	€/ha	6	6	6	
	<b>Summe</b>	<b>€/ha</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>53</b>	
<b>Arbeitsleistungenkosten (AEK)</b>	Unterhaltung Maschinen	€/ha	37	45	54	
	Kraft- und Schmierstoffe	l/ha	64	80	96	
	Kraft- und Schmierstoffe	€/l 0,95	€/ha	61	76	91
	Maschinenvermögen	€/ha	645	796	947	
	Schlepperleistungsbesatz	kW/ha	0,66	0,82	0,98	
	AfA Maschinen	€/ha	55	67	80	
	Arbeitszeitbedarf termingebunden	AKh/ha	4,9	6,1	7,2	
	Arbeitszeitbedarf nicht termingebunden	AKh/ha	2,5	2,5	2,5	
	Personalkosten 9,49 €/h	Nebenkosten 50 %	€/ha	105	122	138
	Saldo gel. u. bez. Lohnarbeit		€/ha	313	346	378
	<b>Summe Zuschlag kleine Fläche 0 %</b>			<b>571</b>	<b>656</b>	<b>741</b>
<b>Leitung (L) und Verwaltung (V)</b>	Anteil an Produktion % 45 %	€/ha	47	55	62	
<b>AEK + L + V</b>	<b>Summe</b>	<b>€/ha</b>	<b>618</b>	<b>711</b>	<b>803</b>	
<b>Kosten für Zahlungsansprüche</b>						
<b>Gebäudekosten</b>	Vermögen	€/ha	0	0	0	
	Unterhaltung	€/ha	0	0	0	
	AfA	€/ha	0	0	0	
	<b>Summe</b>	€/ha	0	0	0	
<b>Flächenkosten</b>	Nutzungsentschädigung Lagerfläche	€/ha	7	9	10	
	Pacht	€/BP	BP	35	45	55
		3,10	€/ha	109	140	171
<b>Sonstige Kosten</b>	Berufsgenossenschaft 7,30 €/ha	€/ha	7,30	7,30	7,30	
	sonstiger allg. Betriebsaufwand	€/ha	45	45	45	
	<b>Summe</b>	<b>€/ha</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	
<b>Summe Kosten</b>		€/ha	<b>834</b>	<b>961</b>	<b>1 089</b>	
davon AEK inklusive L + V und LBG	davon. LBG 7,30 €/ha	€/ha	625	718	810	
<b>Beitrag zum prämierten Betriebsergebnis</b>		€/ha	31	12	208	
<b>Flächenzahlungen 2013</b>	10 % Modulation	€/ha	311	311	311	
<b>Beitrag z. Betriebserg. incl. Flächenzahlungen</b>		€/ha	342	430	519	
<b>Beitrag z. Betriebseinkommen</b>		€/ha	610	755	900	
<b>Beitrag z. Cash flow I</b>		€/ha	396	497	599	
<b>Kapitalbindung Plantagenanlage</b>		€/ha	1 660	1 660	1 660	
<b>Zinsaufwand Plantagenanlage</b>		€/ha	51,1	51,1	51,1	
<b>Beitrag z. Betriebserg. incl. Flächenz. u. Zinsansatz Plantage</b>		€/ha	<b>290</b>	<b>379</b>	<b>468</b>	
<b>Deckungsbeitrag prämiertfrei</b>		€/ha	406	564	722	
<b>Gewinnschwellenpreis incl. Flächenzahlungen u. Zinsansatz Plantage</b>		€/ha	<b>7,64</b>	<b>7,47</b>	<b>7,35</b>	
		ct/kWh	<b>1,49</b>	<b>1,46</b>	<b>1,43</b>	

Bei mittleren Umtrieben wurden neben der geringeren Stecklingsanzahl deutlich niedrigere Kosten für die Lagerung bzw. Trocknung zugrunde gelegt. Hier wurden 6 % Lagerungsverluste ebenso wie der Flächenverbrauch und die Flächenberäumung von jeweils 1 000 m<sup>2</sup>/ha zu beerntende Fläche berücksichtigt. Die detaillierten Annahmen und Kalkulationen sind im Anhang angefügt.

Bei den Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen handelt es sich um eine Vollkostenanalyse von der Etablierung der Bestände bis zur Lieferung der trockenen Hackschnitzel frei Konversionsanlage.

**Die unterstellten Erlöse von 115 €/t TM stellen ein mittleres Preisniveau dar,** welches neben dem Ertragsniveau und der Höhe der Betriebsprämienzahlungen die wesentlichen Einflussfaktoren der Einnahmen auf das Betriebsergebnis sind.

Für die Beurteilung der Grenzkosten der Energieholzproduktion ist die Unterstellung eines Beitrags zum Betriebseinkommen erforderlich. Die Höhe dieses Beitrages richtet sich nach den Standortfaktoren und dem Beitrag der verdrängten Kulturen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist hier eine Nutzungskostenbetrachtung angeraten. Aus agrarpolitischer Sicht werden hier standardisierte Beiträge zum Betriebseinkommen von 0 bis 200 €/ha unterstellt und die jeweiligen Schwellenpreise ermittelt. (siehe Tab. 12).

**Tabelle 12:** Gewinnschwellen in Abhängigkeit von Ertragsniveau und Flächengröße (inklusive Flächenzahlung und Zinsansatz in €/dt TM), links: Vermarktung nach Trocknung (hier: DOM-Belüftungsverfahren), Einsatz von Vollerntemaschinen bei Umtriebszeit von 4 Jahren und 6-maliger Ernte, rechts: Vermarktung nach Trocknung (hier: Ganzbaumlagerung), Einsatz von diskontinuierlichen Ernteverfahren bei Umtriebszeit von 8 Jahren und 3-maliger Ernte

Flächengröße 4 Jahre	Ertragsniveau (dt/ha)			Flächengröße 8 Jahre	Ertragsniveau (dt/ha)		
	80	100			80	100	120
20 ha	13,10	12,61	12,29	20 ha	7,64	7,47	7,35
10 ha	14,12	13,48	13,06	10 ha	8,18	7,93	7,76
5 ha	16,69	15,64	14,93	5 ha	9,54	9,07	8,75
1 ha	21,34	19,71	18,63	1 ha	12,05	11,46	10,73

Der Schwellenpreis für ein positives Betriebsergebnis bei einer kurzen Umtriebszeit liegt zwischen 12,29 und 21,34 €/dt TM (siehe Tab. 12), bei einem erheblichen Einfluss der Flächengröße sowie einem deutlichen Ertragseinfluss. Wird die zu bewirtschaftende Fläche kleiner, sind manuelle Pflanz- bzw. Erntemaßnahmen auf ihre Wirtschaftlichkeit zu prüfen bzw. sollten höhere Umtriebszeiten angestrebt werden. Bei höheren Umtriebszeiten liegen die Schwellenpreise deutlich geringer. Hier wird zwischen 7,35 und 12,05 €/dt TM bereits ein positives Betriebsergebnis erzielt (siehe Tab. 12). Die erzielbaren Erlöse hängen neben den Preisen der fossilen Brennstoffe auch von einer regional hochwertigen Vermarktungsmöglichkeit ab. Bei Einsatz in regional vorhandenen Heizanlagen sind die gegenwärtig höchsten Wertschöpfungspotenziale verbunden. Die Arbeitskraftbindung und die Festkostenbelastung der Energieholzproduktion sind im Vergleich zu der einjährigen Feldproduktion (z. B. Marktfruchtanbau) deutlich vermindert und jahreszeitlich verschoben (Brechung von Arbeitsspitzen).



## Fazit

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, sind der richtige Standort, aussichtsreiche Klone, angepasste Umtriebszeiten entsprechend der betriebsindividuellen Rahmenbedingungen und Flächen gewählt, das Pflanzmaterial in entsprechender Sorgfalt ausgebracht und gepflegt sowie die Logistik zwischen Ernte, Trocknung, Lagerung und Anlieferung bei möglichst regionalen Verbrauchern gut abgestimmt, ist Energieholz mit einem Beitrag zum Betriebsergebnis ähnlich dem von Marktfruchtarten produzierbar.

## Literatur

- ANONYM (1997): Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen - Maschinenerprobung und Modellbetrachtungen. Landtechnik - Bericht Heft 29, Landtechnik Weißenstephan, Freising
- BÄRWOLFF, M.; VETTER, A. (2012): AgroForstEnergie - Agroforstsysteme mit Energieholz. Erste Ergebnisse: Umweltwirkungen und Erträge, Dornburg
- BÄRWOLFF, M.; HERING, Th. (2012): Fremdenergiefreie Trocknungsvarianten für Holz aus Kurzumtriebsplantagen. <http://www.tll.de/ainfo>
- BIERTÜMPFEL, A.; Rudel, H.; Werner, A.; Vetter, A. (2010): 15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen. <http://www.tll.de/ainfo>
- C.A.R.M.E.N (Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk) (2012): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln der Energieholz-Index. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnitzpreise.html>
- DIN EN 14961-1:2010-04: Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- DIN EN 14961-4:2011-09: Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 4: Holzhackschnitzel für nichtindustrielle Verwendung.
- HERING, T.; PEISKER, D. (2010): Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Getreide und halmgutartigen Brennstoffen in Feuerungsanlagen in der Praxis. Abschlussbericht. <http://www.tll.de/ainfo>
- GULLICH, P. (2010): Standorteignung für die Anlage ertragreicher Kurzumtriebsplantagen. <http://www.tll.de/ainfo>
- HERING, T.; WARSITZKA, CH. (2011): Erarbeitung von Entscheidungshilfen für den Energieholzanbau in Thüringer Landwirtschaftsbetrieben. In: Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen (2011) 2, S. 114 -116
- HOFMANN, M. (1999): Modellvorhaben Schnellwachsende Baumarten. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 13, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- JUG, A. (1998): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushaltes. Dissertation, Hieronymus München
- LANDGRAF, D. (2012): Hinweise zur Kalkulationen und Flächenetablierung von KUP, mdl. Mitteilung 2012
- MARX, M. (2010): Rechtliche Rahmenbedingungen für KUP / Agroforst. In: Tagungsunterlagen Symposium Agrarholz 2010, 18./19.05.2010, Berlin (2010) 6 S.
- NEUMEISTER, C. (2006): Weidensorten von Lantmännen Agroenergie. [www.agroenergie.de](http://www.agroenergie.de)
- SCHOLZ, V.; IDLER, CH. (2005): Energieverlust und Schimmelbildung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut. In: Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 39, Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATP), Potsdam-Bornim, 145 S.
- WERNER, A.; VETTER, A.; REINHOLD, G. (2006): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. <http://www.tll.de/ainfo>

## Anhang

**Tabelle:** Beitrag zum Betriebsergebnis (inklusive Flächenzahlung und Zinsansatz bei unterschiedlichen Preisen und Flächengrößen sowie drei Intensitätsstufen, Vermarktung nach Trocknung (hier: DOM-Belüftungsverfahren), Einsatz von Vollerntemaschinen bei Umtriebszeiten von 4 Jahren und 6-maliger Ernte)

Hackschnitzelpreis zur Vermarktung (€/t TS)	Flächengröße (ha)	Ertragsniveau (dt/ha)		
		80 dt/ha	100 dt/ha	120 dt/ha
115	20	-106	-92	-78
125	20	-40	-9	21
135	20	26	73	120
145	20	92	156	219
155	20	158	238	318
115	10	-173	-164	-154
125	10	-107	-81	-55
135	10	-41	1	44
145	10	25	84	143
155	10	91	166	242
115	5	-343	-341	-340
125	5	-277	-259	-241
135	5	-211	-176	-142
145	5	-145	-94	-43
155	5	-79	-11	56
115	1	-650	-678	-706
125	1	-584	-595	-607
135	1	-518	-513	-508
145	1	-452	-430	-409
155	1	-386	-348	-310

**Tabelle:** Beitrag zum Betriebsergebnis (inklusive Flächenzahlung und Zinsansatz bei unterschiedlichen Preisen und Flächengrößen sowie drei Intensitätsstufen, Vermarktung nach Trocknung (hier: Ganzbaumlagerung), Einsatz von diskontinuierlichen Ernteverfahren bei Umtriebszeiten von 8 Jahren und 3-maliger Ernte)

Hackschnitzelpreis zur Vermarktung (€/t TS)	Flächengröße (ha)	Ertragsniveau (dt/ha)		
		80 dt/ha	100 dt/ha	120 dt/ha
115	20	290	379	468
125	20	366	473	580
135	20	441	567	693
145	20	516	661	806
155	20	591	755	919
115	10	250	336	422
125	10	325	430	535
135	10	400	524	647
145	10	475	618	760
155	10	551	712	873
115	5	147	228	310
125	5	222	322	423
135	5	298	416	536
145	5	373	510	648
155	5	448	604	761
115	1	-42	22	86
125	1	34	116	199
135	1	109	210	312
145	1	184	304	425
155	1	259	398	537